UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

"Diseño de pavimento articulado en el tramo de Carretera El Congo Puerto Castilla (10.3 Km)".

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Escobar, Francisco José

Tutor

Msc. Reyes González, Gonzalo

Managua, 2016

Índice

Descripción **Página**

CAPITULO 1: GENERALIDADES……..1

1.1 INTRODUCCION……..1

1.2 ANTECEDENTES……4

1.3 JUSTIFICACION.....6

1.4 OBJETIVOS……...9

1.4.1 Objetivo General:……9

1.4.2 Objetivos Específicos:……9

CAPITULO 2: ESTUDIO DE TRANSITO……..10

2.1 Conceptos generales del estudio de transito……..10

2.1.1 Estudio de transito……10

2.1.2 Métodos de muestreo…….. 11

2.1.2.1 Modalidades usadas para aforos de transito…… 11

2.1.3 Estaciones de conteos vehiculares en Nicaragua……...12

2.1.3.1 Antecedentes……..12

2.1.3.2 Situación actual……..13

2.1.3.2.1 Identificación de vectores de correspondencia……..13

2.1.3.2.2 Clasificación de estaciones por las categorías de vectores…….14

2.2 Transito promedio diario anual (TPDA)……..16

2.3 Composición del tránsito en Nicaragua……..16

2.4 Determinación del tránsito promedio diario anual (TPDA 2013) actual para el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla……..17

2.4.1 Metodología……..17

2.4.2 Factores de ajustes…….21

2.4.3 Determinación del tránsito promedio diario anual (TPDA 2013) actual para la carretera El Congo – Puerto Castilla…….24

2.5 Determinación de la tasa de crecimiento para el tramo en estudio…….26

2.5.1 Análisis de la serie histórica del PIB en el periodo 2000-2011……..27

2.5.2 Crecimiento poblacional de Nicaragua en el periodo 1995-2005……..29

2.5.3 Tasa promedio de crecimiento del tránsito Nacional……..30

2.5.4 Situación económica del país y sus perspectivas hacia el futuro…….31

2.6 Tasa de crecimiento del tránsito para la carretera El Congo-Puerto Castilla…….33

CAPITULO 3: ESTUDIO DE SUELOS……..35

3.1 Conceptos fundamentales del estudio de suelos……...35

3.1.1 Estudio de suelos……..35

3.1.2 Estudios geotécnicos……35

3.1.2.1 Obtención de muestras de suelo…….35

3.1.2.2 Zonas de préstamo……36

3.1.3 Perfil del subsuelo……..36

3.1.4 Características generales del suelo……36

3.2 Clasificación de suelos……. 37

3.2.1 Clasificación de suelos (AASTHO)…….. 37

3.3 Ensayes de laboratorio fundamentales para proyectos de carreteras……. 41

3.4 Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes (NIC-2000)……. 46

3.4.1 Especificaciones para la capa base y sub-base……... 47

3.4.2 Especificaciones para la capa base del pavimento……... 47

3.4.3 Requerimientos para la capa sub-base del pavimento…… 48

3.4.4 Agregados para el mejoramiento de la sub-rasante……. 49

3.4.4.1 Capa sub-rasante…….50

3.5 Estabilización de suelos……... 51

3.5.1 Propiedades a las que alude la estabilización de suelos…… 51

3.5.2 Campo de aplicación…… 52

3.5.3 Tipos de estabilizaciones……. 52

3.5.4 Requerimientos para estabilizar un suelo……. 53

3.6 Estabilizaciones utilizadas en Nicaragua para la capa base y sub-base del pavimento…….. 53

3.7 Generalidades del estudio de suelos del tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla…… 54

3.7.1 Trabajos de campo……..55

3.7.1.1 Sondeos de línea……...55

3.7.1.2 Sondeos en bancos de materiales……..56

3.8 Actividades de laboratorio…….57

3.8.1 Resultados de los ensayes de laboratorio……..57

3.8.1.1 Suelos de la línea…….58

3.8.1.2 Características de los suelos……..59

3.8.1.3 Bancos de materiales……..60

3.9 Resultados obtenidos para el uso en la estructura de pavimento…….62

CAPITULO 4: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO……..67

4.1 Conceptos y generalidades del pavimento……67

4.1.1 Pavimento…….67

4.1.2 características que debe reunir un pavimento……67

4.1.3 Estructura de un pavimento……...68

4.1.3.1 La sub- base……...69

4.1.3.2 La base……70

4.1.3.3 La carpeta de rodamiento…….71

4.1.4 Clasificación de los pavimentos……...71

4.1.4.1 pavimentos rígidos……..71

4.1.4.2 Pavimentos semi-rigidos o semi-flexibles……72

4.1.4.3 Pavimentos flexible……..72

4.1.4.4 Pavimentos articulados……...72

4.2 METODO “AMERICAN ASSOCIATION OF STATES HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIAL” (AASHTO-1993)……73

4.2.1 Variables de diseño……73

4.2.2 Determinación de CBR de diseño……87

4.2.3 Propiedades de los materiales……..90

4.2.4 Diseño estructural del pavimento articulado……...90

4.2.5 Características de los materiales del pavimento……92

4.2.6 Coeficientes de capa……..92

4.2.7 Determinación de los espesores de las capas……...94

4.2.8 Calculo de: Espesores de capa, Numero estructural efectivo (SN Calculado) y Numero Estructural Requerido (SN diseño)……95

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……103

5.1 Conclusiones……103

5.2 Recomendaciones……105

BIBLIOGRAFIA……..107

ANEXOS

CAPITULO 1: GENERALIDADES

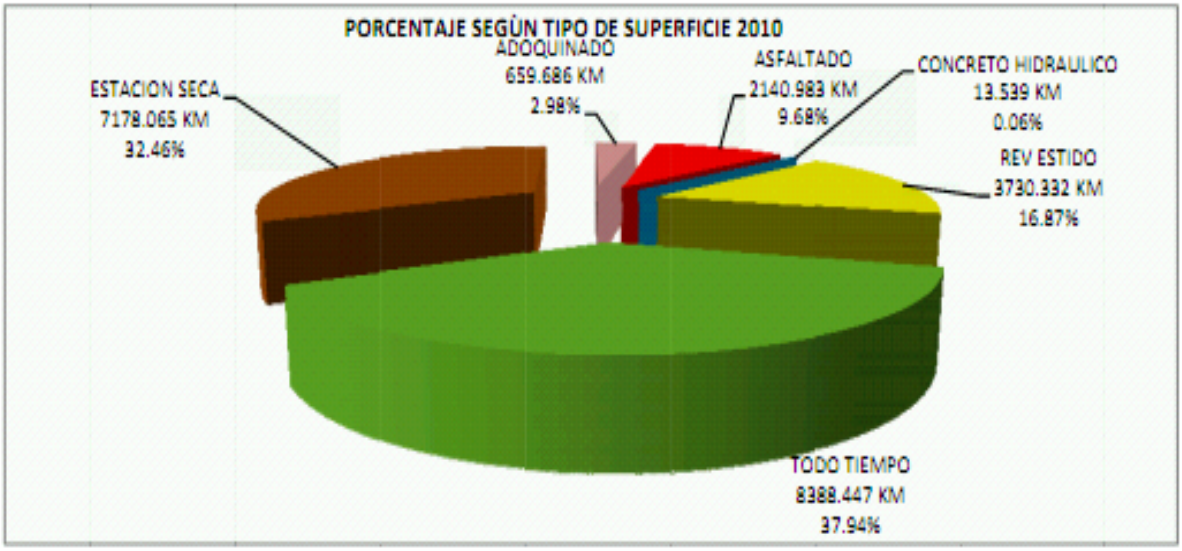
1.1 INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es un componente de gran importancia dentro del patrimonio de una nación, considerando su vinculación directa con el desarrollo social y económico, pues permite la comunicación e interrelación entre centros poblados, así como el intercambio de bienes y servicios. En este orden de ideas, la estructura de pavimento como parte de la infraestructura vial juega un papel preponderante, ya que su objetivo es ofrecer a los usuarios un rodaje cómodo, seguro y económico.

Actualmente en Nicaragua "la Red Vial Nacional está conformada por 22,111 kilómetros (km), de los cuales 2,765 km son pavimentados y 19,346 km no pavimentados"1. La siguiente figura muestra los porcentajes de distribución según el tipo de superficie a nivel nacional.

[1] MTI. **Dirección General de Vialidad, DGV. 2011.**

Figura 1. Porcentaje de distribución de la red vial



Fuente: MTI. Dirección General de Planificación, DGP. 2011.

Por otro lado la Red Vial Nacional en su actual situación, podría tener un valor aproximado de 2,500 millones de dólares y si se reparasen los daños que la misma actualmente presenta, su valor podría ascender fácilmente a los 4,000 millones de dólares[2]. Lo anterior nos ilustra lo valioso e importante que este patrimonio representa para Nicaragua, el cual es necesario proteger, conservar y aumentar para apoyar el desarrollo socio-económico de nuestro país.

Es importante señalar que según cálculos realizados por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI),a través de sus expertos en Ingeniería Vial, por cada córdoba invertido en mantenimiento, los usuarios reciben un beneficio directo de tres córdobas por ahorro en tiempo de viaje, consumo de combustible y menor número de refacciones en sus vehículos. Por otro lado, el Estado también se ahorra tres córdobas adicionales por menores inversiones en concepto de rehabilitaciones y/o reconstrucciones importantes en la red vial.

Para que el transporte vehicular pueda desarrollar su función de facilitador dentro de una cadena productiva, requiere de vías que les permitan desplazarse con

[2] MTI. **Dirección General de Vialidad, DGV. 2011.**

eficiencia y seguridad, de forma que puedan transformarse en verdaderos medios de dislocación, a bajo costo y en el menor tiempo posible, los otros modos de transportes, acuático y aéreo tiene una limitada participación dentro de los desplazamientos de objetos y personas, tanto a nivel local como internacional.

Mediante el presente estudio se ha considerado la importancia de mejorar el acceso intermunicipal del tramo de carretera “El Congo – Puerto Castilla (10.3 Km)” el cual se encuentra localizado al norte del departamento de Chinandega, a unos 38.5 kilómetros (Km) al Nor-Oeste del municipio de El Viejo (Ver anexo I).

El tramo tiene su inicio en el lugar conocido como Empalme El Congo, sobre la carretera El Viejo – El Congo – Punta Ñata. En su trayectoria de 10.3 Km, el camino comunica con la comunidad de Buena Vista, que es la de mayor importancia en la zona, hasta finalizar empalmando con el acceso a una industria camaronera llamada Sallman.

1.2 ANTECEDENTES

El transporte terrestre por carreteras ha sido el principal medio de traslación de bienes y personas, desde sus orígenes hacia los distintos destinos, ya sean estos laborales, productivos o los mercados de consumo a nivel interno del país o fuera de las fronteras nacionales.

Este hecho evidencia claramente la importancia estratégica que tiene este sistema de transporte en la economía y sociedad nicaragüense, dada su versatilidad de penetrar hasta los centros de producción, los mercados locales y los principales centros laborales, además que por ser el único medio terrestre de transporte, mueve a las grandes mayorías.

El desarrollo del Sistema Vial de Nicaragua ha ocupado un lugar importante y fundamental en el ámbito de la economía nacional. Su mayor auge se registró durante las décadas de los años 50 y 60, pasando de 590 Km. de carreteras (pavimentadas y no pavimentadas) en 1950 a un total de 11,201 Km. en 1969,

es decir que se construyeron 10,021 Km. en ese período, de los cuales 906 Km. fueron carreteras pavimentadas, predominando los caminos de estación seca, siendo este el periodo en que aparecen las primeras carreteras revestidas del país.

Verdaderamente en las primeras etapas en que se desarrollaban las carreteras no existía el interés de organizar el sistema vial clasificado de acuerdo a su funcionabilidad, bastaba con identificarla como pavimentada o no pavimentada.

En correspondencia al avance del Sistema Vial obligadamente se realizaron algunas formas de identificación y caracterización de las carreteras, lo cual no era precisamente una clasificación funcional sino una agrupación en base a características constructivas y territoriales. La clasificación funcional, actualmente utilizada, es la establecida en el año 1975.
En la actualidad existe un crecimiento vehicular que han experimentado las carreteras de Nicaragua, se espera que se incremente aún más; producto de la implementación a partir de la entrada en vigencia y la consolidación del Tratado de Libre Comercio con los Estados Unidos, Taiwán, México así como tratados Comerciales con países latinoamericanos dentro de la Iniciativa de la Alternativa Bolivariana de las Américas(ALBA), la dinámica económica que el nuevo gobierno está imprimiendo a la economía, los procesos de descentralizaciones administrativas de los gobiernos locales y las próximas implementaciones de los tratados de Libre Comercio (TLC´s) con otros países como China Taiwán y la Unión Europea. Este Crecimiento vehicular ha sido contabilizado por la red de Estación del Sistema Administración de Pavimento (SAP) desde el año 1996, que administra el Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI.

Evidentemente factores tales como la mala calidad de los suelos presente en la sub-rasante de los caminos rurales, el clima, sobre todo la gran precipitación que se da en los inviernos copiosos, sumado al crecimiento vehicular, han sido

factores determinantes para que actualmente el Tramo de Carretera El Congo – Puerto Castilla (10.3 Km) se encuentre en pésimo estado, ocasionando por consiguiente retrasos en los tiempos de viaje de los usuarios de la vía, así como un alto deterioro del tránsito automotor en su conjunto y por ende un alto costo en la operación vehicular. Por otra parte este corredor no ha tenido el mantenimiento adecuado en tiempo y forma, dado que el MTI únicamente realiza anualmente revestimientos provisionales en el camino, utilizando material selecto obtenido de bancos de préstamo, que únicamente garantiza la transitabilidad vehicular por períodos sumamente cortos.

1.3 JUSTIFICACION

El adoquinamiento del tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla (10.3 Km), abrirá una nueva perspectiva para el desarrollo económico y productivo a las comunidades asociadas al área de influencia, imprimiéndoles una nueva y emprendedora actividad productiva, económica y social, que les facilitará el desarrollo en todos sus órdenes, mejorando la calidad de vida de los pobladores de las comunidades localizadas en los sectores aledaños a ella, lo cual la reviste de una gran importancia a la sociedades asentadas a lo largo de la vía y dentro de su área de influencia, integrándolos de forma expedita a la economía regional; de forma que este corredor sirva como otra alternativa para los desplazamientos de los pobladores y bienes que se generan o atraen, formando parte de las facilidades de la vía y que por su localización la transforma en una vía estratégica para la interconexión entre los circuitos de carreteras de: El Viejo – El Congo – Punta Ñata, lo que permitirá ahorros sustanciales de tiempo de viaje, costos de

operación vehicular de transporte y reduciendo los riesgos de accidentes de tránsito para el transporte vehicular en su conjunto.

Es importante señalar que este camino es de suma importancia en vista que una arteria principal que comunica con el departamento de Chinandega el cual es uno de los departamentos más dinámicos, desde el punto de vista económico. Posee los dos ingenios azucareros más importantes del país en los Municipios de Chichigalpa y el Viejo, igualmente la industria licorera con prestigio nacional e internacional, en donde se produce el licor más fino de Nicaragua, el Ron Flor de Caña. Chinandega cuenta con una agricultura que está muy diversificada, contando con industrias generadoras de: Aceites, harinas, maníes, camarones. Cabe señalar que la producción de licor es actualmente uno de los rubros más importantes para el país, por su generación de ingresos y por la cantidad de empleos que genera, lo que consecuentemente incrementa sustancialmente la economía nacional.

Se espera que el mejoramiento de este camino en el futuro facilite el tránsito generado por la actividad socio económico de la zona, que tiene una importante actividad agropecuaria, destinada no sólo al consumo interno local sino también a la exportación y consumo nacional. La siguiente figura sustenta lo anteriormente expuesto.

Figura 2. Exportaciones de Nicaragua

Fuente: Boletín CETREX, 2010.

Tradicionalmente las construcciones de carreteras se han ejecutados con asfalto, que es de un costo inicial bajo comparado con el concreto hidráulico, pero que requiere de un adecuado y costoso mantenimiento anual. En cambio el pavimento con adoquines ofrece al dueño de las obras una solución ideal para la pavimentación de caminos rurales a costo mucho menor ya que además de ser elementos prefabricados con un estricto control de calidad, su colocación puede ser fácilmente controlada, su mantenimiento es muy económico y no requiere de equipos especiales.

Cabe destacar que el MTI a través de la dirección General de adoquinado en su interés de proteger y conservar la infraestructura vial, ha venido incrementando significativamente la construcción de adoquinados en los caminos rurales del país generando miles de empleos directos e indirectos lo que conlleva a una reducción significativa en el nivel de pobreza.

En definitiva el pavimento de adoquín resulta ideal en caminos rurales visto desde un enfoque técnico, económico y social.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General:

- Diseñar los espesores de la estructura de pavimento articulado por el método de la AASHTO 1993 al tramo de Carretera El Congo – Puerto Castilla (10.3 Km).

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Realizar el estudio de tránsito sustentados en conteos vehiculares a realizar para estimar el Tránsito promedio diario anual (TPDA) actual que circula en el proyecto, el cual servirá para determinar las cargas a que estará sometida la estructura de pavimento articulado.

- Analizar los estudios de suelos a lo largo de la vía y de los bancos de materiales cercanos al sitio del proyecto para determinar su uso o no en el diseño de la estructura de pavimento articulado.

- Determinar los espesores de la estructura de pavimento articulado por el método de la AASHTO 1993.

CAPITULO 2: ESTUDIO DE TRÁNSITO

2.1 Conceptos generales del estudio de tránsito

2.1.1 Estudio de tránsito

El flujo de tránsito en cualquier carretera de la red vial básica de un país, tiene sus propias características de volumen y composición por tipo de vehículo que normaliza las fluctuaciones o las variaciones que se presentan en las características del flujo a lo largo de diferentes intervalos de tiempo, de hora a hora, por día de la semana y de mes a mes.

Por ende los estudios sobre los volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos y/o personas sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial.

Los estudios de tránsito resultan necesarios para estimar el volumen de tránsito futuro y su composición, elementos fundamentales, por una parte, para determinar las características estructural de una carretera, dado que su adecuada cuantificación es indispensable para obtener buenos resultados en un determinado proyecto.

La información requerida para determinar el tránsito en una vía, con propósitos del diseño de la estructura de pavimento, es su promedio diario y su discriminación por el tipo de vehículo.

Es importante hacer notar que debemos contar con la información más precisa posible del tránsito para el diseño, ya que de no ser así podríamos tener diseños inseguros o con un grado significativo de sobre diseño que elevarían de gran manera nuestros costos de construcción.

2.1.2 Métodos de muestreo

Cuando se realizan estudios para una carretera nueva, es evidente que no pueden efectuarse conteos y la estimación del volumen del tránsito en este caso debe de hacerse de manera aproximada, bien sea a partir de los datos de otra vía existente con características similares a la que se va construir.

En el caso que exista la carretera, lo que se realiza es el conteo o aforo que consiste en conocer la cantidad y tipos de vehículos que circulan en un determinado lugar en un tiempo determinado. Asimismo, nos sirven de

herramientas para efectuar las predicciones de tránsito que inciden en las proyecciones de crecimiento que sustentan la planificación del sector vial.

2.1.2.1 Modalidades usadas para aforos de tránsito

Las modalidades más comúnmente usadas para aforos de tránsito son:

Aforos Manuales: Se usan por lo general para contabilizar volúmenes de giro y volúmenes clasificados. La duración del aforo varía con el propósito del aforo. Algunos aforos clasificados pueden durar hasta 24 horas.

Aforos de Cordón: Se entiende por este tipo de aforos a la contabilización de todos los vehículos y las personas que entran o salen de una zona (Área acordonada) durante un día típico.

Contadores Mecánicos: Contadores permanentes son usados para aforar el tránsito continuamente. Es usado a menudo para estudios de tendencias.

Contadores Portátiles: Toman nota de los volúmenes aforados cada hora y 15 minutos, dependiendo del modelo.

2.1.3 Estaciones de conteos vehiculares en Nicaragua

2.1.3.1 Antecedentes

En el año 2009 en nuestro país existían un total de 554 estaciones de conteo de tránsito que manejaba el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) y se clasificaban de la siguiente manera:

a) Estaciones permanentes

b) Estaciones sumarias

c) Estaciones de control

- **Estaciones permanentes**

Las estaciones permanentes se localizaban sobre la red troncal de carreteras.

Anteriormente el personal de aforos del MTI, realizaban dos conteos clasificados anuales (Uno en invierno y otro en verano) durante siete días continuos, cubriendo todas las horas del día. El número total de estaciones permanentes en la red vial de Nicaragua es 16.

- **Estaciones de control**

Las estaciones de control estaban ubicadas en los caminos asfaltados o adoquinados que presentan volúmenes menores que los de la red troncal. En estas estaciones de control se realizaba un conteo en verano y otro de invierno, durante 3 días continuos.

- **Estaciones sumarias**

Estaban ubicadas en caminos no pavimentados. En estas estaciones sumarias se realizaban conteos de 12 horas de duración (6am a 6pm) durante tres días (martes, miércoles y jueves) al menos una vez al año.

2.1.3.2 Situación actual

No obstante en la actualidad la metodología para la clasificación de estaciones consiste en la siguiente:

- ✓ Identificación de vectores de correspondencia y determinación de rangos para las categorías de vectores.
- ✓ Clasificación de estaciones por las categorías de vectores.
- ✓ Etiqueta de Identidad de las estaciones.
- ✓ Dependencia de estaciones.
- ✓ Factores de ajustes.

2.1.3.2.1 Identificación de vectores de correspondencia

Se adoptó como término “vector de correspondencia”, para designar la potencialidad con la cual se manifieste la afinidad que pueda existir entre una estación de conteo largo con una estación de conteo corto.

Para todas las estaciones, se identifican vectores con incidencia y rangos de variaciones en las características del tránsito:

- Vector geográfico - **R**
- Volumen total del tráfico - **V**
- Porcentaje de vehículos pesados en el volumen total diario - **C**
- Razón entre el total de vehículos tipo Cx/Tx y el total de vehículos pesados -**T**

2.1.3.2.2 Clasificación de estaciones por las categorías de vectores

En la red vial básica del país, el sistema de conteo de tránsito del MTI tiene identificado 569 estaciones clasificadas en: 11 estaciones de mayor cobertura, 251 estaciones de corta duración, 297 estaciones de conteo sumarias y 10 estaciones que a la fecha no tienen conteo.

Cabe señalar que la clasificación de las estaciones de conteo se clasifican actualmente en base a la tipología y función, siendo la nueva nomenclatura:

- **Estaciones de Mayor Cobertura (EMC)**

Son las estaciones de conteos continuos los 365 días al año con conteos clasificados de 24 horas por día, pero debido al alto costo que repercute en la ejecución de estos aforos, dado que el Ministerio no está en la capacidad de realizarlos los 365 días del año, se dividió el período en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 tiempos por 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, lográndose obtener el Tránsito Promedio Diario Anual.

Las 11 estaciones de mayor cobertura se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Estaciones de mayor cobertura

N°	Código NIC	N° Estación	Nombre de Tramo
1	NIC-1	101B	Zona Franca – La Garita
2	NIC-1	107	Sébaco – Emp. San Isidro
3	NIC-2	200	Entrada al INCAE – El Crucero
4	NIC-3	300	Sébaco – Quebrada Honda
5	NIC-4	401	Masaya – Granada
6	NIC-7	700	Empalme Camoapa- Tecolostote
7	NIC-12A	1205	Empalme Chichigalpa - Chinandega
8	NIC-18A	1802	San Marcos – Masatepe
9	NIC-24A	2404	Corinto – Chinandega
10	NIC-24B	2400	Chinandega – Ranchería
11	NIC-28	2803	Nagarote – La Paz Centro

Fuente: MTI. Anuario de Aforos de Tráfico 2012.

Asimismo se presenta la ubicación geográfica de estas estaciones en la siguiente figura.

Figura 3. Ubicación geográfica de las estaciones de mayor cobertura

Fuente: MTI. Anuario de Aforos de Tráfico 2012.

- **Estaciones de Corta Duración (ECD)**

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

- **Estación de Conteo Sumaria (ECS)**

Son las estaciones con volúmenes menores a **300 TPDA**. Tanto para las estaciones de Corta Duración y de Conteo Sumaria, se realizan conteos clasificados por 12 horas continuas.

2.2 Tránsito promedio diario anual (TPDA)

El tránsito promedio diario anual se define como el número total de vehículos que pasan durante un año, dividido entre los 365 días del mismo y se calcula mediante la siguiente ecuación:

TPDA= TA/365 **Ecuación 1**

Donde:

TA: Volumen de tránsito anual

Cabe señalar que el TPDA se ha tomado como un indicador numérico para diseño, tanto por constituir una medida característica de la circulación de vehículos, como por su facilidad de obtención.

Constituye así el TPDA un indicador muy valioso de la cantidad de vehículos de diferentes tipos (Livianos y pesados) y funciones (Transporte de personas y de mercancías), que se sirve de la carretera existente como su tránsito normal y que continuará haciendo uso de dicha carretera una vez sea mejorada o ampliada, o que se estima utilizará la carretera nueva al entrar en servicio para los usuarios.

Es de hacer notar que El TPDA es la unidad de medida habitual para indicar el uso o importancia de una carretera **y se expresa en número de vehículos por día (vpd).**

2.3 Composición del tránsito en Nicaragua

Actualmente de acuerdo al MTI, la clasificación vehicular está compuesta por cuatro categorías (Ver anexo II), en donde cada uno está dividida en uno o más

tipos de vehículos. A continuación se realiza una breve explicación de cada grupo de la clasificación vehicular:

Motos: Son vehículos autopropulsados de dos ruedas con o sin transporte, scooters, motonetas, motocarros y otros triciclos a motor.

Vehículos livianos: Son vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen, automóviles, camionetas y microbuses de uso personal.

Vehículos pesados de pasajeros: Son vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los microbuses pequeños (Hasta de 15 pasajeros y microbuses medianos de 25 pasajeros y los buses medianos y grandes).

Vehículos pesados de carga: Son los vehículos destinados al transporte pesado de carga mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en 2, 3, 4, 5 y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2), camiones C3, C2R2 y los vehículos articulados de cinco y seis ejes

2.4 Determinación del tránsito promedio diario anual (TPDA 2013) actual para el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla.

2.4.1 Metodología

Para la determinación del TPDA 2013, así como las características y comportamiento del tránsito para el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla se efectuó bajo una planificación de actividades que incluyeron las siguientes:

- ✓ **Aforo vehicular**

A fin de realizar el conteo de tránsito en el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla, se realizó una inspección de campo en toda la longitud del mismo, con el propósito de observar las características físicas de su geometría y topografía, el tipo de tránsito que circula y ver la existencia de otras vías que vinculan con el camino del proyecto, definiéndose para el aforo el siguiente punto de control.

- **Punto de control:** Adelante del Empalme El Congo (Estación 0+100)

Ahora bien con el objeto de obtener una muestra representativa del tránsito que circula en este corredor, se procedió a efectuar un conteo manual vehicular por tres días consecutivos, durante los días Martes, Miércoles y Jueves respectivamente por lapsos de 12 horas continuas (6am.-6pm.) en el mes de Noviembre del año 2013, para posteriormente determinar el TPDA actual de la carretera en estudio usando los factores de ajuste utilizados por el MTI.

La siguiente tabla muestra los resultados del conteo vehicular de 12 horas realizado al conteo de tránsito en el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla.

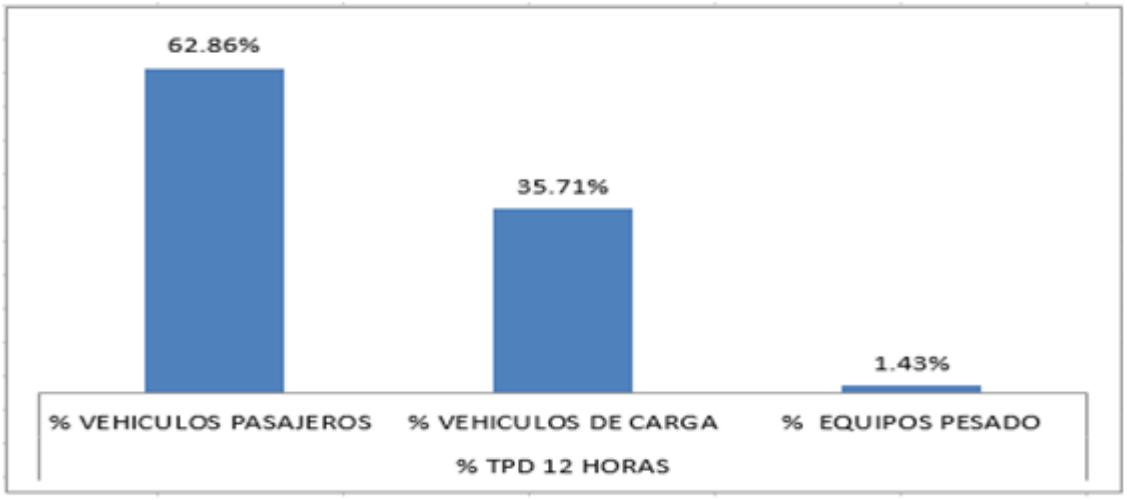
Tabla 2. Resultados del conteo vehicular TPD 12 horas en el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla.

UBICACIÓN:	ADELANTE DEL EMPALME EL CONGO (ESTACION 0+100)										
SENTIDO:	AMBOS										
Conteo de Tránsito Vehicular (12 Horas)											
	VEHICULOS DE PASAJEROS					VEHICULOS DE CARGA			EQUIPO PESADO		
FECHA	AUTO	CTA	M.B.	BUS	MOTO	CAMION			AGRICOLAS	OTROS	TOTAL
						C2	C3	T3S2			
12/11/13	5	15	2	12	15	16	6	2	1	0	74
13/11/13	6	14	1	8	8	14	9	1	0	0	61
14/11/13	4	19	0	10	13	12	12	3	2	0	75
TOTAL	15	48	3	30	36	42	27	6	3	0	210
PROMEDIO TPD 12 HORAS	5	16	1	10	12	14	9	2	1	0	70

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente figura muestra la distribución del tránsito por categoría de vehículos obtenido del conteo vehicular de 12 horas realizado en el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla.

Figura 4. Distribución del TPD de 12 horas obtenido del conteo vehicular



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar según el TPD de 12 horas obtenido de la carretera El Congo – Puerto Castilla (Ver tabla 2, pág. 19), la corriente de tránsito está compuesta por 62.86 % de vehículos pasajeros, 35.71 % de vehículos de carga y 1.43 % de equipos pesado (Agrícolas y de construcción).

- ✓ **Revisión de la información existente**

Dado que uno de los alcances de este estudio es realizar un conteo vehicular de 12 horas durante tres días en este tramo de carretera, era necesario identificar, en base a la nueva metodología utilizada por el MTI para la obtención del TPDA, en que clasificación de Estación se ubica esta carretera, ya sea Estación de Mayor Cobertura, Estación de Corta Duración o Estación de Conteo Sumaria.

De acuerdo a la revisión de la información brindada por la División de Administración Vial del MTI no existen estadísticas de conteos de tránsito en la carretera El Congo – Puerto Castilla.

Sin embargo por la cercanía a esta carretera, la estación de mayor cobertura que le corresponde a este corredor es la **denominada Empalme Chichigalpa-Rotonda Chinandega, Nro. 1205,** por tal razón, asumimos que a esta carretera le corresponde una estación de corta duración la cual depende de su estación madre (Mayor cobertura) Nro. 1205.

Luego de haber determinado el tipo de estación de mayor cobertura que corresponde a esta carretera, es necesario conocer los factores de ajustes que nos permitan obtener el TPDA de la carretera en mención.

2.4.2 Factores de ajustes

Para determinar el valor del TPDA correspondiente a los datos obtenidos del conteo del tránsito vehicular realizado al tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla, se aplicarán los factores de ajustes correspondientes de los valores de volúmenes de tránsito encontrados en la estación de mayor cobertura **Nro. 1205.**

Es importante recalcar que con esta nueva metodología el sistema de conteo de tránsito del MTI, cuenta con factores diferentes para cada cuatrimestre del año, los que son utilizados de conformidad al período de levantamiento de la estación respectiva.

Los factores para el cálculo del TPDA en las estaciones de corta duración se definen de la siguiente forma:

Factor día: Este factor se utiliza para expandir el tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas se obtiene mediante los resultados correspondientes de las estaciones de mayor cobertura de 24 horas siendo la fórmula para calcular:

En las estaciones de Mayor Cobertura, el valor a adoptar por defecto debe ser 1.0.

$$Factor\ Día = 1 + \frac{Trafico\ Nocturno}{Trafico\ Diurno}$$ **Ecuación 2**

Factor semana: Es el factor para expandir el resultado obtenido para un período corto de tres días de la semana (Martes a Jueves) a los promedios semanales 7 días (Lunes a domingo), siendo la ecuación para calcular la siguiente:

$$Factor\ Semana = \frac{(Tlab * 5 + Tfs * 2)}{7 * Tlab}$$ **Ecuación 3**

Donde:

Tlab: Corresponde al tráfico levantado durante la semana Lunes a Viernes.

Tfs: Corresponde al tráfico levantado durante el fin de semana Sábado-Domingo.

Los valores en las Estaciones de Mayor Cobertura por defecto será 1.0.

Factor fin de semana: Es el Factor para expandir un conteo realizado durante el fin de semana a los 7 días de la semana, siendo la fórmula para calcular:

$$Factor\ Laboral = \left(\frac{Tlab * 5 + Tfs * 2}{7 * Tfs}\right)$$ **Ecuación 4**

Factor de expansión: Es el factor para expandir el tráfico diario semanal al tránsito promedio diario anual TPDA por tipo de vehículo, el que se obtiene de los conteos realizados en la estaciones de mayor cobertura.

En vista que el conteo de tránsito fue realizado en el mes de Noviembre del año 2013, **los factores de ajuste obtenidos de la estación de mayor cobertura Nro. 1205** que se utilizarán en el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla serán los detallados en la siguiente tabla:

Tabla 3. Factores del cuarto cuatrimestre del año Septiembre - Diciembre

Factores del primer cuatrimestre del año Enero - Abril

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	MicBus	MinBus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	T-S<=4	T-S=>5	C-R=<4	C-R=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.37	1.35	1.37	1.34	1.20	1.46	1.38	1.33	1.44	1.45	1.00	1.53	1.00	1.00	1.11	1.00	1.36
Factor Semana	0.98	1.00	0.97	0.93	0.97	1.05	1.01	0.89	0.91	0.99	1.00	0.94	1.00	1.00	0.92	1.00	0.93
Factor Fin de Semana	1.05	1.00	1.08	1.22	1.09	0.90	0.98	1.43	1.35	1.03	1.00	1.20	1.00	1.00	1.27	1.00	1.23
Factor Expansión a TPDA	1.15	1.01	0.95	1.01	1.04	0.83	0.94	1.09	0.97	0.95	1.00	0.97	1.00	1.53	2.32	0.90	1.24

Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	MicBus	MinBus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	T-S<=4	T-S=>5	C-R=<4	C-R=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.27	1.34	1.31	1.29	1.19	1.38	1.33	1.29	1.37	1.30	2.00	1.41	1.00	1.00	1.12	1.00	1.21
Factor Semana	0.99	1.00	0.96	0.95	0.98	0.97	0.99	0.89	0.87	0.86	0.86	0.90	1.00	1.00	0.94	1.00	0.96
Factor Fin de Semana	1.03	1.00	1.11	1.17	1.04	1.07	1.03	1.46	1.60	1.65	1.71	1.38	1.00	1.00	1.18	1.00	1.10
Factor Expansión a TPDA	0.87	1.07	1.11	1.03	0.95	1.45	0.96	0.95	1.05	1.17	1.00	1.11	1.00	1.53	0.62	0.63	0.69

Factores del tercer cuatrimestre del año septiembre - Diciembre

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	MicBus	MinBus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	T-S<=4	T-S=>5	C-R=<4	C-R=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.28	1.34	1.34	1.28	1.22	1.13	1.26	1.30	1.38	1.32	1.00	1.48	1.00	1.00	1.10	1.00	1.21
Factor Semana	0.98	0.98	0.97	0.93	1.00	0.86	0.98	0.90	0.88	0.97	1.00	0.91	1.00	1.86	0.84	1.00	0.90
Factor Fin de Semana	1.06	1.06	1.08	1.25	0.99	1.71	1.06	1.40	1.48	1.09	1.00	1.35	1.00	0.46	1.89	1.00	1.36
Factor Expansión a TPDA	1.02	0.93	0.95	0.96	1.02	0.91	1.12	0.97	0.98	0.91	1.00	0.93	1.00	0.59	1.04	3.17	1.34

Fuente: Oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos, MTI 2013.

Cabe recordar que estos factores de ajustes están divididos en cuatrimestres: de enero a abril, de mayo a agosto y de septiembre a diciembre. Debido a que el conteo para este estudio a la carretera El Congo – Puerto Castilla fue realizado en el mes de Noviembre, mes que le corresponde al cuarto cuatrimestre del año, se deberán tomar los factores de ajustes del cuarto cuatrimestre correspondiente al periodo entre Septiembre y Diciembre.

2.4.3 Determinación del tránsito promedio diario anual (TPDA 2013) actual para la carretera El Congo – Puerto Castilla.

Para realizar la expansión del tránsito de 12 horas a TPDA a la carretera El Congo – Puerto Castilla se hará uso de la siguiente ecuación la cual será utilizada para cada tipo de vehículo.

Expansión TPDA = Conteo Vehicular 12 horas*Factor día*Factor semana*Factor expansión **Ecuación 5**

La siguiente tabla muestra los resultados de la expansión del tránsito de 12 horas a TPDA para la carretera El Congo – Puerto Castilla, utilizando los factores de ajustes detallados en la tabla 4.

Tabla 4. Expansión del tránsito de 12 horas a TPDA

Expansión del tránsito de 12 horas a TPDA											
	VEHICULOS DE PASAJEROS					VEHICULOS DE CARGA			EQUIPO PESADO		
FECHA	AUTO	CTA	M.B.	BUS	MOTO	CAMION			AGRICOLAS	OTROS	TOTAL
						C2	C3	T3S2			
12/11/13	5	15	2	12	15	16	6	2	1	0	74
13/11/13	6	14	1	8	8	14	9	1	0	0	61
14/11/13	4	19	0	10	13	12	12	3	2	0	75
TOTAL	15	48	3	30	36	42	27	6	3	0	210
PROMEDIO TPD 12 HORAS	5	16	1	10	12	14	9	2	1	0	70
FACTOR DIA	1.34	1.28	1.22	1.26	1.28	1.38	1.32	1.48	1.10		
FACTOR SEMANA	0.98	0.93	1.00	0.98	0.98	0.88	0.97	0.91	0.84		
FACTOR DE EXPANSION	0.93	0.96	1.02	1.12	1.02	0.98	0.91	0.93	1.04		
EXPANSION A TPDA	6	18	1	14	15	17	10	3	1		85

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que el TPDA de la carretera El Congo – Puerto Castilla resultó ser de 85 vpd.

La siguiente tabla muestra el TPDA 2013 de la carretera El Congo – Puerto Castilla por tipología de vehículo.

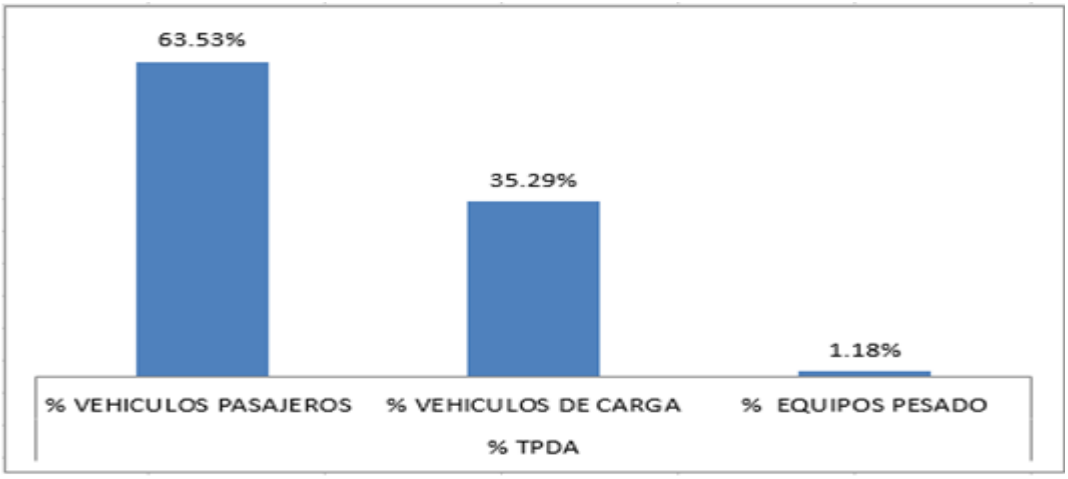
Tabla 5. TPDA 2013 Carretera El Congo – Puerto Castilla

Año	Motos	Autos	Cmta	MnBus 15-30 pas.	Bus	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx ≥ 5e	Agricolas	TPDA
2013	15	6	18	1	14	17	10	3	1	85

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo se puede observar en la siguiente figura, según el TPDA 2013 obtenido del tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla, la corriente de tránsito estará compuesta por 63.53 % de vehículos pasajeros, 35.29% de vehículos de carga y 1.18 % de equipos pesado (Agrícolas y de construcción).

Figura 5. Distribución del TPDA 2013 para la carretera El Congo – Puerto Castilla



Fuente: Elaboración propia.

2.5 Determinación de la tasa de crecimiento para el tramo en estudio

En el presente estudio se establecieron relaciones entre el comportamiento del tránsito del tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla (10.3km), (Variable dependiente) y el de datos estadísticos de indicadores socioeconómicos nacionales, que tienen incidencia en el transporte automotor, como el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB), el crecimiento de la población (POB) y la Tasa Promedio de Crecimiento del Tránsito Nacional en base a datos del anuario de tránsito del MTI, las cuales constituyen las variables independientes, que permitirán obtener la tasa de crecimiento vehicular para nuestro periodo de análisis.

Para efectos de este estudio, debido a la falta de información de planes de desarrollo dentro de la zona de influencia de la carretera, la determinación de la tasa de crecimiento vehicular se determinó mediante un proceso, basados en las hipótesis que a continuación se describen:

- Se analizaron una serie de datos históricos del Producto Interno Bruto (PIB) durante el periodo comprendido entre los años 2000 y 2011 respectivamente.

- Se determinó el porcentaje de crecimiento poblacional del país en el período intercensal de 1995 a 2005.

- Se utilizó la tasa de crecimiento promedio del tránsito nacional, en base a los datos obtenidos en las 10 estaciones de mayor cobertura ubicadas en la Red Troncal del País.

- Se analizó la situación económica actual del país y sus perspectivas hacia el futuro.

2.5.1 Análisis de la serie histórica del PIB en el período 2000 – 2011

Se realizó un análisis de la variable Producto Interno Bruto (PIB) dado que esta tiene una estrecha relación con el incremento del parque automotor y del tránsito por las diferentes carreteras del país.

Esta relación se basa dado que la variable PIB refleja el crecimiento económico que experimenta el país, lo cual es producto de una mayor producción, por lo que se traduce en mayor cantidad de carga a transportar, o sea se generan más viajes de los vehículos ya existentes y se incorporan nuevos vehículos al tránsito actual.

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

En la tabla 6 se muestran los diferentes datos del PIB en millones de córdobas durante el periodo 2000 – 2011.

Tabla 6. Producto interno bruto (PIB) de Nicaragua; 2000 - 2011

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
PIB (millones de C$)	27,075.70	27,877.40	28,087.50	28,795.50	30,325.20	31,623.90

Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011
PIB (millones de C$)	32,936.90	34,136.90	35,078.80	34,563.40	36,112.00	37,792.80

Fuente: Informe Anual 2011 Banco Central de Nicaragua.

De acuerdo a estos datos se procedió a calcular la tasa de crecimiento interanual, y la tasa de crecimiento promedio del período 2000-2011. En la tabla 7 se observan los resultados.

Tabla 7. Tasa de crecimiento promedio del PIB período 2000 - 2011

Periodo	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005
TC	2.96%	0.75%	2.52%	5.31%	4.28%

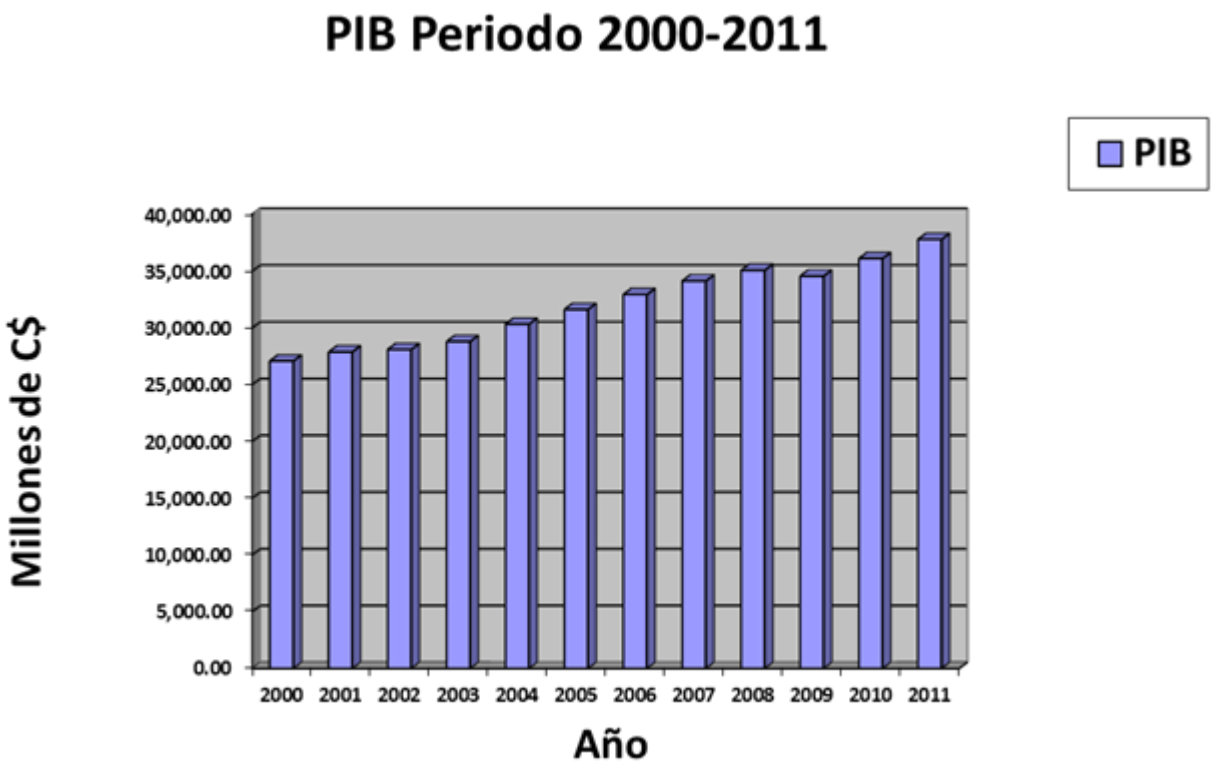
Periodo	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011
TC	4.15%	3.64%	2.76%	-1.47%	4.48%	4.65%

Tasa de Crecimiento Promedio 2000 - 2011	**3.09%**

Fuente: Informe Anual 2011 Banco Central de Nicaragua.

En la figura 6 se puede determinar con más facilidad la tendencia creciente del PIB en Nicaragua, a excepción del año 2009, año en que el PIB decreció en **1.47%** como consecuencia de la crisis económica mundial que se originó producto del aumento del precio del petróleo y por la crisis hipotecaria en los Estados Unidos de Norteamérica. No obstante es importante señalar que esta cifra fue menor al promedio de decrecimiento que experimentó la economía en América Latina ese año, que fue de un **2.1%,** según datos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Figura 6. Producto interno bruto (PIB) de Nicaragua; 2000 - 2011



Fuente: Informe Anual 2011 Banco Central de Nicaragua.

2.5.2 Crecimiento poblacional de Nicaragua en el período 1995 – 2005

En el año 2005 se realizó en Nicaragua el VIII censo de población y IV de vivienda. Diez años antes, en el año 1995, se había realizado el VII censo de población y III de vivienda.

Estos dos censos constituyen las más recientes bases de información de la población que habita en Nicaragua. Por tal razón, y dado que el dato de población está estrechamente relacionado con la cantidad de vehículos, viajes, consumo, etc., es muy importante relacionar estos datos con el tránsito que circulará por el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla.

En la tabla 8 se muestra la cantidad de habitantes de Nicaragua de acuerdo a información de los censos de los años 1995 y 2005, y la tasa de crecimiento en este período.

Tabla 8. Población de Nicaragua; censos 1995 y 2005

Año	Población del País	Tasa de Crecimiento (%)
1995	4357,099	1.7
2005	5142,098	

Fuente: VIII Censo de Población y IV de Vivienda 2005.

2.5.3 Tasa promedio de crecimiento del tránsito nacional

Con el fin de poder estimar un incremento proyectado del tránsito en el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla, se debe relacionar el tránsito del tramo en estudio con la dinámica de crecimiento del tránsito a nivel nacional. Para esto se utilizó la tasa promedio de crecimiento de las estaciones de mayor cobertura en el año 2010.

Esta tasa fue del **5.33%,** de acuerdo a información plasmada en el anuario de tránsito 2010 del MTI.

La siguiente tabla muestra las estaciones de mayor cobertura del país con sus respectivas tasa de crecimiento de tránsito.

Tabla 9.Tasas de crecimiento del tránsito en estaciones permanentes

N°	CODIGO NIC	EST.	NOMBRE DEL TRAMO	TASAS DE CRECIMIENTO
1	NIC-1	101B	Zona Franca - La Garita	1.90%
2	NIC-1	107	Sébaco - Emp. San Isidro	4.75%
3	NIC-2	200	Entrada al INCAE - El Crucero	4.30%
4	NIC-3	300	Sébaco - Quebrada Honda	4.83%
5	NIC-4	401	Masaya - Granada	2.51%
6	NIC-7	700	Emp. San Francisco - Tecolostote	5.40%
7	NIC-12A	1205	Emp. Chichigalpa - Rotonda Chinandega	5.47%
8	NIC-18A	1802	San Marcos - Masatepe	7.55%
9	NIC-24A	2404	Chinandega - Corinto	8.60%
10	NIC-24B	2400	Chinandega (Rotonda) - Rancheria	7.68%
11	NIC-28	2803	Nagarote - La Paz Centro	5.67%

Fuente: MTI. Anuario de Aforos de Tráfico 2012.

2.5.4 Situación económica del país y sus perspectivas hacia el futuro

Nicaragua, a pesar de la crisis económica mundial del año 2009 y la actual crisis económica en Europa, se ha caracterizado por haber experimentado un crecimiento económico constante, con excepción del año 2009 (Ver tabla 7, pág. 35). Para el año 2012 la tasa estimada de crecimiento del PIB por el Banco Central de Nicaragua (BCN) rondará el **4%.** El Fondo Monetario Internacional (FMI) pronostica un crecimiento del **3.7%.**

Dentro de los principales factores de este crecimiento se encuentra el sector construcción y la minería. La construcción está en auge dado el incremento de edificaciones de obras privadas, especialmente de residenciales tanto de

carácter social, como aquellas dirigidas a estratos económicos de mayor alcance.

La Cámara Nicaragüense de la Construcción estima que en el año 2012 están ejecutándose unos 600 proyectos, entre públicos y privados, en el área turística, energética, urbanizaciones, carreteras entre otras obras.

La minería metálica continúa con gran impulso por la extracción de oro y plata, como resultado de nuevas áreas de explotación e implementación de mejores procesos tecnológicos en el procesamiento y extracción de material selecto por las compañías del sector.

El BCN evalúa que el crecimiento económico del país se mantiene sólido, pese a los riesgos generados en el contexto internacional, principalmente por la crisis de deuda en la zona euro.

Las exportaciones de Nicaragua son otro punto fuerte de la economía, ya que durante el periodo de 2006-2011 ha experimentado una tendencia ascendente. En ese periodo las ventas al exterior de nuestro país crecieron un promedio de 17 por ciento. En el año 2012 esta tendencia siguió, se exportó un total de 2,778 millones de dólares en productos, un 17.5 % más que lo registrado en el año 2011, de acuerdo a información del Centro de Trámites de las Exportaciones (Cetrex). El Cetrex reporta asimismo, un volumen total exportado de 256,000 toneladas, lo que representa un aumento del **16.56 %** con relación al año 2011.

El aumento en los precios internacionales de algunos productos tradicionales como carne bovina, oro, productos lácteos, fríjoles y mariscos originó la subida en el valor de las exportaciones.

Dado que Nicaragua es un país en vías de desarrollo es necesario atraer capital para inversión. En este rubro también se han dado incrementos. Durante el período 2006-2011 la inversión extranjera directa, pasó de un 6.7 por ciento a un **18 %**, o sea se ha triplicado la llegada de capitales.

Ciertamente que existen también algunos riesgos para que este crecimiento económico siga sostenido, entre ellos se puede mencionar un menor dinamismo de la actividad mundial y cambios bruscos de los flujos de cooperación externa o de la inversión extranjera directa. Sin embargo se espera que para el futuro el crecimiento económico sea incluso mayor, producto de los resultados de la implementación del Tratado de Libre Comercio con los Estados Unidos, tratados Comerciales con países latinoamericanos dentro de la Iniciativa de la Alternativa Bolivariana para los pueblos de nuestra América (ALBA) y la pronta implementación del tratado de Libre Comercio (TLC´s) de Centroamérica y la Unión Europea, lo cual dará una mayor dinámica a la producción y exportación.

2.6 Tasa de crecimiento del tránsito para la carretera El Congo – Puerto Castilla.

En base al análisis realizado a las variables: **PIB, Población, Tránsito nacional y de acuerdo a la situación económica del país y su perspectiva futura** se propone utilizar una tasa de crecimiento promedio de los resultados de estas variables.

En la siguiente tabla se muestra las variables analizadas, sus tasas de crecimiento y el promedio de estas.

Tabla 10. Variables analizadas y tasa de crecimiento promedio

Variable	Tasa de Crecimiento
PIB	3.09 %
Población	1.70 %
Tránsito Nacional	5.33 %
Tasa de Crecimiento Promedio	**3.37 %**

Fuente: Elaboración propia

Resultando una tasa de crecimiento para la corriente vehicular de la carretera El Congo – Puerto Castilla del 3.37 %, misma que se utilizará en los años horizontes del proyecto, la cual en base al análisis realizado se considera adecuada.

CAPITULO 3: ESTUDIO DE SUELOS

3.1 Conceptos fundamentales del estudio de suelos

3.1.1 Estudio de suelos

Un estudio de suelos permite dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo, es decir la composición de los elementos en las capas de profundidad, así como el tipo de cimentación más acorde con la obra a construir y los asentamientos de la estructura en relación al peso que va a soportar.

Estos resultan de gran importancia, pues constituyen una labor de análisis y decisiones al momento de realizar el diseño de la estructura de pavimento de una carretera, de acuerdo a los resultados de la estratigrafía y teniendo en cuenta otros parámetros de diseño es que se determinan los espesores de pavimento.

3.1.2 Estudios geotécnicos

El estudio geotécnico consiste en realizar las investigaciones correspondientes para conocer las condiciones de los suelos existentes, así como de las posibles fuentes o bancos de materiales existentes en la zona del camino, de manera que

por sus propiedades y características permitan determinar el diseño de la estructura de pavimento de la carretera en estudio.

3.1.2.1 Obtención de muestras de suelo

La obtención de muestras es una de las operaciones más importantes, pues requiere no solo conocimientos de suelos y materiales, sino experiencia para seleccionar el o los sitios donde deberán tomarse las muestras y determinar, además la profundidad a la cual deberá extraerse dichas muestras.
En general la profundidad a que se toma la muestra de suelo es de 1.50 metros, generalmente debe contarse con una muestra de suelos a cada 100 metros, si las muestras obtenidas no son una fiel representación del material existente en el sitio, los mejores análisis y ensayos de laboratorio serán inútiles y la información que se obtenga de estos ensayos puede ser más bien confusa y a veces perjudicial.

3.1.2.2 Zonas de préstamo

Lo que interesa fundamentalmente de los sitios de préstamo que han sido seleccionados para obtener el material destinado a la construcción de una carretera, es conocer la clase o clases de materiales existentes y el volumen aproximado que pueda ser excavable y removible.

3.1.3 Perfil del subsuelo

Una vez conocidos los perfiles topográficos de la zona, es necesario conocer el perfil del subsuelo, es decir, conocer las clases de materiales que forman el subsuelo a diferentes profundidades.

Cualquiera que sea el tipo de perforación que se ejecute, a medida que se va profundizando en ella se deben anotar los espesores de los distintos estratos atravesados, el color y olor de los materiales. Con estos datos y los resultados

obtenidos en el laboratorio a los materiales de la línea, se realiza un perfil de suelos.

3.1.4 Características generales del suelo

Entre las características generales del suelo se pueden mencionar:

Densidad: Es la cantidad de materia sólida presente por unidad de volumen.

Cohesión: Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad.

Compresibilidad: Es la propiedad que define las características de esfuerzo deformación de los suelos, la aplicación de esfuerzos agregados a una masa de suelo originan cambios de volumen y desplazamiento.

Permeabilidad: Es la propiedad que tienen los suelos de permitir el paso del agua a través de sus vacíos.

3.2 Clasificación de los suelos

En la actualidad los sistemas más utilizados para la clasificación de los suelos, en estudios para diseño de pavimentos de carretera y aeropistas son el de la American Asociatión Of. State Highway and Transportación Offials (AASHTO) y el Unified Soil Clasificaron Sistem, conocido como Sistema unificado de Clarificación de Suelos (S.U.C.S).

Los suelos se clasifican en tres grandes grupos que son:

- **Arenas y gravas**: Son materiales granulares no plásticos.

- **Limos:** Son suelos algo plásticos.

- **Arcillas:** Son suelos muy cohesivos y plásticos.

3.2.1 Clasificación de suelos (AASTHO)

Los suelos se clasifican en siete grupos, basándose en la composición granulométrica, en el límite líquido y en el índice de plasticidad de un suelo. La evaluación de cada grupo, se hace por medio de su "Índice de Grupo", el cual es calculado mediante una fórmula empírica.

Índice de grupo: La clasificación de un suelo en un determinado grupo se basa en su límite de líquido, grado de plasticidad y porcentaje de material fino que pasa el tamiz No. 200. Los índices de grupo de los suelos granulares están generalmente comprendidos entre 0 y 4; los correspondientes a los suelos a los suelos limosos, entre 8 y 12 y dé suelos arcillosos, entre 11 y 20, o más. El índice de grupo se calcula con la siguiente ecuación:

$$IG = (F-35)[0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F-15)*(IP-10)$$ **Ecuación 6**

Donde:

IG = índice de grupo.

F = Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz No. 200, expresado como número entero.

LL = Limite líquido.
IP = índice de plasticidad.

Esta clasificación divide los suelos en dos clases: una formada por suelos granulares y otra por suelos de granulometría fina, limo-arcillosos.

A continuación, se indicara cada una de las clases de suelos con sus grupos y subgrupos.

a) **Suelos granulares:** Son aquellos que tienen 35% o menos, del material fino que pasa el tamiz No. 200. Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3.

b) **Suelos finos limo arcillosos:** Contienen más del 35% del material fino que pasa el tamiz No. 200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

Grupo A-1:

El material de este grupo comprende las mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedra, grava, arena y materia ligante poco plástico. Se incluyen también aquellas mezclas bien graduadas que no tienen material ligante.

Subgrupo A-1a:

Comprenden aquellos materiales formados predominantemente por piedra o grava, con o sin material ligante bien graduado.

Subgrupo A-1b:

Comprenden a aquellos materiales formados predominantemente por arena gruesa y con, o sin, material ligante bien graduado.

Grupo A-2:

Comprende una gran variedad de material granular que contiene menos de 35% del material fino.

Subgrupos A-2-4 y A-2-5:

Pertenecen a estos Subgrupos aquellos materiales cuyo contenido de material fino es igual o menor del 35% y cuya fracción que pasa el tamiz No. 40 tiene las mismas características de los suelos A-4 y A-5 respectivamente.

Estos grupos incluyen suelos gravosos y arenosos (arena gruesa), que tengan un contenido de limo, o índice de grupo, en exceso a los indicados por el grupo A-1. Asimismo, incluyen aquellas arenas finas con un contenido de limo no plástico en exceso al indicado para el grupo A-3.

Subgrupos A-2-6 y A-2-7:

Los materiales de estos subgrupos son semejantes a los anteriores, pero la fracción que pasa el tamiz número 40 tiene las mismas características de los suelos A-6 y A-7, respectivamente.

Grupo A-3:

En este grupo se encuentran incluidas las arenas finas, de la playa y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad. Este grupo incluye además, las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.

Grupo A-4:

Pertenece a este grupo los suelos limosos poco o nada plásticos, que tienen un 75% o más del material fino que pasa el tamiz No. 200. Además, se incluyen en este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta en un 64%.

Grupo A-5:

Los suelos comprendidos en este grupo son semejantes a los del anterior, pero contienen material micáceo o diatomáceo. Son elásticos y tienen un límite líquido elevado.

Grupo A-6:

Los suelos de este grupo son semejantes a los suelos A-5, pero son elásticos. Sus límites líquidos son elevados.

Grupo A-7-5:

Incluye aquellos materiales cuyos índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos.

Subgrupo A-7-6:

Comprende aquellos suelos cuyos índices de plasticidad son muy altos con respecto a sus límites líquidos y además experimentan cambios de volumen muy grandes entre sus estados “seco” y “húmedo”.

3.3 Ensayes de laboratorio fundamentales para proyectos de carreteras

Una vez recolectadas las muestras de los sondeos de línea y de los posibles bancos de préstamo a utilizarse, se le deberá realizar los siguientes ensayes de laboratorio, para determinar si estos materiales pueden ser empleados en la estructura de pavimento, según los requerimientos de la normativa correspondiente a utilizar.

1) Contenido de humedad:

Nos permite determinar el estado de concentración de agua con que cuentan los suelos, así mismo podemos obtener la capacidad de evacuación de humedad o evaporación superficial de esta. Aunque no sea una prueba de infiltración, la forma de cómo realizarlo es tomando una muestra representativa del suelo pesándolo mojado y luego secándolo al horno por un periodo de 24 horas a temperatura de +,- 110o C. posteriormente de secado es pesado y la relación que hay entre el peso húmedo y el seco se encuentra el porcentaje de humedad de dicha muestra.

2) Análisis granulométrico de los suelos (Método mecánico):

Los análisis granulométricos se realizan con el objeto de obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo, y fijar por medio de porcentajes de pesos la cantidad de granos de distintos tamaños que el mismo contiene, esto se realiza con la implementación de tamices con aberturas cuadradas de diferentes tamaños, con el objeto de separar el material ensayado, esto se conoce como método mecánico.

3) Determinación de los límites de Atterberg o límites de consistencia:

Para una mejor caracterización de un suelo se debe de realizar otro tipo de prueba además del análisis granulométrico, es por ello que se realizan los

ensayos de Atterberg con el propósito de determinar las características que poseen los suelos de grano finos no considerados en el análisis mecánico de los suelos, con este ensayo obtenemos el límite líquido que es el punto donde el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse y el límite plástico que es el punto donde el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe. La diferencia entre los valores del límite líquido (L.L.) y del límite plástico (L.P.) da el llamado índice Plástico (I.P.) del suelo.

Los ensayos de los límites de Atterberg deben hacerse sobre suelos tamizados a través del tamiz No. 40. Comúnmente, el suelo traído del campo se encuentra en un estado de humedad demasiado alto para pasar a través de la malla No. 40, por lo que es entonces permisible secar al aire el suelo.

4) Ensayo de compactación próctor

Básicamente el objeto de la compactación de suelos es aumentar la resistencia mecánica del suelo y disminuir su capacidad de deformación. Es decir se busca aumentar el peso específico del suelo (Densidad) disminuyendo su volumen de vacíos.

El ensayo de compactación Próctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad en la compactación de las capas base y sub-base del pavimento. A través de él es posible determinar la compactación máxima de un suelo en relación con su grado de humedad, condición que optimiza el inicio de la obra con relación al costo y el desarrollo estructural e hidráulico.

En la actualidad existen dos tipos de ensayo Próctor normalizados; el “Ensayo próctor standard” (Normal), y el "Ensayo próctor modificado". La

diferencia entre ambos estriba en la distinta energía utilizada, debido al mayor peso del pisón y mayor altura de caída en el Próctor modificado.

Ambos ensayos se deben al Ingeniero que les da nombre, Ralph R. Próctor (1933), y determinan la máxima densidad que es posible alcanzar para suelos o áridos, en unas determinadas condiciones de humedad, con la condición de que no tengan excesivo porcentaje de finos, pues la prueba Próctor está limitada a los suelos que pasen totalmente por la malla No 4, o que tengan un retenido máximo del 10 % en esta malla, pero que pase (dicho retenido) totalmente por la malla 3/8". Cuando el material tenga retenido en la malla 3/8" deberá determinarse la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo con la prueba de Próctor estándar.

El ensayo consiste en compactar una porción de suelo en un cilindro con volumen conocido, haciéndose variar la humedad para obtener el punto de compactación máxima en el cual se obtiene la humedad óptima de compactación. El ensayo puede ser realizado en tres niveles de energía de compactación, conforme las especificaciones de la obra: normal, intermedia y modificada.

La energía de compactación viene dada por la siguiente ecuación:

$$Ee = (Nn\ Wh) / V \qquad \textbf{Ecuación 7}$$

Donde:

N = Número de capas
n = Número de golpes por capa
W = Peso del pisón
h = Altura de caída del pisón

V = Volumen del molde

El Grado de compactación de un suelo se expresa en porcentaje respecto al ensayo Próctor; **es decir, una compactación del 85% de Próctor normal quiere decir que se alcanza el 85% de la máxima densidad posible para ese suelo.**

En la curva obtenida de este ensayo, la máxima abscisa representará la humedad óptima del suelo para la que pueda lograrse el máximo peso específico con la energía de compactación entregada.

5) Determinación de la resistencia de los suelos por medio del ensaye CBR:

El ensaye de valor soporte de california CBR, es realizado con el objeto de determinar la resistencia de los suelos al esfuerzo cortante bajo condiciones de humedad y densidad controladas. La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el número T-193.

En este ensayo, se mide la resistencia que opone un suelo a la penetración de un pistón de 3 plg² de área en una muestra de suelo de 6 plg. (15 cm) de diámetro y 5 plg. (12.5 cm) de altura, a una velocidad de 1.27 mm/min (0.5 plg./min). La fuerza necesaria para que el pistón penetre dentro del suelo se mide a determinados intervalos de penetración; estas fuerzas medidas, se comparan con las que se necesitan para producir iguales penetraciones en una muestra que sirve de patrón, la cual es piedra partida bien graduada; la definición del CBR es:

$$CBR = \frac{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5 mm en un suelo}}{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5mm en la muestra Patrón}}$$

La siguiente tabla muestra los valores de carga patrón para el ensayo CBR.

Tabla 11.Valores de la carga patrón

Penetración en pulgadas	Esfuerzo (lb/pulg^2)
0.1	1,000
0.2	1,500
0.3	1,900
0.4	2,300
0.5	2,600

Fuente: "Estructuras de vías terrestres", Fernando Olivera Bustamante.

Relación que nos da un valor que se indica en porcentaje, el cual puede ser muy variable dependiendo de los suelos analizados; 2 a 4 % en arcillas plásticas hasta un 70 % o más en materiales granulares de buena calidad.

Todos los suelos, tanto finos como gruesos o sus mezclas, se compactan a diferentes contenidos de humedad tanto arriba como bajo de su humedad óptima. Las muestras elaboradas bajo estos procedimientos, se sumergen en agua durante un período mínimo de 96 horas, antes de proceder a su ensayo, con el objeto de simular las condiciones de saturación a las cuales van a estar sometidos los suelos como la sub-rasante de una carretera, y en esta forma, obtener los CBR´s de los suelos bajo las condiciones más críticas.

En el ensayo y en inmersión, se colocan pesos sobre las muestras, con el objeto de simular las cargas tanto vehiculares, como de la estructura de pavimento, a las cuales van a estar sometidos los suelos de la sub-rasante.

El método del CBR para diseño de pavimentos, fue uno de los primeros en utilizarse y se basa principalmente en que a menor valor de CBR de la sub-rasante es necesario colocar mayores espesores en la estructura de pavimento para protegerlo de la frecuencia de las cargas de tránsito.

"Es importante señalar que en términos de densidad, incrementos de finos significan incrementos de densidad seca, pero en caso del CBR los cambios que se producen en su valor no son del todo significativos, lo cual significa que un aumento de la densidad seca no significa que sea garantizado un aumento del CBR"[3].

3.4 Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes (NIC-2000)

En Nicaragua el documento en donde se encuentran las normas para la construcción de caminos, calles y puentes es el NIC-2000, en la sección 1003 de este documento, se detalla claramente los requerimientos para la selección de los materiales para base y sub-base de un pavimento.

3.4.1 Especificaciones para la capa base y sub-base

La graduación que debe cumplir el suelo para ser utilizado como material de base o de sub-base, según la NIC-2000, se muestra en la siguiente tabla:

[3] **Fuente: Beira E. Mecánica de Suelos, MVT, UNI, Nicaragua, 2010**

Tabla 12. Márgenes del valor meta para graduaciones de sub-base, base o capas superficiales de agregados.

Tamaño del tamiz	Porcentaje en peso que pasa el Tamiz Designado (AASHTO T 27 y T 11)					
	Designación de la graduación					
	Sub-base A	Sub-base B	Base C	Base D	Base E	Superficie F
2 1/2 "	100(1)					
2"	97-100(1)	100(1)	100(1)			
1 1/2"		97-100(1)	97-100(1)	100(1)		
1"	65-79(6)			97-100(1)	100(1)	100(1)
3/4"			67-81(6)		97-100(1)	97-100(1)
1/2"	45-59(7)					
3/8"				56-70(7)	65-79(6)	
No-4	28-42(6)	40-30(8)	33-47(6)	39-53(6)	45-59(7)	47-71(7)
No-40	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)	12-28(5)
No-200	4-8(3)	0-12(4)	4-8(3)	4-8(3)	4-8(3)	9-16(4)

Fuente: NIC-2000, Subdivisión 1000, Sección 1003

(1) Los procedimientos estadísticos no son aplicables.

( ) Desviaciones permisibles (+,-) de los valores meta.

3.4.2 Especificaciones para la capa base del pavimento

Los requisitos que debe cumplir el material, después de colocado y compactado, (incluyendo material estabilizado mecánicamente), según las Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes (NIC-2000), están detalladas en la presente tabla.

Tabla 13. Requerimientos para la capa base

	Tipo 1	Tipo 2
Desgaste, los Ángeles	máx. .50%	máx. .50%
Limite líquido , AASHTO T 89	máx. .25	máx. .25
Índice de Plasticidad	máx. 10%	máx. 15%
Módulo de Plasticidad	máx. 200	máx. 400
CBR al 95% de AASHTO Modificado (AASHTO T 180)	min. 80%	min. 60%
% de finos	10 máx.	10 máx.

Fuente: NIC-2000, Subdivisión 1000, Sección 1003

El tipo 2 se usa solamente cuando los niveles de transito no exceden de 300 Ejes equivalentes estándar (EE) (8200Kg) por día.

3.4.3 Requerimientos para la capa sub-base del pavimento

"Los requisitos que debe cumplir el material, después de colocado y compactado, (incluyendo material estabilizado mecánicamente), según las Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes (NIC-2000), son los siguientes.

Requisitos de los Materiales:
Gravas:
Tamaño máximo.....75 mm.
Índice de Plasticidad.....15 máx.

Arenas, limo y arena arcillosa:
- % que pasa el tamiz No 10.....95.0 máx.
- % que pasa el tamiz No 200.....10.0 mín. - 30.0 máx.
- Índice de Plasticidad.....mín. 5 - 12 máx.

- Límite Líquido.....máx. 35%

Para todos los materiales:

- * Módulo de Plasticidad.....máx. 250
- CBR al 95% de ASSHTO Modificado (AASHTO T 180).....mín. 40%
- % de finos.....10 máx.

Nota: *Módulo de Plasticidad = Índice de Plasticidad * % de finos que pasa el tamiz No 40”[4].

3.4.4 Agregados para el mejoramiento de la sub-rasante

El NIC-2000 recomienda que el material esté constituido por partículas duras y durables, o fragmentos de escoria, piedra o grava, cribadas o trituradas al tamaño y graduación que se requieran. A la vista, el material estará exento de material vegetal y de terrones de arcilla y debe satisfacer los requisitos de cualquiera de las graduaciones que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 14. Requisitos graduación de agregados para el mejoramiento de la Sub-rasante

Designación del tamiz	Porcentajes en Peso que pasan por tamices según AASHTO T27		
	A	B	C
3'	100	_	_
1 1/2"	_	100	_
1"	_	_	100
NO 4	30-70	30-70	40-80
No 200	0-15	0-15	5-20

Fuente: NIC-2000, Subdivisión 1000, Sección 1003

La proporción que pasa por el tamiz No 40, debe de tener un límite líquido máximo de 30 e índice de plasticidad no mayor de 6, determinado por el ensayo ASSHTO T-90.

[4] **Fuente: NIC-2000, Subdivisión 1000, Sección 1003**

3.4.4.1 Capa sub-rasante

Es necesario recordar que el ensayo de CBR mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, además se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y sub-rasantes bajo el pavimento de carreteras. Esta normado en la AASHTO con el número T-193.

La siguiente tabla muestra la clasificación típica de la calidad de la sub-rasante en función del CBR.

Tabla 15. Clasificación de suelos para la estructura de pavimento

C.B.R	Clasificación
0 - 5	Sub-rasante muy mala
5-10	Sub-rasante mala
10-20	Sub-rasante regular a buena
20 - 30	Sub-rasante muy buena
30 - 50	Sub-base buena
50 - 80	Base Buena
80 -100	Base muy buena

Fuente: "Estructuras de vías terrestres", Fernando Olivera Bustamante.

3.5 Estabilización de suelos

Se entiende como proceso de la estabilización de suelos, al conjunto de fenómenos mecánicos físicos, químicos y físico-químicos, tendientes a modificar las propiedades de los suelos que interesan, para una determinada aplicación en ingeniería, haciendo que el material suelo sea adecuado para el uso y diseño previsto, reemplazando a otros materiales no disponibles o más costosos.

El objetivo del estudio de estabilización de materiales es el de mejorar las características físico mecánicas de los suelos naturales existentes a lo largo del trazo de la vía que no cumplen como suelos de subrasante por su baja resistencia portante o su alta expansión, sobre la que se construirá el cuerpo de terraplén y el paquete estructural del pavimento.

También como objetivo es darle al suelo natural la suficiente resistencia al desgaste y al esfuerzo cortante para resistir las cargas del tránsito bajo cualquier condición climática, sin que se produzcan deformaciones perjudiciales. Entonces no solo se trata de llegar a un estado de suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas, sino también, asegurar la permanencia de este estado a través del tiempo.

3.5.1 Propiedades a las que alude la estabilización de suelos

- ✓ Comportamiento bajo cargas
- ✓ Cambios volumétricos
- ✓ Impermeabilidad
- ✓ Compresibilidad

3.5.2 Campo de aplicación

La aplicación de la estabilización de suelos es muy amplia y depende entre otras cosas, de la clasificación del camino y del tipo de estructura a diseñar:

- Sub - rasante
- Sub - base
- Base

3.5.3 Tipos de estabilizaciones

A continuación se detalla cada uno de los tipos de estabilización que existen:

1) Estabilización mecánica: Comprende la densificación del suelo logrado por procesos de compactación. La estabilización mecánica es uno de los medios más económicos y sencillos de estabilización y persigue el objetivo fundamental es elevar los estándares de calidad de los materiales locales, haciendo uso intensivo de los materiales de otros locales cercanos de mayor calidad y en menos proporción, y con ello, evitar el uso de otros aditivos que podrían resultar más caros. Es útil además cuando no se dispone de materiales en canteras cercanas que económicamente permita sustituir el material disponible.

2) Estabilización física: Lo que se busca es una adecuada granulometría mediante el aporte de materiales cohesivos o granulares o ambos a la vez, al primitivo suelo.

3) Estabilización físico-química: Se busca cambiar las propiedades del suelo por la adición de un agente estabilizante.

4) Estabilización química: Responde a la aplicación de productos químicos, los que generalmente son productos que poseen una “patente.”

3.5.4 Requerimientos para estabilizar un suelo

“Las características mínimas que debe tener un suelo para ser estabilizado son : limite liquido menor de 50%, índice plástico menor de 25%, el material pasante de la malla No 200 menor del 50%, el porcentaje de vacíos compactada la muestra en el cilindro próctor debe ser menor del 35%”[5].

3.6 Estabilizaciones utilizadas en Nicaragua para la capa base y su-base del pavimento

“En nuestro país las estabilizaciones más empleadas para mejorar las características de los suelos a emplearse en la estructura de pavimento son las siguientes:

- **Estabilización con cemento**

Recibe el nombre de suelo-cemento una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento Pórtland y agua, que compactada a una humedad óptima y una densidad máxima produce luego de la hidratación del cemento, un material resistente y durable.

Los materiales a ser tratados deberán cumplir con los siguientes requisitos según las nomas NIC-2000:

Materiales Naturales para Base Estabilizada con Cemento.
Gravas y Arenas Gruesas Arcillosas:

- Tamaño máximo.....2 - 40 mm.
- % que pasa por el tamiz No 200.....máx. 35%

[5] **Fuente: Tomado del libro VIAS DE COMUNICACIÓN, caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos, Ing. Carlos Crespo Villalaz; Segunda Edición-1989; Grupo Noriega Editores.**

- Coeficiente de Uniformidad.....máx. 10
- Índice de Plasticidad.....máx. 25
- Módulo de Plasticidad
• Método de mezcla en el sitio.....máx. 1500
• Método de planta estacio.....máx. 700
- CBR a 95% de AASHTO Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación.....mín. 30%

Después del tratamiento, el material deberá tener una resistencia última a la compresión de, por lo menos, 1800 kN/m^2 (261 lb/plg^2), medida después de 7 días de curado y 7 días de saturación en el sitio, con mezcla compactada al 95% de AASHTO Modificada (AASHTO T 180) y el material tratado deberá tener un índice de plasticidad menor de 6 y un módulo de plasticidad menor de 250”[6].

3.7 Generalidades del estudio de suelos del tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla.

El presente estudio de suelos en análisis fue realizado por la **Empresa de diseño Corea y Asociados S.A.**

El objetivo de este estudio es exponer la metodología aplicada y resultados obtenidos durante el proceso de las investigaciones geotécnicas que se realizaron sobre los 10.3 kilómetros del tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla para determinar las características y propiedades de los suelos existentes; y de los materiales contenidos en cada banco de préstamo, cuyos resultados constituyen la información base para la determinación de los espesores de la estructura de pavimento articulado que se pretende realizar.

[6] **Fuente: NIC-2000, Subdivisión 1000, Sección 1003.**

3.7.1 Trabajos de campo

Para realizar el análisis de los suelos existentes, se realizaron investigaciones directas en el sitio, que consistieron en:

- ✓ Sondeos manuales de línea en toda la longitud del camino.
- ✓ Sondeos en bancos de materiales.

3.7.1.1 Sondeos de línea

Para la investigación de los suelos del tramo en estudio, se estableció realizar sondeos que consistieron en perforaciones manuales a cielo abierto, con dimensiones aproximadas de (25 x 25 x 150) centímetros de profundidad, con una separación entre sondeos de 120 metros, de forma alternada al centro y a ambos lados de la línea central.

El primer sondeo realizado fue a 20 metros en dirección a Puerto Castilla y sucesivamente a cada 120 metros hasta completar el tramo de 10.3 km (Ver anexo III). La siguiente figura sustenta lo anteriormente expuesto.

Figura 7. Inicio de los sondeos de línea

Fuente: MTI. Dirección General de Planificación, DGP. 2011.

De los sondeos se extrajeron 305 muestras de los diferentes estratos de suelos encontrados, las que fueron sometidas a las pruebas de laboratorio a fin de ser analizadas y determinar las características y propiedades físicas de los suelos existentes.

En cada sitio de sondeo, primeramente se hizo una clasificación de forma visual y al tacto, identificando las características visibles de los tipos de suelo encontrados.

Todas las muestras extraídas de los sondeos de línea se agruparon y homogenizaron por tipos de suelos afines representativos de todos los estratos de suelos encontrados en el camino en estudio.

A estas muestras agrupadas, se les practicó los ensayes para determinar su densidad máxima para obtener su capacidad soporte (CBR) a diferentes grados de compactación (90, 95 y 100%), resultado que es la base para el diseño de espesores del pavimento. (Ver anexo IV)

3.7.1.2 Sondeos en bancos de materiales

Para el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla, que comprende 10.3 km de longitud, se detectaron 4 sitios con las características que identifican a los bancos de materiales, que son las posibles fuentes de materiales que pudieran ser utilizadas en la ejecución de los trabajos de movimiento de tierra, para la conformación de la estructura del camino.

La investigación de estas fuentes de materiales, consistió en determinar mediante sondeos, que consistieron en perforaciones manuales a cielo abierto, bajo el mismo procedimiento explicado para los sondeos de línea, con la

diferencia que los sondeos en los bancos fueron de mayor dimensión: (50 x 50) cms con profundidades de hasta de 2 metros.

A estas muestras agrupadas, se les practicó los ensayes para determinar su densidad máxima para obtener su capacidad soporte (CBR) a diferentes grados de compactación (90, 95 y 100%). (Ver anexo V)

3.8 Actividades de laboratorio

Mediante los sondeos efectuados las muestras obtenidas se sometieron a los siguientes ensayes de laboratorios conforme a las Normas ASTM.

Tabla 16. Tipos de ensayes de laboratorio

Nº	Tipo de Ensaye	Designación Estándar de Ejecución
1	Granulometría	ASTM D-422
2	Límites de Atterberg	ASTM D-4318
3	Humedad Natural	ASTM D-2216
4	Clasificación H.R.B.	ASTM D-3282
5	CBR.	ASTM D-1883

Fuente: MTI. Dirección General de Planificación, DGP. 2011.

3.8.1 Resultados de los ensayes de laboratorio

En este apartado se describen los resultados que se obtuvieron de las pruebas practicadas en el laboratorio a los tipos de suelos encontrados en el camino del proyecto, siendo los predominantes los siguientes:

- ✓ A – 2- 6(0) y A-2-4(0) En las capas superficiales
- ✓ A –6 En las capas intermedias
- ✓ A –7 – 5 En las capas inferiores

3.8.1.1 Suelos de la línea

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio (Ver anexo III), indican que los suelos existentes en este camino, están conformados por una capa superficial de material de relleno que protege la sub-rasante. Este material se encuentra en casi toda la longitud de la vía, en espesores que varían desde los 8 cm a los 40 cm., siendo pocos los sectores donde se ha ido desgastando el material debido al paso del tránsito y naturalmente por las condiciones climáticas que se imponen, principalmente la lluvia.

El material de esta capa superficial es se clasifica como A-2-6(0), compuesto por partículas de grava, arena y un poco de arcilla de color gris – claro. Su granulometría señala en general que el 43% pasa el tamíz de 3/8”, 33% la malla Nº 4 y 16% pasa por la malla 200. Su índice de plasticidad varía entre 11 y 15% y su valor soporte (CBR) alcanza 17 % y 28% al 90 y 95% de su densidad respectivamente.

En las capas intermedias y en variados espesores, se encontraron suelos naturales de diferentes tipos como el A-2-4(0), A-4, A-5 y A-6, estos últimos en

diversos índices de grupo. Estos suelos se encuentran en toda la longitud del camino y en algunos tramos también se encontraron suelos arcillosos, inestables como los de tipo A-7-5 y A-7-6 en diferentes índices de grupo.

Los suelos A-2-4(0) tienen plasticidad baja entre 8 y 10%; sus partículas pasan 50% por el tamiz de 3/8” y por la malla 200 pasa el 19%. Su valor soporte es de 21 y 34% al 90 y 95% de su densidad respectivamente.

El tipo de suelo A-4 es una arena limosa, con baja plasticidad que oscila entre los valores de 5 y 8%. Su CBR, o valor soporte tiene porcentajes de 15 y 20% al 90 y 95% próctor respectivamente.

En los estratos inferiores de los sondeos, se encontraron suelos arcillosos muy inestables, tales son los de tipo A-7-5 en índices de grupo que van desde (5) hasta (18) y el tipo A-7-6 con índices de grupo de (11) a (18); son de alta plasticidad de 22% a más de 28%, y de sus partículas entre el 60 y 90% pasan la malla 200.

El camino tiene pocos tramos homogéneos en su composición, siendo uno de ellos el que se encuentra entre los estacionamientos 6+380 al 7+100, en donde el tipo de suelo predominante es el A-2-6(0) en la capa superficial y debajo de ella, el suelo tipo A-4(0), cuyo espesor del estrato alcanza 100 o más centímetros. Este último es un material limoso con arena de muy baja plasticidad.

Para determinar la capacidad soporte de la vía en sus condiciones actuales, se homogenizaron las muestras extraídas en 8 grupos de suelos afines y representativos de todos los tipos de suelos encontrados en los sondeos.

Estas muestras fueron sometidos a los ensayes de CBR, cuyos resultados son la base para la determinación de los espesores de pavimento.

3.8.1.2 Características de los suelos

En la tabla que se muestra a continuación se presentan las características y propiedades de los tipos de suelos que actualmente conforman el subsuelo del camino en estudio, determinados a través de los ensayes de laboratorio practicados a las muestras extraídas de los sondeos realizados en el camino del proyecto.

Para la determinación de la consistencia de los suelos, mediante ensaye CBR, se homogenizaron y unificaron las muestras similares contenidas en toda la longitud del camino, a los diferentes tipos de suelos encontrados. (Ver anexo IV).

Tabla 17. Resultados obtenidos de los suelos de línea

Grupo	Tipo de Suelo	Pasa Malla (%)			LL	IP	CBR (%)	
		Nº 3/8"	Nº 4	Nº 200	%	%	90	95
1	A -1- a(0)	46	34	14	27	5	32	45
2	A -2 - 4(0)	50	40	19	28	8	21	34
3	A - 2 - 6(0)	43	33	16	34	14	17	28
4	A – 4(0)	-	100	46	27	6	15	20
5	A – 5(9)	-	100	83	48	10	9	14
6	A – 6(10)	-	100	66	40	16	3	6
7	A -7 - 5(18)	-	100	75	67	25	1	2
8	A -7 - 5(18)	-	100	85	53	28	0	2

Fuente: MTI. Dirección General de Planificación, DGP. 2011.

3.8.1.3 Bancos de materiales

A fin de contar con las fuentes de materiales necesarias para la conformación de la estructura de pavimento, fundamentalmente, se hizo un reconocimiento de la

zona a fin de detectar las potenciales fuentes o bancos de materiales existentes para su utilización.

Los bancos fueron analizados, mediante sondeos manuales realizados, extrayéndose las muestras necesarias para ser sometidas a las pruebas de laboratorio (Ver anexo V y VI).

En esta carretera se estudiaron 4 bancos de materiales. Dos de ellos ubicados al final del tramo, estaciones 10+080 y 10+270 y los dos restantes en las estaciones 5+050 y 7+080 respectivamente. Los materiales de estos bancos se clasifican como A-2-4, A-2-6 y A-2-7. El volumen total explotable se estima en aproximadamente 190,000 metros cúbicos (Ver anexo VII).
Los índices de plasticidad de los materiales de todos estos bancos son superiores a los límites recomendados para capas de base y sub-base (IP≤6); siendo estos valores de IP entre 10 y 18 (Ver anexo V).

En cuanto a su granulometría, dos bancos (No. 2 y 3-A) presentan materiales muy gruesos y deben ser tratados para reducir su tamaño y aprovechar su explotación. En el caso particular del banco No. 2, aunque el 87% del material pasa la malla de 37.5 mm (1½”), únicamente el 9% del material pasa la malla de 19 mm (3/4”). En el caso del banco No. 3-A, solamente el 21% del material pasa la malla # 4 (4.75 mm).

Los ensayos de capacidad soporte (CBR) indican que todos los bancos poseen materiales con CBR mayores al 20% al 95% de compactación y mayores al 30% al 100% de compactación. Sin embargo, ninguno de los bancos ensayados presentó materiales con CBR por encima de 40% al 95% de compactación. De igual manera, ninguno de los bancos presentó materiales con CBR por encima de 60% al 100% de compactación

La siguiente tabla muestra un resumen de las propiedades y características de los materiales de los bancos investigados.

Tabla 18. Resultados obtenidos de los bancos de materiales

Banco Nº	Clasificación Tipo de Suelo	Granulometría (% que pasa tamiz)				IP (%)	CBR (%)		
		3/4"	3/8"	Nº 4	Nº200		90	95	100
1	A-2-4(0)	80	68	52	19	7	21	36	54
2	A-2-7(0)	9	6	4	2	18	14	23	33
3	A-2-6(0)	37	54	41	10	13	17	29	49
3-A	A-2-7(0)	42	32	21	3	14	17	34	50

Fuente: MTI. Dirección General de Planificación, DGP. 2011.

En relación al valor soporte CBR, los bancos Nº 1 y 3-A tienen valores aceptables a los rangos permitidos para construcción de sub-base.

3.9 Resultados obtenidos para el uso en la estructura de pavimento

La carencia de fuentes de materiales que contengan las cualidades y propiedades mecánicas aceptables que les permita ser utilizadas en la conformación de una estructura de pavimento, constituyen una limitante para la determinación del abastecimiento de materiales que se requerirá en el proyecto.

Pese a que se detectaron 4 bancos para ser posiblemente utilizados, no resultó ser suficiente dado que las condiciones de los materiales contenidos en ellos no son totalmente satisfactorias en su estado natural para el uso que se requiere y otros no pueden ser utilizados ya que están destinados a otros fines.

Según los resultados obtenidos de los ensayes de laboratorios realizados a los distintos materiales (Ver anexos V y VI) y debido a limitantes de carácter

económico, se determinó que los materiales a utilizar según el requerimiento del diseño de pavimento para formar las distintas capas de pavimento serán los siguientes:

- **Para la base:**

Dado que los materiales de los distintos bancos de materiales no cumplen con las especificaciones técnicas requeridas por la NIC-2000 para ser utilizado como material de base de pavimento (Ver tabla 18, pág. 71), se hará uso de la estabilización del suelo con cemento para incrementar su resistencia.

La experiencia demuestra que en los proyectos viales de nuestro país, la estabilización de los suelos utilizando cemento ha dado buenos resultados y tomando en cuenta que las propiedades de los suelos existentes del camino, así como de los materiales contenidos en los bancos de materiales no reúnen totalmente los requisitos para ser utilizados en la construcción de la estructura del pavimento, se realizaron ensayes con muestras de material de banco combinándolas con una pequeña proporción de cemento, buscando mejores resultados y obtener los índices de resistencia requeridos para la conformación de una capa de base estabilizada con cemento.

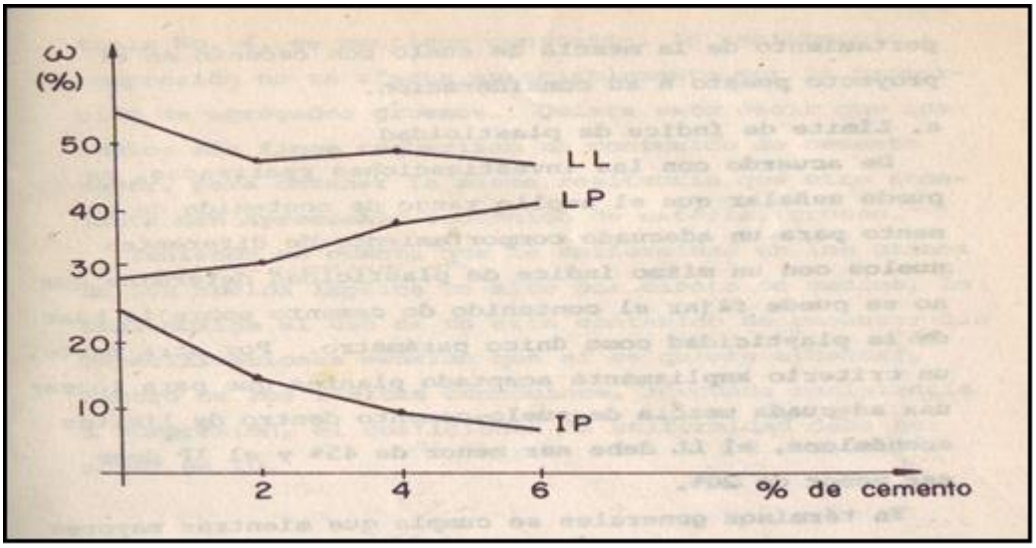
Para esta capa del pavimento se empleará material del **banco Nro. 1** el cual deberá estabilizarse con cemento, debido a que este material posee un CBR de **54 al 100 %** de la densidad próctor estándar y de **36 al 95 %** de la densidad próctor estándar, que según las especificaciones técnicas requeridas por la NIC-2000, se considera que el material es no adecuado, ya que el CBR mínimo que debe poseer el material usado en esta capa debe ser de **80 al 95%** de la densidad próctor estándar y por lo tanto se debe mejorar, incrementando su resistencia, estabilizándolo con cemento.

Las mezclas de suelo cemento compactadas, pueden ser utilizadas para bases y sub-bases de pavimento. Básicamente consiste en la mezcla de suelo pulverizado con cemento y agua adecuadamente compactada.

"Para que una mezcla sea considerada suelo cemento, debe tener resistencia y durabilidad adecuada. Esas condiciones son logradas generalmente cuando el % de cemento en peso añadido es superior al **4 %.**

Mezclas con valores inferiores a este % son utilizadas tan solo para mejorar las condiciones del suelo sin pretender alcanzar altas resistencias y durabilidad y no son consideradas suelo cemento, si no, suelo mejorado con cemento, estos casos son mayormente utilizados cuando se desea llevar la plasticidad del suelo a valores compatibles con alguna exigencia técnica[7]". (Ver figura 8, Pág. 64).

Figura 8. Variación de los límites de consistencia con la adición de cemento.



Fuente: Beira E. Mecánica de Suelos, MVT, UNI, Nicaragua, 2010

[7] **Fuente: Beira E. Mecánica de Suelos, MVT, UNI, Nicaragua, 2010**

Cabe mencionar que este material al ser estabilizado deberá cumplir con los requerimientos de las especificaciones técnicas del NIC-2000 (Ver páginas 63 y 64), cabe señalar que la resistencia mínima requerida según el NIC-2000 es de **261 psi**, en el presente diseño se asumirá una resistencia a la compresión no confinada de la mezcla de suelo cemento de **300 psi**, razón por la cual el % del cemento deberá de ser el necesario según lo determine el diseño a realizar.

No obstante la cantidad de cemento se determinará mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Bolsas de cemento} = \frac{\text{Peso volumétrico seco suelo} * \text{proporción de cemento}}{\text{Peso del cemento}}$$ **Ecuación 8**

- **Para la sub base:**

Se empleará material en su forma natural del **banco Nro. 3-A**, cuyo tipo de suelo es A-2-7(0). Cabe señalar que este material cumple con los requerimientos de la NIC-2000, la cual requiere de un **CBR mínimo de 40** al 95% de la densidad próctor estándar, por lo que a este material al practicarle las prueba de CBR cumple con este requerimiento pero al 100% de la densidad próctor estándar con un valor de 50 (Ver tabla 18, pág. 71).

Cabe mencionar que este material cumple en gran parte con los requerimientos de granulometría requeridos por el NIC-2000. Como se había enfatizado anteriormente a falta de encarecer los costos de la obra se usará material de este banco para conformar la sub-base en su forma natural.

- **Para la sub-rasante:**

La estructura de pavimento se construirá sobre la sub-rasante existente del camino, por lo que, según los resultados obtenidos de los ensayes de laboratorio

elaborado del camino indican que hay suelos presentes en la sub-rasante actual del camino que no son aptos para ser usados para soportar la estructura del pavimento ya que no cumplen con los requerimientos técnicos requeridos. (Ver tabla 15, pág. 60).

No obstante, debido a la presencia de arcillas de alta plasticidad y pobre capacidad soporte (Suelos A-7-5 y A-7-6, con alto plasticidad), es recomendable explorar en el sitio durante la construcción en aquellos sitios de bajo valor CBR, para determinar la remoción de materiales indeseables y su reemplazo con materiales de relleno.

Por lo que, se deberá sustituir los primeros 30 cms de espesor del material de la sub-rasante actual ya que son materiales de mala calidad no aptos para soportar la estructura de pavimento y sustituirlos por material en su forma natural del **banco No 3** que es un tipo de suelo A-2-6(0) , el cual deberá ser colocado en las siguientes estaciones: 0+020-3+260, predominando actualmente el suelo tipo A-7-5(14); 5+180-6+500; predominando actualmente el suelo tipo A-7-6(16) (Ver tabla 17, pág.70).

Cabe señalar que según ensayes practicados al material del banco No 3, resulta ser un suelo de clasificación A-2-6(0), que posee un CBR de 49 al 100% de la densidad próctor estándar (Ver tabla 18, pág. 71) y según la tabla 15 mostrada en este capítulo, este valor califica a la sub-rasante con este material como muy buena, lo cual nos indica que el material es el adecuado hacer usado en la sub-rasante para estos puntos del camino.

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

4.1 Conceptos y generalidades del pavimento

4.1.1 Pavimento

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para la cual fue diseñada la estructura del pavimento.

4.1.2 Características que debe reunir un pavimento

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe cumplir con los siguientes requerimientos:

a) Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.

b) Ser resistente ante las acciones del intemperismo.

c) Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.

d) Debe ser durable.

e) Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.

f) El ruido de rodadura en el interior del vehículo que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.

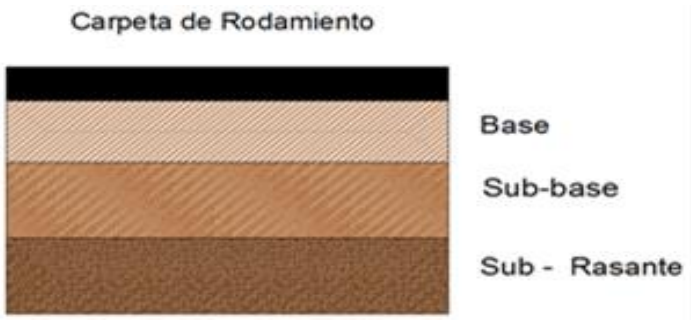
g) Debe ser económico.

h) Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

4.1.3 Estructura de un pavimento

En su forma más completa, el pavimento está formado por tres capas de materiales de mejor calidad que el que forma la terracería, y son: sub-base, base y carpeta de rodamiento a como se señala en la siguiente figura.

Figura 9. Capas del pavimento



Fuente: Elaboración Propia

4.1.3.1 La sub-base:

Se construye directamente sobre la terracería y está constituida por un material de mejor calidad que el de aquella, obtenido en la generalidad de los casos de depósitos cercanos a la obra. La sub-base tiene como función:

a) Reducir el costo del pavimento, disminuyendo el espesor de la base que se construye generalmente con materiales de mayor costo por tener que cumplir con especificaciones rígidas.

b) Proteger la base aislándola de la terracería, ya que cuando ésta está formada por material fino y plástico (Generalmente es el caso) y cuando la base es de textura abierta, de no existir el aislamiento dado por el material de sub-base el material de terracería se introducirá en la base, pudiendo provocar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad, a la vez que disminuiría la resistencia estructural de la base.

c) El aislamiento producido por la sub-base no sólo consiste en evitar que los finos plásticos de la terracería se introduzcan en la base de textura abierta, sino también en evitar los buzamientos y revoltura de ambos materiales cuando se usan gravas de río o piedras trituradas en la base. El material escogido para la sub-base debe producir una capa que confine al suelo plástico y que pueda trabajar, hasta cierto grado, a la flexión, lo cual se consigue con materiales más o menos finos y cohesivos, o de alta cimentación.

d) En caminos de construcción con frecuencia se construye la sub-base, que propiamente es un revestimiento provisional para tener una superficie de rodamiento que facilite, en cualquier época del año, el paso del equipo de construcción y de vehículos que transiten por el camino antes de quedar pavimentado. Si el revestimiento provisional, una vez que a estado en servicio, reúne las condiciones de calidad para sub-base, este espesor debe descontarse del espesor calculado para el pavimento.

4.1.3.2 La base:

Se construye directamente sobre la sub-base o la terracería y debe estar formada por materiales de mejor calidad que el de la sub-base. Por ser la base la parte estructural más importante de un pavimento convencional, sus materiales constitutivos deben ser de muy alta calidad para prevenir fallas a causa de la concentración de elevados esfuerzos inmediatamente debajo de la capa de rodadura. Los principales requisitos que debe satisfacer la capa de base son los siguientes:

a) Tener en todo tiempo la suficiente resistencia estructural para soportar las presiones que le son transmitidas por los vehículos estacionados o en movimiento.

b) Tener el espesor necesario para que dichas presiones no excedan la resistencia estructural de ésta, al transmitir a la sub-base o sub-rasante, las cargas y/o presiones en mención.

c) No presentar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad.

d) Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la sub-base respecto a la base.

4.1.3.3 La carpeta de rodamiento:

Puede estar constituida por un material pétreo al cual se le adiciona un producto asfáltico que tiene por objeto servir como aglutinante, por concreto hidráulico (losas), o bien, por un conjunto de bloques intertrabados de concreto que cumplen con ciertos requisito de resistencia. Las funciones principales que debe satisfacer la carpeta de rodamiento son las siguientes:

a) Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo un tránsito fácil y cómodo de los vehículos.

b) Resistir la acción destructora de los vehículos y de los agentes climatéricos.

4.1.4 Clasificación de los pavimentos

En nuestro medio los pavimentos se pueden clasificar en: pavimentos flexibles, pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles pavimentos rígidos y pavimentos articulados.

4.1.4.1 Pavimentos rígidos

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

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

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

4.1.4.2 Pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles

Aunque este tipo de pavimento guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser asfalto: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerán notablemente los costos de construcción.

4.1.4.3 Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante

puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

4.1.4.4 Pavimentos articulados

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme elaborados entre sí, esta puede ir ubicada sobre una capa delgada de arena, la cual a su vez, se apoya sobre una o dos capas del pavimento (Base o sub base), o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta y de las magnitudes frecuencia de las cargas que circulan por dicho pavimento.

4. 2 MÉTODO "AMERICAN ASSOCIATION OF STATES HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIAL" (AASHTO – 1993)

Desde la publicación de la primera Guía **AASHTO en el año 1961**, se han efectuado modificaciones en la ecuación de diseño con la finalidad de mejorar su uso y su confiabilidad.

El método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles y rígidos, fue publicado en 1993, es el usado actualmente para el diseño de pavimentos flexibles, este método incluye importantes modificaciones dirigidas a mejorar su confiabilidad.

En este método se introduce el concepto de falla funcional de un pavimento, en oposición a los métodos tradicionales a la fecha, los cuales se fundamentaban exclusivamente en los conceptos de falla estructural.

4.2.1 Variables de diseño.

Para el diseño de la estructura de pavimento flexible del tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla (10.3 Km), se determinarán todas las variables involucradas aplicando los criterios establecidos en el marco teórico de este capítulo, requerido por la Guía AASHTO 1993, adecuándolos a las condiciones Nicaragüenses.

A continuación se detalla claramente la selección de las variables requeridas en la Guía AASHTO 1993, para el diseño de la estructura de pavimento:

a) Restricciones de tiempo: Incluye la escogencia de los datos de entrada para los períodos de análisis que afectarán o restringirán el diseño del pavimento. Es decir, permite seleccionar diversas estrategias de diseño, desde estructuras construidas para que dure todo el período de análisis hasta construcciones por etapas.

- **Período de diseño:** Es el tiempo que dura una estructura inicial de pavimento antes de que requiera rehabilitación. También se, refiere al lapso entre dos rehabilitaciones sucesivas.

- **Período de análisis:** Es el tiempo que cualquier estrategia de diseño debe cubrir.

La siguiente tabla muestra la clasificación funcional de la carretera en función del TPDA.

Tabla 19. Clasificación funcional de las carreteras

DESCRIPCION	AUTOPISTAS REGIONALES	TRONCALES		COLECTORAS	
		Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales
TPDA	>20,000	20,000- 10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500

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

Dado que el TPDA 2013 de la carretera El Congo – Puerto Castilla resultó ser **de 85 (vpd)** y según lo normado por la **tabla 19 esta vía se clasifica como colectora rural.**

Los períodos de diseño recomendados por la AASHTO se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 20. Períodos de diseño en función del tipo de carretera

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño (Años)
Urbana de tránsito elevado.	30 – 50
Interurbana de tránsito elevado	20 – 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 – 25
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava	10 – 20

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

Para este proyecto se ha considerado un **período de diseño de 20 años**, en función del tipo de carretera.

b) El tránsito: Consiste en el número de ejes equivalentes de 18 kíps (W_{18}) en el carril de diseño y se determina mediante la siguiente ecuación:

W18 = T diseño * Factor equivalente de carga **Ecuación 9**

Donde que el tránsito de diseño (T diseño) se define como el número de viajes que realiza cada tipo de vehículo en el carril de diseño.

Es de hacer notar que el tránsito de diseño se obtiene mediante la siguiente ecuación, realizando el cálculo para cada tipo de vehículo:

TD = To * Fd * Fca * FC **Ecuación 10**

Donde:

TD = Es el tránsito de diseño.
To = Es el tránsito base (TPDA 2013) con que se estimará el tránsito de diseño. Para este estudio resultó ser de 85 vpd (Ver tabla 12, pág. 35).

Factor direccional (Fd) = Este factor representa la forma del comportamiento del tránsito y el sentido en que este se distribuye por los carriles que la conforman, su valor generalmente es 0.5.

Cabe señalar que en una carretera de dos sentidos de flujo (Carreteras rurales), la distribución por sentido tiene un impacto importante en la operación, la acción de rebase se realiza invadiendo el carril contrario, siendo las oportunidades de rebase limitadas por el tránsito del carril contrario.

El factor direccional que consideraremos es 0.5 ya que asumiremos que la mitad de los vehículos van en una dirección y la otra parte en dirección contraria.

Factor de carril (Fca) = Se le denomina factor de carril a la forma de distribución de tránsito en un solo sentido de circulación, dicho factor esta en dependencia de la cantidad de carriles que constará la carretera que se pretenda diseñar. Se debe de tomar en cuenta que en las carreteras colectoras rurales (Ver tabla 21, pág. 81) los volúmenes de tránsito son muy bajos y generalmente este tipo de carreteras se diseñan para dos carriles.

A continuación se presenta la tabla donde se muestran los factores de distribución según el número de carriles.

Tabla 21.Factores de tránsito en el carril de diseño recomendados por AASHTO

Nº de carriles por sentido	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 80 KN en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

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

Por tanto **el factor de carril que se utilizara es 100**.

Factor de crecimiento (FC) = El factor de crecimiento permite obtener el tránsito total esperado, durante el período de análisis y se determina estimando una tasa de crecimiento “i” al tránsito promedio en toda la vida útil del proyecto.

La siguiente ecuación permite calcular el factor de crecimiento.

$$Fc = \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$ **Ecuación 11**

Donde:

Fc = Factor de Crecimiento

i = Tasa de crecimiento, para este estudio será de **3.37 %** (Tasa estimada, obtenida del análisis del estudio de tránsito)

n = Es el periodo de años hasta donde se pretende pronosticar el tránsito que hará uso la vía a construirse. Como el TPDA en el tramo de carretera en estudio resultó ser de **85 vpd** y en conformidad a lo establecido en la tabla 19, se clasificará a la carretera en colectora rural y conforme a lo establecido a la tabla **20, el período de análisis = período de diseño será de 20 años.**

Sustituyendo valores obtenemos un FC:

FC = 27.90

b.1 Factor de equivalencia de carga (LEF)

Cabe señalar que el factor equivalente de carga (LEF), se define como el valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un tipo de eje de 80 kN y la producida por un eje estándar en el mismo eje.

Es decir que 100,000 repeticiones de carga de un eje simple de 18 Kips causan una pérdida de serviciabilidad de 2.0 y 14,347 repeticiones de un eje simple de 30 Kips causan la misma pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) de 2.0 en la misma estructura de pavimento en un período de tiempo menor, entonces se puede definir el factor equivalente de carga para eje simple de 30 Kips con la ecuación siguiente.

$$FEC = \frac{\text{Nº ESAL de 18 Kips que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{Nº ejes de } X \text{ Kips producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$ **Ecuación 12**

Por lo que FEC para eje simple de 30Kips:

100,000/14,347 = **6.97**

Es decir que un eje de 30 Kips produce 6.97 veces más daño que un eje simple de 18 Kips.

Como cada tipo de pavimento responde de manera diferente a una carga, los LEFs también conocidos como factores ESAL´s, cambian en función del tipo de pavimento. En los pavimentos flexibles cambia según el SN (Structural Number, número estructural), además que también cambian según el valor del índice de serviciabilidad asumido para el diseño. Cabe señalar que este factor convierte

los diferentes tipos de cargas por eje vehicular de magnitud variable a ejes equivalentes o eje sencillo de 18,000 libras.

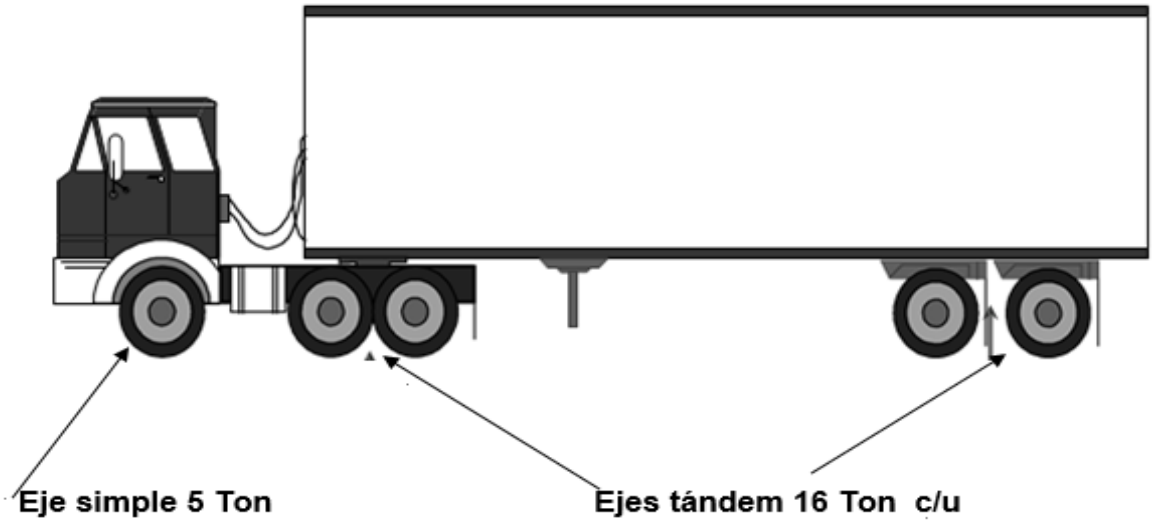
Entonces, para calcular los W18 o ESAL´s de diseño que se aplicarán a una estructura de pavimento flexible es necesario asumir en primera instancia, el número estructural (SN) que se considere adecuado a las cargas (Ver anexo VIII), también se tendrá que asumir el índice de serviciabilidad final aceptable, de acuerdo con los programas de mantenimiento que se considere necesario según el tipo de carretera.

Los diferentes LEFs para distintos tipos de cargas por eje, para pavimentos flexibles con distintos índices de serviciabilidad final se determinan mediante tablas brindadas por la Guía AASHTO 1993 (Ver anexo IX).

Para el presente estudio se asumió un número estructural (SN) de 5 para el pavimento flexible y valores de serviciabilidad Final (Pt) de 2.

A continuación como ejemplo de cálculo ilustrativo, se procederá a determinar el valor de los Factores de Equivalencia de Carga (LEF) flexible para cada eje del vehículo de carga T3S2:

Figura 10. Vehículo T3 S2 con su peso máximo autorizado



Fuente: Elaboración Propia

Para poder efectuar el cálculo es necesario expresar las cargas en Kips, utilizando la conversión: 1 Kip = 0.45359237 Ton.

Para el Eje simple 1:

Tabla 22. Interpolación para cálculo de LEF para eje simple

Pt = 2.0	SN = 5
CARGA (KIP)	LEF
10	0.079
11	X
12	0.174

Fuente: Elaboración propia.

Por interpolación, se procede a determinar el valor para **P = 11 kips,** resultando un **LEF = 0.1265 para el eje simple 1.**

Para el Eje tándem 2 = Eje tándem 3:

Tabla 23. Interpolación para cálculo de LEF para eje simple

Pt = 2.0	SN = 5
CARGA (KIP)	LEF
34	1.08
35.2	X
36	1.38

Fuente: Elaboración propia.

Por interpolación, se procede a determinar el valor para **P = 35.20 kips,** resultando un **LEF = 1.2600 para el eje Tándem 2, valor que resulta igual para el eje Tándem 3.**

b.2 Condiciones de carga de los vehículos

Los diferentes vehículos que circularán sobre el nuevo pavimento se consideran que lo harán de acuerdo al diagrama de cargas permisibles, por tipo de vehículo autorizado en Nicaragua (Ver anexo VIII). Cabe mencionar que dicho diagrama no refleja las cargas permisibles para vehículos livianos, por tanto éstas se estimaron.

Los resultados obtenidos de los ESAL's de diseño para cada tipo de vehículo se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 24. Ejes equivalentes de 18 kíps (W_{18})

TIPO DE VEHICULO	PESO EJE	TPDA 2013	D	FC	Fd	Fca	TD	Factor LEF	W18
Autos	2,200	6	365	27.90	0.5	1	30,551	0.0004	12
	2,200							0.0004	12
Camioneta	2,200	18	365	27.90	0.5	1	91,652	0.0004	37
	4,400							0.0034	312
Mn Bus 15-30 pas.	8,800	1	365	27.90	0.5	1	5,092	0.0502	256
	17,600							0.9206	4,687
Bus	11,000	14	365	27.90	0.5	1	71,285	0.1265	9,017
	22,000							2.3500	167,519
C2 5 + Ton	11,000	17	365	27.90	0.5	1	86,560	0.1265	10,950
	22,000							2.3500	203,415
C3	11,000	10	365	27.90	0.5	1	50,918	0.1265	6,441
	36,300							1.4325	72,939
T3-S2 >= 5e	11,000	3	365	27.90	0.5	1	15,275	0.1265	1,932
	35,200							1.2600	19,247
	35,200							1.2600	19,247
TOTAL W18									**516,023**

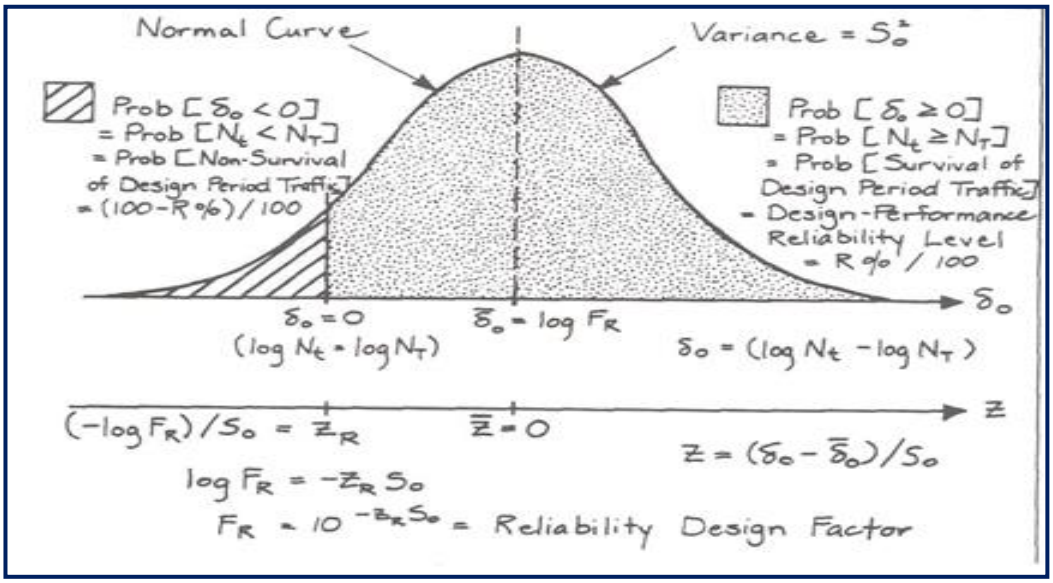
Fuente: Elaboración propia.

En base a lo obtenido en la tabla 12 el número equivalente de pasadas de un eje simple patrón de rueda doble de 18 kips (80 kN u 8.2 Ton.) que se aplicarán en el carril de diseño del tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla será de **516,023 ESAL´s de diseño.**

c) Confiabilidad (R): La "Confiabilidad del Diseño (R)" se refiere al grado de certidumbre (seguridad) de que una determinada alternativa de diseño alcance a durar, en la realidad, el tiempo establecido en el período seleccionado. La confiabilidad también puede ser definida como la probabilidad de que el número de repeticiones de cargas (Nt) que un pavimento pueda soportar para alcanzar un determinado nivel de servicapacidad de servicio, no sea excedida por el número de cargas que realmente estén siendo aplicadas (WT) sobre ese pavimento".

La siguiente Figura presenta en forma gráfica el concepto de la probabilidad de la distribución normal del error en la estimación del tránsito y comportamiento de la estructura, y es la base para las definiciones de la confiabilidad que caracterizan este método de diseño

Figura 11. Criterio de confiabilidad estadística



Fuente: Corredor M. Gustavo. Diseño de Pavimentos I, Managua, Nicaragua, MVT, 2010.

A medida que crece el volumen de tránsito aumenta el riesgo de no cumplir con dichas expectativas. Esto se puede evitar escogiendo mayores niveles de confiabilidad.

“Para efectos de diseño debe quedar claro que a medida que el valor de la confiabilidad se hace mayor serán necesario unos mayores espesores de pavimento”[8].

[8] **Fuente: Corredor M. Gustavo. Diseño de Pavimentos I, Managua, Nicaragua, MVT, 2010.**

La siguiente tabla presenta niveles de confiabilidad recomendables, para diferentes carreteras.

Tabla 25. Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras

Clasificación	Nivel de confiabilidad Recomendado (%)	
	Urbana	Rural
Autopistas Interestatales y otras	85 - 99.99	80 - 99.99
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras de tránsito	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993

En base a lo establecido en la tabla 25 **se seleccionó un nivel de confiabilidad del 85%,** de acuerdo a la clasificación funcional de la carretera.

d) Desviación Estándar Total (So): Los valores de So desarrollados en el "AASHTO ROAD TEST" no incluyen error por el tránsito. Sin embargo, el error en la predicción del comportamiento desarrollado en distintos tramos de ensayo

fue de 0.35 para los pavimentos flexibles, lo cual corresponde a una desviación estándar total de **0.45.**

Para pavimentos flexibles

$0.40 < So < 0.50$

Para pavimentos rígidos

$0.30 < So < 0.40$

De conformidad a los parámetros recomendados de la Guía AASHTO 1993, se **seleccionó una desviación estándar de 0.45.**

e) Criterios de comportamiento

Serviciabilidad (PSI): Se define como la idoneidad que tiene el pavimento para servir a la clase del tránsito que lo va a utilizar. Se define también como la pérdida de nivel de servicio durante el periodo de diseño. Se mide a través del índice de servicio presente (Δ PSI), el cual varía:

Para carretera imposible = 0

Para carretera perfecta = 5

La ecuación del índice de servicio presente (Δ PSI) es:

$\Delta PSI = Po - Pt$ **Ecuación 13**

Donde:

Pt = Serviciabilidad final o nivel de servicio final. Es el índice más bajo que puede tolerarse antes de que sea necesario un refuerzo o una rehabilitación.
Po = Serviciabilidad inicial o nivel de servicio inicial.

La AASHTO sugiere un valor de **Pt** para:

Autopistas y Vías Principales = 2.5
Demás Carreteras = 2.0

Para el cálculo de la serviciabilidad inicial (Po) la AASHTO obtuvo un valor de: **4.2 para los pavimentos flexibles.**

En base a las recomendaciones brindadas por la Guía AASHTO 93, se seleccionaron los siguientes índices de serviciabilidad:

Serviciabilidad final (Pt) = **2**
Serviciabilidad inicial (Po) = **4.2**

Sustituyendo estos valores en la ecuación obtenemos:

Δ PSI = 2.20

f) Drenaje

A pesar de la importancia que se concede al drenaje en el diseño de carreteras los métodos corrientes de dimensionamiento de pavimentos incluyen con frecuencia capas de base de baja permeabilidad y consecuentemente de difícil drenaje. El método de la AASHTO deja en libertad al Ingeniero de diseño para

identificar cual nivel de drenaje se logra bajo una serie específica de condiciones de drenaje.

La siguiente tabla muestra las definiciones generales correspondientes, para diferentes niveles de drenaje de la estructura del pavimento.

Tabla 26. Tipos de drenaje

Calidad del drenaje	Termino para remoción del agua
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no drena

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993

El tratamiento para el nivel esperado de drenaje de un pavimento flexible se logra a través de empleo de coeficientes de capas modificadas, es decir, se podría usar un coeficiente de capa efectivo más alto para mejorar las condiciones de drenaje.

La siguiente tabla muestra los valores que recomienda la Guía AASHTO 1993 para mi de acuerdo con la calidad del drenaje y el tiempo en el año durante el cual se espera que el pavimento esté normalmente expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación.

Tabla 27. Valores de mi recomendados para modificar los coeficientes de capa de base y sub-base granulares.

Calidad del drenaje	% De tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación			
	mayor a 1%	1-5 %	5-25%	menor a 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
Buena	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Aceptable	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.95	0.80-0.60	0.6
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.4

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993

Por lo tanto se asume un coeficiente de drenaje (mi) igual a 1.00, ya que en el laboratorio se trabaja con suelo en condición saturada o condición más adversa, para obtener el CBR.

4.2.2 Determinación del CBR de diseño

Para determinar el CBR de diseño, es necesario realizar varias pruebas, teniendo en cuenta la longitud del proyecto. Todas estas pruebas son de esperar, que den resultados diferentes a causa de las variaciones naturales de los suelos y a las imprecisiones que pueden cometerse al efectuar los ensayos.

El valor a tomar de los materiales existentes, debe ser representativo en el tramo de camino a considerar en el diseño de pavimento, por lo que existen varios criterios para seleccionar el CBR de diseño, siendo el más utilizado el del Instituto del Asfalto, quien recomienda tomar un valor tal, que el 60%, el 75% o el 87.5% de los valores individuales sea mayor ó igual que él, de acuerdo con el tránsito que se espere que circule sobre el pavimento, tal y como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 28. Límites para la selección del CBR de diseño

Numero de Ejes de 8.2 Toneladas en el Carril de Diseño	Percentil a Seleccionar para hallar el CBR de Diseño
$< 10^4$	60
10^4 a 10^6	75
$> 10^6$	87.5

Fuente: Instituto de Asfalto (MS-1) 1991.

La metodología que se empleó para la selección del CBR de diseño a utilizar consistió en la siguiente, utilizando el procedimiento indicado por el método del Instituto del Asfalto:

1) Se ordenaron los valores de CBR obtenidos de menor a mayor y para cada valor numérico de CBR se determinó el número y el porcentaje de valores de CBR que son iguales ó mayores que él a como se indica en la siguiente tabla.

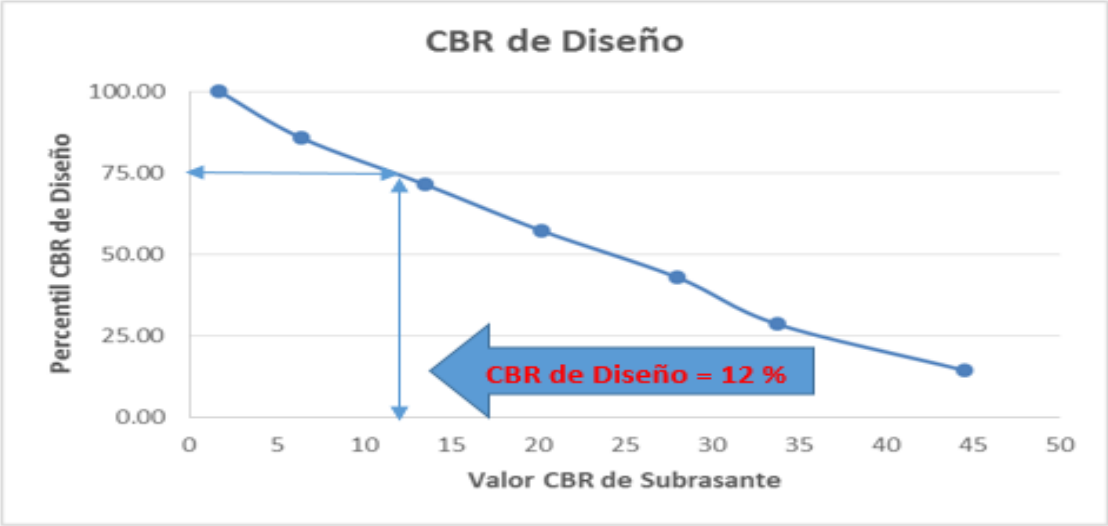
Tabla 29. Ordenamiento de valores y porcentajes de CBR.

RESULTADO DE ENSAYES		ANALISIS	
Nro.	CBR AL 95%	NUMERO DE VALORES DE CBR IGUALES O MAYORES	PORCENTAJE DE VALORES DE CBR MAYORES O IGUALES (%)
1	1.68	7	100
2	6.41	6	85.71
3	13.51	5	71.43
4	20.26	4	57.14
5	28.03	3	42.86
6	33.77	2	28.57
7	44.58	1	14.29

Fuente: Elaboración propia.

2) Se dibujaron los resultados en un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes de valores mayores o iguales anteriormente calculados y con la curva que se obtuvo, se determinó el CBR de diseño para el percentil elegido, de acuerdo al número de ejes equivalentes en el carril de diseño a como se presenta en la siguiente figura.

Figura 12. CBR de diseño de la carretera El Congo – Puerto Castilla



Fuente: Elaboración propia.

En este caso los ESAL´s de diseño de la carretera El Congo – Puerto Castilla resultaron ser **W_{18} = 516,023,** correspondiéndole según el rango descrito en la tabla 2 un percentil de diseño del **75 %,** obteniendo un CBR de diseño de **12%, a como se señala en la figura 13**.

4.2.3 Propiedades de los materiales

“Módulo resiliente de la sub-rasante: El "Módulo Resiliente (MR)", es el resultado de un ensayo dinámico, y se define como la relación entre el esfuerzo repetido masivo (Ø) y la deformación axial recuperable (∑a). Sirve para caracterizar los

materiales de sub-rasante”[9]. La Guía AASHTO 1993, reconoce que muchas agencias no poseen los equipos para determinar el M_R debido a que su costo es demasiado elevado y propone el uso de la conocida correlación con el CBR, a través de la siguiente ecuación:

M_R= 1500xCBR para CBR < 10%, sugerida por la Guía AASHTO. **Ecuación 14**

Tomando en cuenta que el valor de CBR de diseño obtenido es igual a **12%**. El módulo resiliente de la sub-rasante (M_R), se calculó mediante el uso de la **ecuación 27** recomendada por la Guía AASHTO 1993.

Obteniendo un valor de:

Módulo Resiliente (M_R) = 18,000 Lb/pulg^2.

4.2.4 Diseño estructural del pavimento articulado

Este método es aplicable para vías con un tránsito superior **a 0.05 * 10^6 ejes equivalentes a 8.2 toneladas** y la ecuación utilizada para el diseño de pavimentos flexibles, derivada de la información obtenida empíricamente por la AASHTO ROAD TEST es:

Ecuación 15

$$\log_{10} Wt18 = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

[9] **Fuente: Corredor M. Gustavo. Diseño de Pavimentos I, Managua, Nicaragua, MVT, 2010.**

Donde:

W_{18} = Número estimado de ejes simples equivalentes a 8.2 toneladas

Z_R = Desviación estándar normal para diferentes grados de confianza, se determina mediante tabla proporcionada por la Guía AASHTO 1993 (Ver anexo X)

So = Desviación estándar total o error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento

Δ PSI = Diferencia entre el índice de servicio inicial (Po) y el final (Pt)

M_R = Módulo resiliente de la sub-rasante

SN = Número Estructural (por sus siglas en inglés). Es un número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación dada de soporte del suelo (M_R), del tránsito total (W_{18}), de la serviciabilidad terminal y de las condiciones ambientales.

4.2.5 Características de los materiales del pavimento

a) Sub-base:

El uso de la sub-base requiere del empleo de un coeficiente de capa a3 para convertir su espesor en su número estructural (SN), que es el indicativo del espesor total requerido del pavimento.

b) Base:

Puede ser granular o estabilizada y los requisitos de calidad deben ser superiores a los de sub-base. Está representada por un coeficiente de capa a2 que permite convertir su espesor real a su número estructural

c) La capa de rodadura

Para este método estará constituida por adoquines con una resistencia a la **compresión de 3500 PSI** (Ver anexo XI) con un **espesor de 4"(10 centímetros).** Está representada por un coeficiente de capa a1, que permite convertir su espesor real a su número estructural.

4.2.6 Coeficientes de capa

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (Di), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal del pavimento flexible. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

La ecuación general que relaciona el número estructural (SN) con los espesores de capa es la siguiente:

$$SN = a1 * d1 + a2 * d2 * m2 + a3 * d3 * m3$$ **Ecuación 16**

Donde:

ai = Coeficiente estructural de la capa "i" ,el cual depende de la característica del material con que se construya.

di = Espesor de la capa "i" en pulgadas.

mi = Coeficiente de drenaje de la capa "i" . Es un valor que se puede tomar arbitrariamente a criterio del Ingeniero diseñador. (Ver tabla 27, pág. 87)

Debido que generalmente es impráctica y antieconómica la colocación de capa de pavimento muy delgado, el método recomienda espesores mínimos mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 30. Espesores mínimos requeridos

Numero de ejes Equivalentes (millones)	Espesores mínimos (pulgadas)	
	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: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993

4.2.7 Determinación de los espesores de las capas

Siendo el pavimento un sistema multicapa, la distribución de los espesores debe hacerse tomando como ecuación general la ecuación número 15,

determinándose los coeficientes estructurales de las distintas capas del pavimento de la siguiente manera:

a) Carpeta de rodadura: Estará compuesta por adoquines.

Donde el SN para esta capa se determina por medio de la presente ecuación:

SN1 =a1 *d1 **Ecuación 17**

Donde:

a1 = Coeficiente estructural del adoquín = 0.45.

Este coeficiente fue estimado tomando en consideración al coeficiente estructural de 0.5 asignado al pavimento Portland nuevo, en la Tabla C. 4 4 Apartado IV de la Referencia AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures, 1972. Dado que la bibliografía no da un coeficiente estructural para el adoquín de concreto, el Consultor y/o diseñador, conservadora y usualmente, lo considera de 0.45, es decir, da un valor un poco inferior al del pavimento de concreto.

d1= Espesor de la carpeta de rodamiento, para adoquín = **4" (10 cms)**

b) Para la base: Donde el SN para esta capa se determinará por medio de la presente ecuación:

SN2 = a2 * d 2 * m2 **Ecuación 18**

La Figura (Ver anexo XII) muestra el gráfico que fue empleado, para hallar el coeficiente a2 de una base tratada con suelo cemento a partir de su módulo resiliente o de su compresión a los siete días.

Dado que en el presente estudio se utilizará material del **banco No 1**, para ser tratado con cemento, esperando obtener una resistencia a la compresión no confinada de 300 psi (Ver tabla 18, pág. 61). Por lo que se determina que el coeficiente de capa para la base es:

a2 = 0.14

c) Sub-base: Donde el SN para esta capa se determinará por medio de la presente ecuación:

SN3 = a3 * d 3 * m3 Ecuación 19

La Figura (Ver anexo XIII) muestra el gráfico que fue empleado, para hallar el coeficiente a3, a partir de uno de cuatro resultados de ensayos de laboratorio para un material granular, incluyendo el módulo resiliente.

En nuestro caso el valor del CBR del material de banco **No 3-A**, para ser usado en esta capa resultó ser de 50 (Ver tabla 18, pág. 61). Por lo que se determina que el coeficiente de capa para la sub- base es:

a3 = 0.13

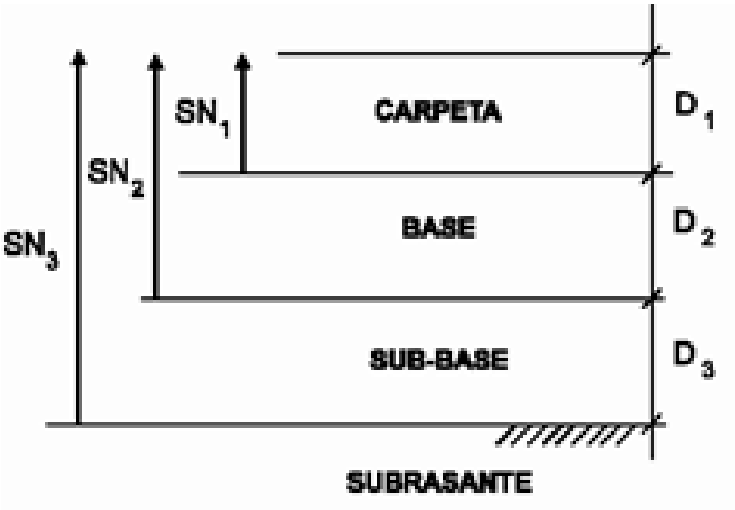
4.2.8 Cálculo de: Espesores de capa, Número estructural efectivo (SN calculado) y Número Estructural Requerido (SN diseño).

Para la determinación de: Los espesores de capa, número estructural efectivo (SN calculado) y número estructural requerido (SN diseño), se hará uso del **Software de análisis de pavimento en su última versión del programa PASS en ambiente Windows (WinPASS).**

Cabe señalar que la actual Guía AASHTO 1993, recomienda que para que el pavimento resista las cargas de tránsito a que será expuesto, se debe cumplir fielmente que en el diseño de la estructura de pavimento flexible el Número estructural SN efectivo (Calculado) deberá ser mayor o igual que el Número estructural SN requerido (Diseño).

En el control de los espesores D1, D2 y D3, a través del SN, se busca dar protección a las capas granulares no tratadas, de las tensiones verticales excesivas que producirían deformaciones permanentes, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 13.Control de los espesores D1, D2 y D3 a través del SN



Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993

Es decir que para ello es necesario que:

- ✓ **SN efectivo (Calculado) ≥ SN requerido (Diseño)**

Dado que:

Figura 15. Ecuaciones para el control de los espesores D1, D2 y D3 a través del SN

$$D^*1 \quad \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D_1 \geq SN_1$$

$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3}$$

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993

NOTAS: 1) a, D, m y SN corresponden a valores mínimos requeridos.
2) D* y SN representan los valores finales de diseño.

Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores sobre capas que tengan un módulo resiliente mayor a 40,000 psi (280 MPa). En este caso los espesores se determinarán mediante criterios constructivos o de acuerdo a la relación costo-eficiencia.

La siguiente tabla muestra los valores correspondientes a cada variable de diseño para ser utilizados en el software:

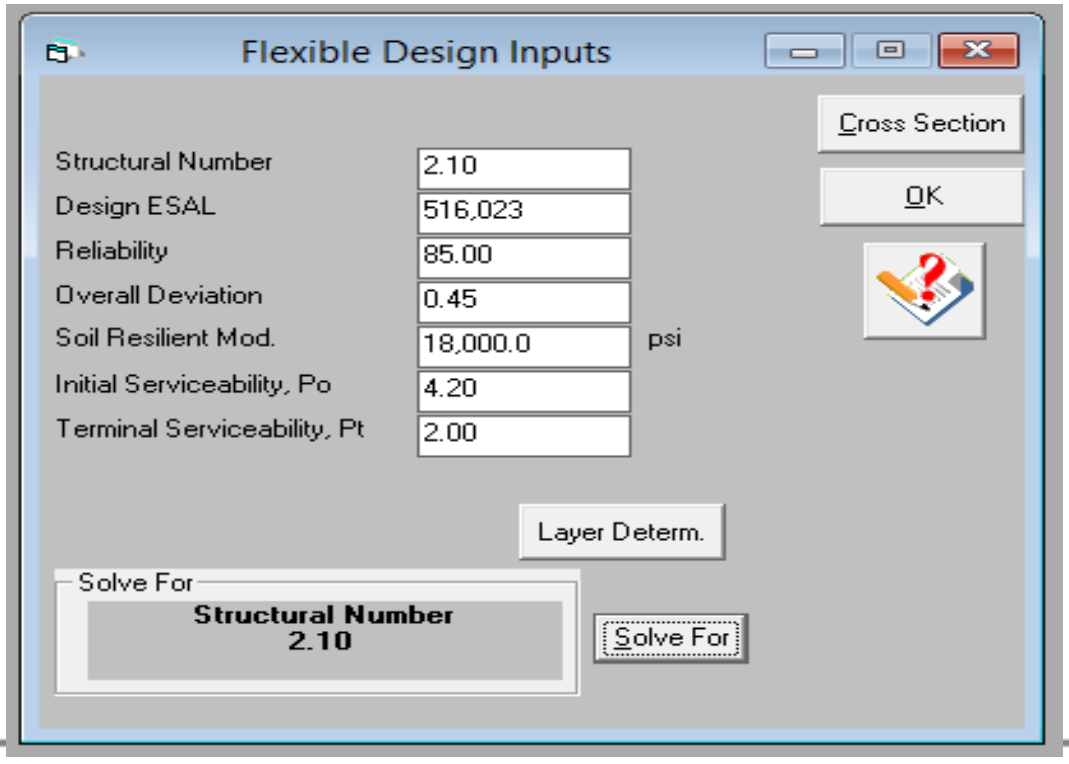
Tabla 31. Valores de los parámetros a utilizar en el software del diseño del pavimento articulado.

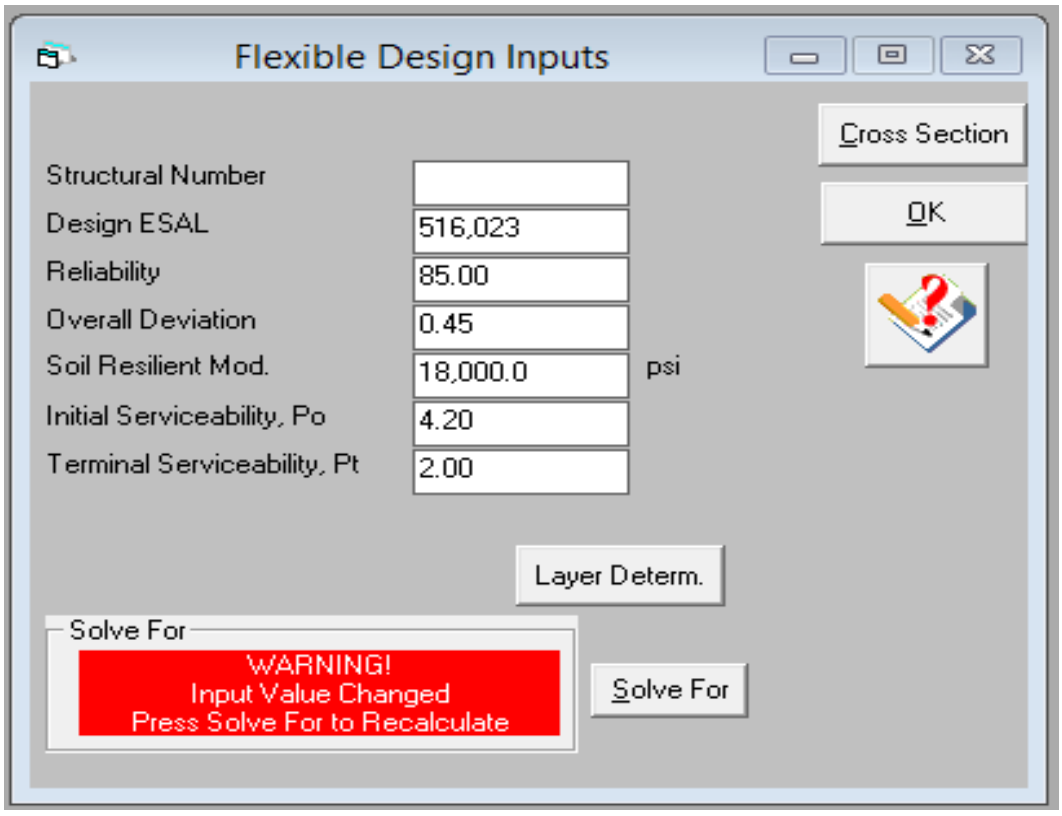
Parámetro	Valor
Cargas por ejes simples equivalentes (Wt18)	516,023 ESAL's
Confiabilidad en el diseño (R)	85%
Desviación estándar del sistema (So)	0.45
Módulo Resiliente (Mr)	18,000 Lb/Pulg^2
Serviciabilidad inicial del pavimento (Po) y Serviciabilidad final del pavimento (Pt)	Po = 4.2 y Pt =2.0
Coeficiente de capas ($a_{n\ n=1,2,3...}$)	a_1 =0.45 a_2 =0.14 a_3 =0.13
Coeficiente de drenaje ($m_{i;\ i=1,2...}$)	m = 1

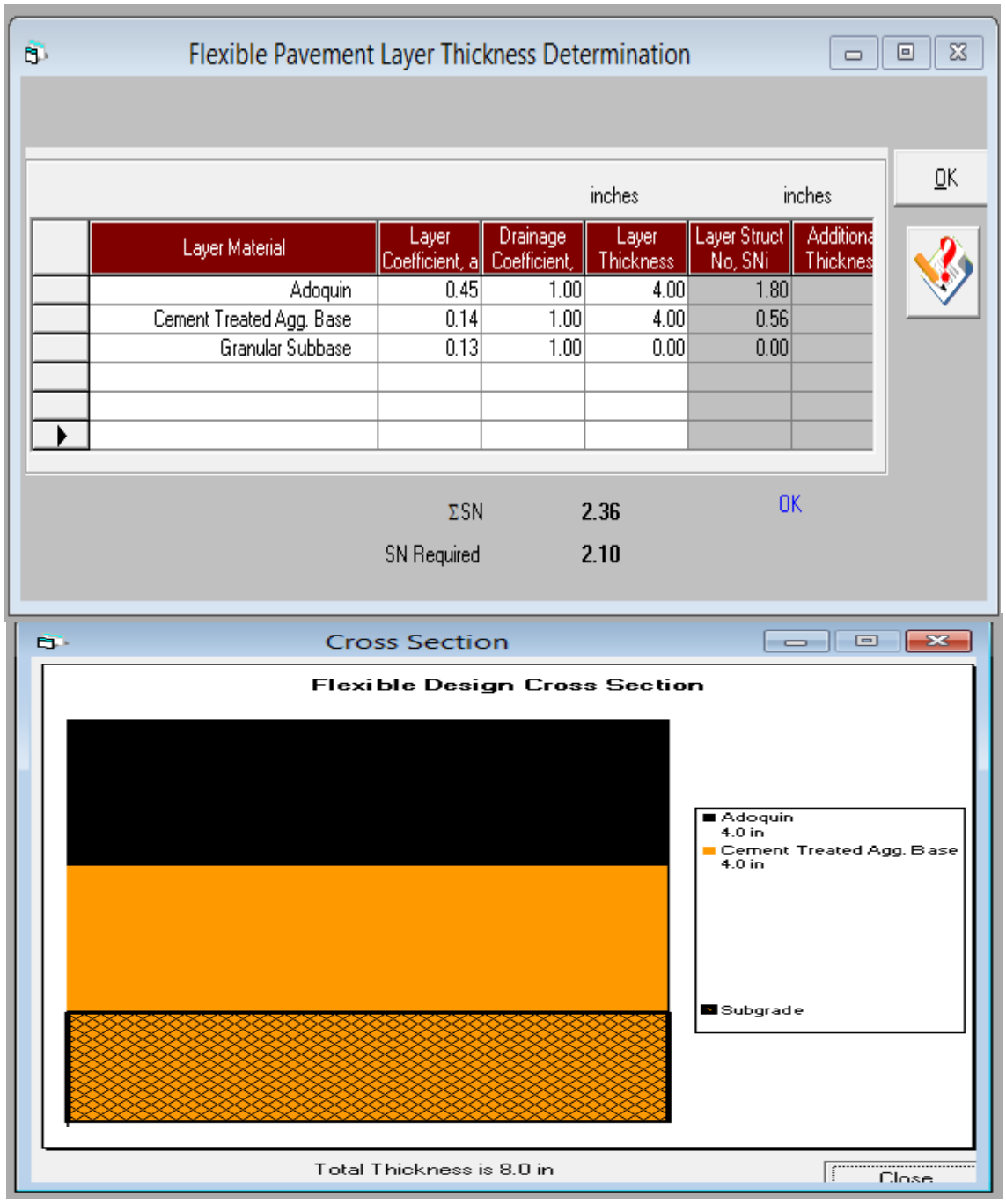
Fuente: Elaboración propia.

Al introducir los datos de la tabla 31 en el software WinPASS, se obtuvieron los siguientes resultados que se detallan a continuación.

Figura 16. Resultados arrojados por el software WinPASS




Flexible Design Inputs
Cross Section
OK
Structural Number
Design ESAL
516,023
Reliability
85.00
Overall Deviation
0.45
Soil Resilient Mod.
18,000.0
psi
Initial Serviceability, Po
4.20
Terminal Serviceability, Pt
2.00
Layer Determ.
Solve For
WARNING!
Input Value Changed
Press Solve For to Recalculate
Solve For



Fuente. Software WinPASS

Obteniendo los siguientes resultados:

- ✓ **SN requerido (Diseño) = 2.10**
- ✓ **SN efectivo (Calculado) = 2.36**

Cabe señalar que el SN de diseño se puede obtener a través de la **ecuación 28** (Ver pág. 100) o del **nomograma** brindado por la Guía AASHTO (Ver anexo XIV)

En base a los resultados obtenidos del desarrollo del programa **WinPASS**, se puede señalar que en la estructura de pavimento articulado de la carretera El Congo – Puerto Castilla (10.3 Km), no se necesitará de sub-base dado que:

SN efectivo (Calculado) ≥ SN Requerido, es decir que: **2.36 > 2.10** OK

Por tanto la estructura de pavimento articulado de la carretera El Congo – Puerto Castilla (10.3 Km), quedará conformada de la siguiente manera:

Tabla 32. Espesores totales del pavimento articulado

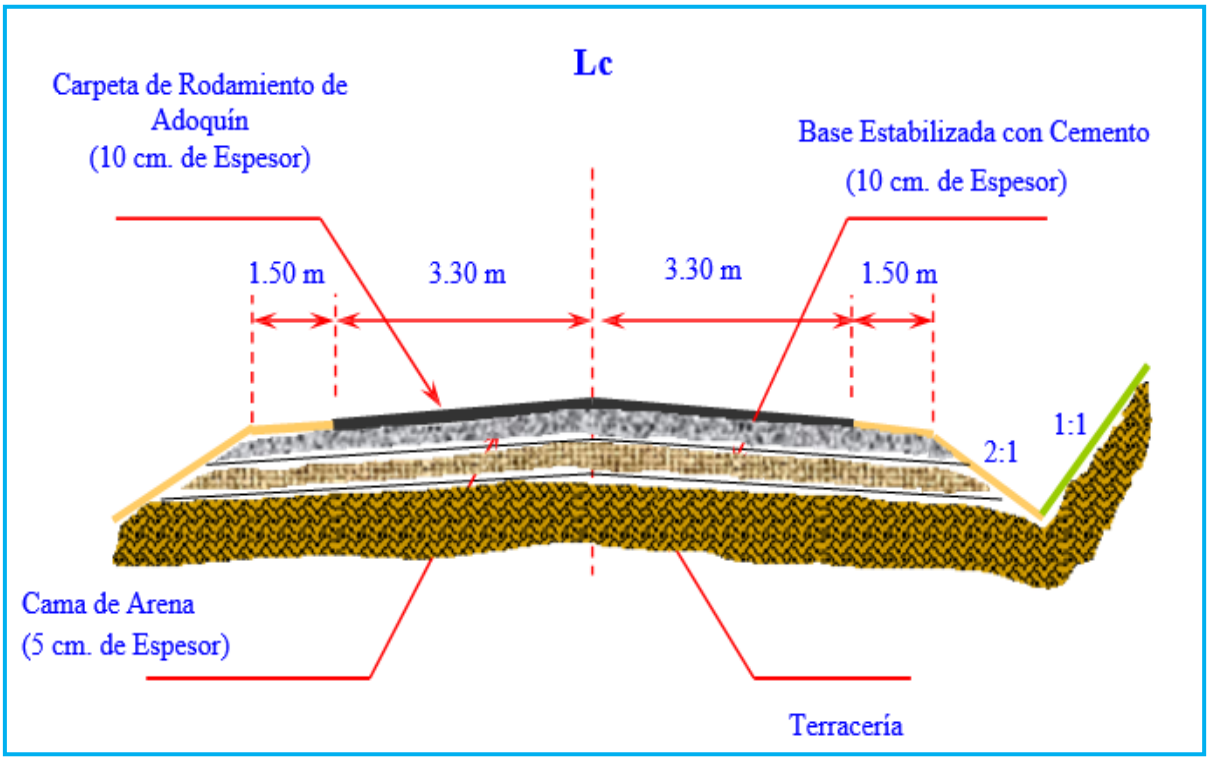
Espesores totales del pavimento articulado		
Adoquin	4.00	pulgadas
	10.00	centímetros
Base estabilizada con cemento	4.00	pulgadas
	10.00	centímetros

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente figura muestra la composición final de la estructura de pavimento articulado de la carretera El Congo – Puerto Castilla (10.3 Km). Es importante señalar que la estimación de las dimensiones de los elementos de la nueva sección transversal (Carriles, hombros), de esta carretera cuya clasificación

funcional es colectora rural, se realizó utilizando la tabla del Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, SIECA, 2004. pag.13. (Ver anexo XV y XVI)

Figura 17. Composición final de la estructura de pavimento articulado



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1- El TPDA 2013 obtenido para el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla resultó ser de **85 vpd.**

2- Al realizar un análisis profundo de las variables involucradas PIB, POB y tránsito nacional, así como la situación económica del país, se obtuvo una tasa de crecimiento vehicular para el año en que entrará en operación la carretera del **3.37 %,** misma que se utilizará en los años horizontes del proyecto.

3- Se espera que el vehículo que tendrá mayor presencia en el tramo de carretera en estudio será la camioneta con un TPDA de **18 vpd.**

4- Según la clasificación granulométrica se encuentran los siguientes suelos formando parte de la sub-rasante actual del camino en estudio: **A-2-6 (0), A- 5(9), A -1 a (0) A-2-4(0), A-6 (10), A-5 (8), A-7-5 (18), A-4 (0).**

5- Para conformar la base de la estructura de pavimento se empleará material del banco Nro. 1, este se deberá estabilizar con cemento, debido a que es un material que posee un **CBR de 36 al 95%** de la densidad próctor estándar y de **54 al 100%** de la densidad próctor estándar.

6- Se aplicarán un total de **516,023 ESAL's de diseño**.

7- El CBR de diseño obtenido de la sub-rasante del camino fue de **12%.**

8- Según los resultados obtenidos del método de diseño de pavimento articulado de la Guía AASHTO 1993, los espesores de pavimento a colocar serán:

Espesores totales del pavimento flexible		
Adoquin	4.00	pulgadas
	10.00	centímetros
Base estabilizada con cemento	4.00	pulgadas
	10.00	centímetros

9- Para la carpeta de rodamiento del pavimento articulado, se determinó utilizar adoquines de concreto con una resistencia mínima a la compresión de **3,500 psi.**

10- A mayor cantidad de eje en el tándem, menor daño estructural. Por lo que se demuestra la importancia de controlar el peso de los vehículos, como medida para garantizar la vida útil del patrimonio vial de Nicaragua, ya que la vida útil en el diseño de los pavimentos se determina en condiciones normales de tránsito, ya que las estructuras de pavimentos deben soportar cargas máximas permisibles.

5.2 Recomendaciones

1- Se deberá tener mucho cuidado en la adquisición de los adoquines de concreto, que su procedencia sea de las fábricas certificadas legalmente ya que estos deberán de cumplir con una resistencia de 3,500 psi requerida por el NIC-2000, no caer en el grave error de sacrificar calidad por ahorro económico.

2- Se recomienda que una vez que entre en operación el tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla (10.3km), este deberá ser incluido en el programa de mantenimiento vial que realiza el MTI, a través de la dirección de adoquinado, garantizando de esta manera que el pavimento se comporte de manera satisfactoria durante su vida útil.

3- Una vez que entre en operación la carretera, se deberán realizar conteos vehiculares de manera regular, con el fin de llevar un control del crecimiento vehicular, facilitando así futuras mejoras en la vía.

Incrementar el número de estaciones de control de pesaje con sistemas fijos en las rutas de mayor circulación, con el fin de regular la carga en tránsito por la red vial de Nicaragua.

4- Antes de colocar la capa base del pavimento, se deberá retirar 20 centímetros del material de mala calidad existente en la sub-rasante del camino en las siguientes estaciones: 0+020-3+260, 5+180-6+500 y sustituirlo por material del banco Nro. 3 en su estado natural, el cual deberá ser compactado al 100% de la densidad próctor modificado.

5- El material de base de suelo-cemento deberá compactarse al 95 % de la densidad próctor modificado, como mínimo, requerido por el NIC-2000.Una vez compactado este material se le deberán realizar ensayes de laboratorio para garantizar que el material posea una resistencia última a la compresión de 300 lb/plg^2, medida después de 7 días de curado y 7 días de saturación en el sitio. Cabe señalar que para lograr alcanzar esta resistencia, se deberá respetar la dosificación obtenida del diseño.

6- En términos generales, para la construcción de la estructura de pavimento, se debe garantizar que el suelo de sub-rasante esté libre de basura o algún material contaminante y nivelada adecuadamente.

7- Se recomienda que la arena que servirá de colchón a los adoquines no deberá tener más del 3% (En peso) de limo, arcilla o de ambos. Cabe señalar que su graduación será tal que pase totalmente por el tamiz Nro. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz Nro. 10, asimismo el espesor de esta capa no deberá ser menor de 3 cm ni mayor de 5 centímetros, esta recomendación está realizada en base a lo estipulado en el NIC-2000.

8- Es importante garantizar la limpieza de las alcantarillas existentes en este camino, ya que este sistema de drenaje menor se convierte en el mejor sistema de prevención y duración del pavimento.

9- El ejecutor de la obra deberá de realizar un plan de gestión ambiental, el cual tendrá como objetivo principal garantizar que las medidas de mitigación a implementarse en el proyecto sean cumplidas a cabalidad, este plan deberá realizarse y ejecutarse en conjunto con las autoridades del INAFOR, MARENA y la unidad ambiental del MTI. Lo más importante de este plan es hacer que las personas comprendan que se debe de tener sensibilidad humana para valorar el

medio ambiente en que vivimos.

10- Realizar estudios para el mejoramiento de la sub-rasante en carreteras a construir, debido a que esta es el cimiento que soporta todas las cargas a que está sometida la estructura del pavimento y para lograrlo deben de aplicarse las estabilizaciones en la misma.

BIBLIOGRAFÍA

1- AASHTO [1993] Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C, USA.

2- Asphalt Institute [1981, 1991] Thickness Design Asphalt Pavement for Highways & Streets, Manual Series No.1 (MS-1), Lexington, USA.

3- Corredor M. Gustavo. Diseño de Pavimentos I, Managua, Nicaragua, MVT, 2010.

4- Crespo Villalaz Carlos. VIAS DE COMUNICACIÓN; Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos. Segunda Edición-1989; Grupo Noriega Editores.

5- Datos técnicos proporcionados por el Sistema de Administración de Pavimentos, de la División General de Planificación, DGP, Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Nicaragua, 2013.

6- Datos técnicos proporcionados por el Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censo (INEC). Nicaragua, 2013.

7- Datos proporcionados por el Banco Central de Nicaragua (BCN). Nicaragua, 2013.

8- Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes, NIC-2000. Nicaragua.

9- Información proporcionada por la Empresa de diseño Corea y Asociados S.A. Nicaragua.

10- Juárez Badillo- Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo I, 1999.

11- Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA, 2001.

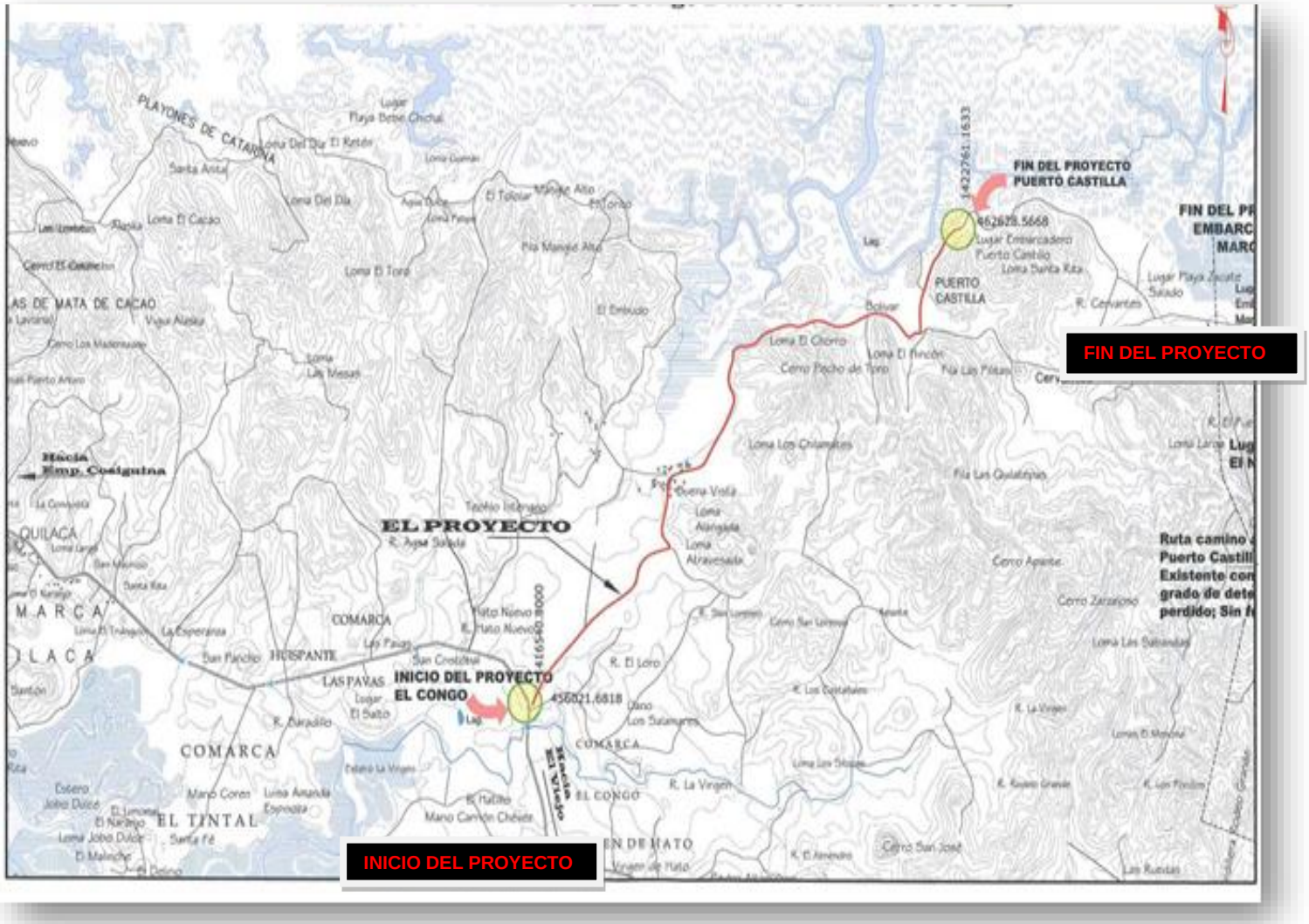
12- Montejo Fonseca Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras. Editorial Universidad Católica de Colombia: Santa fé de Bogotá, 1997.Colombia.

13- Olivera Bustamante Fernando. Estructuración de vías terrestres. Editorial continental. México.

ANEXOS

ANEXO I. Mapa de Macro y Micro Localización del Proyecto.

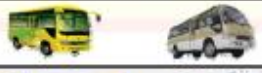
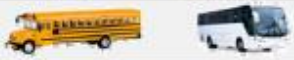
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO II. Características de los Distintos Vehículos en Nicaragua.

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

Fuente: Dirección General de Vialidad, MTI.

ANEXO III. Resultados de ensayos de suelos de línea

Proyecto:	**Estudio de Ingeniería y Diseño Final para el Adoquinado de 44.95 kms-Chinandega**	Sondeos de:	**LINEA EN CARRETERA REVESTIDA**
Tramo/Sitio:	**El Congo - Puerto Castilla**	Fecha de Sondeo:	**miércoles, 15 de febrero de 2006**
Cliente:	**MTI**	Fecha de Ensayes:	**sábado, 1 de abril de 2006**
Dueño del Proyecto:			

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
0+020	01	01	0-24	L.C. 1.40 MTS B. DER.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	6.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA COLOR GRIS CLARO (PLOMO)
		02	24-80								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	10.3	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
0+140	02	03	0-24	L.C. 2.00 MTS B. IZQ.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	6.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		04	24-80								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	10.3	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		05	80-150								100	95	76	66	66	22	A-7-5(14)	18.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR NEGRUSCO
0+260	03	06	0-8	L.C.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	6.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		07	8-26								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	10.3	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		08	26-150								100	88	68	60	50	20	A-7-5(10)	24.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ ROJISO
0+380	04	09	0-10	L.C. 2.00 MTS B. DER.	99	95	89	83	75	67	52	44	36	31	62	18	A-2-7(1)	6.0	GRAVA CON ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA Y ARENA COLOR GRIS CLARO
		10	10-35								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	16.5	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		11	35-100								100	88	68	60	50	20	A-7-5(10)	24.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA
0+500	05	12	0-10	L.C. 2.20 MTS B. IZQ.	88	77	66	58	52	46	34	29	22	18	26	8	A-2-4(0)	4.2	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS CLARO
		13	10-45		83	64	48	41	36	33	28	23	18	15	34	15	A-2-6(0)	5.5	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		14	45-60		100	95	-	93	92	90	86	82	61	50	53	18	A-7-5(7)	15.2	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON GRAVAS COLOR CAFÉ OSCURO
		15	60-100								100	97	81	88	48	10	A-5(10)	29.9	LIMO CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO
		16	100-150		100	95	-	93	92	90	86	82	61	50	53	18	A-7-5(7)	30.5	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO.
0+620	06	17	0-10	L.C.	88	77	66	58	52	46	34	29	22	18	26	8	A-2-4(0)	4.2	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR CAFÉ CLARO
		18	10-35		83	64	48	41	36	33	28	23	18	15	34	15	A-2-6(0)	6.9	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR NEGRUSCO
		19	35-150								100	88	68	60	50	20	A-7-5(10)	24.5	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR NEGRO

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
0+740	07	20	0-10	L.C. 2.00 MTS B. DER.	83	64	48	41	36	33	28	23	18	15	34	15	A-2-6(0)	6.9	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		21	10-26		100	95	-	93	92	90	86	82	61	50	53	18	A-7-5(7)	15.2	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON GRAVA COLOR CAFÉ OSCURO
		22	26-76								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	19.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		23	76-150								100	88	68	60	50	20	A-7-5(10)	26.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ ROJISO
0+860	08	24	0-35	L.C. 1.25 MTS IZQ.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	5.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		25	35-50		100	95	-	93	92	90	86	82	61	50	53	18	A-7-5(7)	17.0	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
		26	50-60								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	20.1	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ
		27	60-150								100	88	68	60	50	20	A-7-5(10)	24.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR ROJISO
0+980	09	28	0-15	L.C.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	6.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA DE COLOR CAFÉ CLARO
		29	15-30								100	95	80	68	40	16	A-6(9)	14.6	ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ
		30	30-80								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	15.2	ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
		31	80-120								100	95	76	66	66	22	A-7-5(14)	25.9	ARCILLA DE PLASTICIDA ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
1+100	10	32	0-20	L.C. 1.80 MTS B.DER.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	8.5	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		33	20-40								100	95	80	68	40	16	A-6(9)	20.6	ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA CON ARENA SEMISATURADA COLOR CAFÉ
		34	40-60								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	16.7	ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		35	60-150								100	88	68	60	50	20	A-7-5(10)	26.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ ROJISO
1+220	11	36	0-15	L.C. 2.00 MTS B. IZQ.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	7.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		37	15-30		83	64	48	41	36	33	28	23	18	15	34	15	A-2-6(0)	10.5	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		38	30-110								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	17.9	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		39	110-150								100	95	76	66	66	22	A-7-5(14)	26.1	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ ROJISO
1+340	12	40	0-30	L.C.	83	64	48	41	36	33	28	23	18	15	34	15	A-2-6(0)	8.1	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		41	30-115								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	17.9	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		42	115-135								100	97	94	92	60	25	A-7-5(18)	25.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ
		43	135-150								100	97	94	92	60	25	A-7-5(18)	33.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ OSCURO

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	%que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
1+460	13	44	0-15	L.C. 1.95 MTS B. DER.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	7.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		45	15-60		94	88	76	68	54	47	30	24	19	16	37	19	A-2-6(0)	8.4	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA COLOR PLOMO
		46	60-132								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	17.9	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
1+580	14	47	0-30	L.C. 2.10 MTS B. IZQ.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	7.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		48	30-55		94	88	76	68	54	47	20	24	19	16	37	19	A-2-6(0)	12.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA COLOR CAFÉ CLARO
		49	55-145								100	95	76	66	66	22	A-7-5(14)	26.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
1+700	15	50	0-30	L.C.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	7.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		51	30-130								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	17.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
		52	130-150								100	95	76	66	66	22	A-7-5(14)	32.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA
1+820	16	53	0-25	L.C. 1.80 MTS B. DER.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	7.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO.
		54	25-130								100	95	76	66	66	22	A-7-5(14)	27.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO.
1+940	17	55	0-30	L.C. 1.60 MTS B. IZQ.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	6.8	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		56	30-136								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	17.9	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
2+060	18	57	0-20	L.C.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	6.8	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		58	20-135								100	95	76	66	66	22	A-7-5(14)	24.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR NEGRUSCO A PLOMO

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
2+180	19	59	0-25	L.C. 1.95 MTS B. DER.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	5.8	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		60	25-125								100	97	94	92	60	25	A-7-5(18)	28.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ OSCURO
2+300	20	61	0-10	L.C. 1.80 MTS B. IZQ.	83	64	48	41	36	33	28	23	18	15	34	15	A-2-6(0)	8.1	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA COLOR CAFÉ CLARO
		62	10-100								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	19.3	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
		63	100-150								100	97	83	72	38	15	A-6(2)	26.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA COLOR AMARILLENTO
2+420	21	64	0-48	L.C.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	7.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		65	48-80								100	78	54	44	41	10	A-5(2)	15.0	LIMO, ARENA CON ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO
		66	80-150								100	88	68	60	50	20	A-7-5(10)	24.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ ROJISO
2+540	22	67	0-10	L.C. 2.00 MTS B. DER.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	12.9	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		68	10-70								100	88	72	66	44	15	A-7-6(9)	28.0	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		69	70-150								100	95	86	80	56	12	A-7-5(12)	32.4	ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ AMARILLENTO
2+660	23	70	0-25	L.C. 2.10 MTS B. IZQ.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	6.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA COLOR CAFÉ
		71	25-50		78	65	58	49	44	38	26	22	15	12	35	15	A-2-6(0)	7.5	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		72	50-80		100	93	75	60	49	44	33	28	20	15	43	25	A-2-7(0)	10.9	GRAVA CON ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR GRIS CLARO
		73	80-150								100	97	94	92	60	25	A-7-5(18)	28.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ ROJISO
2-780	24	74	0-13	L.C.	94	89	81	73	65	57	46	39	26	13	23	5	A-1-a(0)	4.1	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS CLARO A PLOMO
		75	13-21		97	96	87	75	65	55	41	36	22	14	25	7	A-2-4(0)	7.4	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR PLOMO
		76	21-84								100	99	95	92	68	41	A-7-6(20)	28.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR NEGRO
		77	84-1.03								100	98	90	82	57	22	A-7-5(16)	28.7	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR GRIS
		78	1.03-150								100	100	74	40	69	22	A-7-5(5)	28.0	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR GRIS CLARO

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
2+900	25	79	0-10	L.C. 2.00 MTS B. DER.	97	96	87	75	65	55	41	36	22	14	25	7	A-2-4(0)	5.3	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS CLARO
		80	10-28		100	96	89	83	73	68	57	51	36	24	27	5	A-1-b(0)	8.9	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR CAFÉ OSCURO
		81	28-125								100	98	81	64	35	12	A-6(1)	19.4	ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO
		82	125-165								100	98	60	34		n/p	A-2-4(0)	12.9	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO.
3+020	26	83	0-15	L.C. 2.14 MTS B. IZQ.	100	98	97	95	93	88	82	73	52	40	38	12	A-6(1)	5.3	ARCILLA LIMOSA CON GRAVAS COLOR CAFÉ CLARO
		84	15-40		83	78	60	64	57	54	46	39	28	22	60	15	A-2-7(0)	6.8	GRAVA CON ARCILLA Y ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		85	40-70		94	86	78	70	60	54	40	33	25	20	32	13	A-2-6(0)	8.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO
		86	70-150								100	95	84	78	45	19	A-7-6(13)	33.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ OSCURO
3+140	27	87	0-20	L.C.							100	98	84	72	40	17	A-6(10)	10.7	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA COLOR ROJISO
		88	20-50		100	95	-	93	92	90	86	82	61	50	53	18	A-7-5(7)	15.2	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON GRAVAS COLOR CAFÉ OSCURO
		89	50-80								100	93	81	77	88	25	A-7-5(18)	26.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR ROJISO
		90	80-150								100	99	95	93	53	28	A-7-6(18)	28.0	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR GRIS CLARO
3+260	28	91	0-10	L.C. 1.48 MTS B. DER.	71	63	52	43	36	31	22	17	13	11	36	15	A-2-6(0)	6.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		92	10-20								100	93	80	73	42	13	A-7-6(9)	25.0	ARCILLA CON LIMO COLOR ROJISO
		93	20-72		100	95	-	93	92	90	86	82	61	50	53	18	A-7-5(7)	15.2	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA CON GRAVAS COLOR CAFÉ OSCURO
		94	72-150								100	93	81	77	88	25	A-7-5(18)	28.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR GRIS CLARO.
3+380	29	95	0-10	L.C. 1.80 MTS B. IZQ.	97	96	87	75	65	55	41	36	22	14	25	7	A-2-4(0)	5.3	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS CLARO
		96	10-28		100	96	89	83	73	68	57	51	36	24	27	5	A-1-b(0)	8.9	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR CAFÉ CLARO
		97	28-125								100	98	81	64	35	12	A-6(1)	19.4	ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO
		98	125-160								100	98	60	34		n/p	A-2-4(0)	12.9	LIMO CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
3+500	30	99	0-12	L.C.	79	64	43	36	30	28	22	17	14	13	43	6	A-1-a(0)	6.0	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS CLARO
		100	12-80								100	89	37	22	29	9	A-2-4(0)	8.0	LIMO Y ARENA COLOR GRIS CLARO
		101	80-120								100	98	81	64	35	12	A-6(1)	19.4	ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO
		102	120-150								100	98	60	34		n/p	A-2-4(0)	12.9	LIMO CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO.

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
3+620	31	103	0-10	L.C. 1.70 MTS B. DER.	100	96	89	83	73	68	57	51	36	24	27	5	A-1-b(0)	6.3	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS OSCURO
		104	10-24		94	86	78	70	60	54	40	33	25	20	32	13	A-2-6(0)	8.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		105	25-50								100	95	75	59	34	12	A-6(1)	20.0	ARCILLA CON LIMO COLOR GRIS CLARO
		106	50-100								100	98	81	64	35	12	A-6(1)	22.5	ARCILLA CON LIMO COLOR ROJISO
3+740	32	107	0-40	L.C. 1.95 MTS B. IZQ.	83	73	57	43	35	30	21	16	12	10	35	14	A-2-6(0)	6.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		108	40-70								100	97	81	88	48	10	A-5(10)	18.5	LIMO, ARENA Y ARCILLA COLOR ROJISO
		109	70-120								100	98	81	64	35	12	A-6(1)	19.4	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
3+860	33	110	0-20	L.C.	94	86	78	70	60	54	40	33	25	20	32	13	A-2-6(0)	8.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		111	20-50								100	95	75	59	34	12	A-6(1)	20.0	ARCILLA CON ARENA COLOR GRIS OSCURO
		112	50-100								100	88	68	60	50	20	A-7-5(10)	24.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ
		113	100-150								100	93	81	77	88	25	A-7-5(18)	31.6	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ
3+980	34	114	0-25	L.C. 2.00 MTS B. DER.	100	94	83	71	63	52	34	29	21	16	25	6	A-1-a(0)	9.3	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS OSCURO
		115	25-40								100	95	61	46	37	12	A-6(1)	16.2	ARCILLA CON ARENA COLOR NEGRO
		116	40-110								100	94	50	30		n/p	A-2-4(0)	16.8	ARENA CON LIMO COLOR GRIS OSCURO
		117	110-158								100	97	83	69	77	8	A-5(10)	26.4	LIMO CON ARENA CON ARCILLA
4+100	35	118	0-46	L.C. 1.65 MTS B. IZQ.	78	70	58	53	47	42	25	21	15	11	24	8	A-2-4(0)	12.1	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR CAFÉ CLARO
		119	46-100		94	91	86	77	67	58	39	35	28	23	32	8	A-2-4(0)	18.4	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS OSCURO
4+220	36	120	0-10	L.C.	94	86	78	70	60	54	40	33	25	20	32	13	A-2-6(0)	8.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		121	10-23		98	95	76	71	68	63	54	43	30	24	29	9	A-2-4(0)	12.8	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS PLOMO
		122	23-40		61	52	44	42	39	37	32	29	18	12	29	9	A-2-4(0)	12.8	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR CAFÉ OSCURO
		123	40-80								100	93	44	28	31	6	A-2-4(0)	13.6	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ
		124	80-140								100	95	56	36	31	5	A-4(0)	24.8	LIMO CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
		125	140-160								100	97	81	88	48	10	A-5(10)	30.0	LIMO, ARENA CON ARCILLA COLOR GRIS OSCURO, MATERIAL SEMISATURADO

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz 2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
4+340	37	126	0-26	L.C. 2.10 MTS B. DER.	64	53	48	46	42	40	32	26	19	14	22	5	A-1-a(0)	7.1	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR CAFÉ CLARO
		127	26-50								100	95	66	47	31	10	A-4(0)	16.7	LIMO, ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
		128	50-130								100	95	56	36	31	5	A-4(0)	24.8	ARENA , LIMO COLOR CAFÉ ROJISO
		129	130-170								100	97	81	88	48	10	A-5(10)	30.0	LIMO COLOR PLOMO MATERIAL SEMISATURADA
4+460	38	130	0-19	L.C. 1.80 MTS B. IZQ.	94	86	78	70	60	54	40	33	25	20	32	13	A-2-6(0)	8.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		131	19-30		98	95	76	71	68	63	54	43	30	24	29	9	A-2-4(0)	12.8	GRAVA CONA RENA Y LIMO COLOR GRIS OSCURO
		132	30-64								100	95	56	36	31	5	A-4(0)	20.1	ARENA Y LIMO COLOR NEGRO
		133	64-90								100	88	68	60	50	20	A-7-5(10)	24.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR NEGRO
		134	90-120								100	97	81	88	48	10	A-5(10)	25.3	LIMO COLOR CAFÉ CLARO
		135	120-150								100	93	81	77	88	25	A-7-5(18)	31.6	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR NEGRO
4+580	39	136	0-30	L.C.	97	89	79	69	57	47	34	28	21	17	29	9	A-2-4(0)	13.2	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO
		137	30-100								100	95	56	36	31	5	A-4(0)	18.5	ARENA CON LIMO COLOR CAFÉ OSCURO
		138	100-150								100	97	69	51	37	11	A-6(0)	29.2	ARCILLA LIMOSA COLOR NEGRO
4+700	40	139	0-30	L.C. 1.35 MTS B. DER.	94	86	78	70	60	54	40	33	25	20	32	13	A-2-6(0)	7.2	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		140	30-100		98	95	76	71	68	63	54	43	30	24	29	9	A-2-4(0)	13.9	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS PLOMO
4+820	41	141	0-15	L.C. 1.46 MTS B. IZQ.	94	86	78	70	60	54	40	33	25	20	32	13	A-2-6(0)	8.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		142	15-36		98	95	76	71	68	63	54	43	30	24	29	9	A-2-4(0)	12.8	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS
		143	36-100		92	89	85	83	81	79	70	63	48	32	35	13	A-2-6(0)	14.3	GRAVA CON ARCILLA Y ARENA COLOR GRIS PLOMO
		144	100-140								100	96	62	42	31	8	A-4(0)	23.0	ARENA CON LIMO COLOR CAFÉ OSCURO
		145	140-150								100	88	70	56	56	32	A-7-6(14)	33.6	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR NEGRO
4+940	42	146	0-40	L.C.	94	86	78	70	60	54	40	33	25	20	32	13	A-2-6(0)	7.2	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS CLARO
		147	40-85		98	95	76	71	68	63	54	43	30	24	29	9	A-2-4(0)	13.9	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR PLOMO
		148	85-150								100	88	70	56	56	32	A-7-6(14)	30.1	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR NEGRO

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
5+060	43	149	0-10	L.C. 2.02 MTS B. DER.	95	89	82	76	71	68	51	44	32	23	28	8	A-2-4(0)	5.6	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS CLARO
		150	10-20								100	95	72	42	26	10	A-4(0)	7.1	LIMO CON ARENA COLOR CAFÉ
		151	20-60		85	89	82	76	71	68	51	44	32	23	28	8	A-2-4(0)	12.5	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS CLARO
5+180	44	152	0-30	L.C. 1.95 MTS B. IZQ.	94	79	67	60	51	47	36	31	24	20	32	12	A-2-6(0)	10.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS PLOMO
		153	30-100								100	96	74	59	59	28	A-7-5(14)	20.4	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ AMARILLENTO
		154	100-130								100	88	70	56	56	32	A-7-6(14)	28.5	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD COLOR AMARILLENTO
5+300	45	155	0-22	L.C.	95	89	82	76	71	68	51	44	32	23	28	8	A-2-4(0)	5.6	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS CLARO
		156	22-44								100	95	72	42	26	10	A-4(0)	9.8	LIMO, ARENA Y ARCILLA COLOR CAFE CLARO
		157	44-100								100	95	82	72	38	13	A-6(1)	23	ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA COLOR CAFÉ CLARO
5+420	46	158	0-13	L.C. 2.00 MTS B. DER.	94	79	67	60	51	47	36	31	24	20	32	12	A-2-6(0)	10.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS
		159	13-50								100	93	80	74	52	20	A-7-5(15)	34.3	AMARILLENTO
		160	50-90								100	95	81	75	49	9	A-5(9)	28.8	LIMO COLOR GRIS CLARO
		161	90-150								100	87	63	53	42	12	A-7-5(4)	30.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA CON ARENA COLOR ROJISO
5+540	47	162	0-16	L.C. 2.22 MTS B. IZQ.	98	95	76	71	68	63	54	43	30	24	29	9	A-2-4(0)	8.0	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS
		163	16-56		92	89	85	83	81	79	70	63	48	32	35	13	A-2-6(0)	14.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA COLOR PLOMO
		164	56-145								100	95	82	72	38	12	A-6(1)	23.0	ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA COLOR CAFÉ OSCURO
5+660	48	165	0-25	L.C.	97	91	88	75	64	52	38	34	21	13	24	2	A-1-a(0)	11.2	GRAVA, ARENA Y LIMO COLOR GRIS CLARO
		166	25-60								100	94	48	27	31	10	A-2-4(0)	18.8	LIMO CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
		167	60-100								100	100	80	42		N/P	A-4(0)	25.0	ARCILLA LIMOSA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		168	100-150								100	99	89	79	32	13	A-6(1)	35.3	ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA COLOR GRIS OSCURO

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
5+780	49	169	0-30	L.C. 2.65 MTS B. DER.	92	89	85	83	81	79	70	63	48	32	35	13	A-2-6(0)	8.1	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR PLOMO
		170	30-40		98	95	76	71	68	93	54	43	30	24	29	9	A-2-4(0)	12.8	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS OSCURO
		171	40-100								100	96	62	42	31	8	A-4(0)	19.9	LIMO, ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		172	100-150								100	88	70	56	56	32	A-7-6(14)	30.1	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
5+900	50	173	0-10	L.C. 2.20 MTS B. IZQ.	94	79	67	60	51	47	36	31	24	20	32	12	A-2-6(0)	10.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA DE PLASTICIDADA BAJA COLOR CAFÉ
		174	10-30								100	96	83	73	20	6	A-4(0)	22.7	LIMO COLOR CAFÉ CLARO
		175	30-90								100	92	75	66	48	22	A-7-6(12)	28.2	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR AMARILLENTO
		176	90-150								100	88	70	56	56	32	A-7-6(14)	30.1	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR ROJISO
6+020	51	177	0-10	L.C.	94	79	67	60	51	47	36	31	24	20	32	12	A-2-6(0)	7.2	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		178	10-20								100	94	62	41	30	12	A-6(1)	8.6	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		179	20-40								100	96	60	38	58	34	A-7-6(6)	17.4	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR NEGRO
		180	40-150								100	99	94	90	52	25	A-7-6(16)	39.2	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR NEGRO
6+140	52	181	0-26	L.C. 1.95 MTS B. DER.	94	79	67	60	51	47	36	31	24	20	32	12	A-2-6(0)	7.5	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS CLARO
		182	26-70								100	94	48	27	31	10	A-2-4(0)	18.8	ARENA CON LIMO Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		183	70-95								100	96	83	73	20	6	A-4(0)	22.7	LIMO COLOR CAFÉ
		184	95-130								100	94	62	41	30	12	A-6(1)	24.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA CON ARENA COLOR BLANCO
		185	130-150								100	99	94	90	52	25	A-7-6(16)	34.7	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR NEGRO
6+260	53	186	0-18	L.C. 2.50 MTS B. IZQ.	94	79	67	60	51	47	36	31	24	20	32	12	A-2-6(0)	7.5	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		187	18-32		92	89	85	83	81	79	70	63	48	32	35	13	A-2-6(0)	8.1	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS OSCURO
		188	32-65								100	96	83	73	20	6	A-4(0)	18.8	LIMO CON ARRENA COLOR CAFÉ
		189	65-110								100	94	62	41	30	12	A-6(1)	24.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
6+380	54	190	0-13	L.C.	90	84	77	68	60	52	41	34	24	18	31	10	A-2-4(0)	6.5	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS CLARO
		191	13-26		96	92	80	75	68	63	50	40	30	21	32	13	A-2-6(0)	8.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		192	26-70								100	95	57	31	22	4	A-4(0)	12.1	ARENA Y LIMO COLOR CAFÉ OSCXURO
		193	70-1.08								100	94	62	41	30	12	A-6(0)	19.7	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ
		194	1.08-156								100	99	94	90	52	25	A-7-6(16)	29.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR NEGRO

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
7+220	61	216	0-30	L.C. 2.25 MTS B. DER.	83	64	48	41	36	33	28	23	18	15	34	15	A-2-6(0)	6.9	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		217	30-50		94	88	76	68	54	47	30	24	19	16	37	19	A-2-6(0)	13.2	GRAVA CON ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
		218	50-130								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	17.9	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ
		219	130-150								100	97	94	92	60	25	A-7-5(18)	33.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ AMARILLENTO
7+340	62	220	0-30	L.C. 1.80 MTS B. IZQ.	88	78	74	67	60	55	43	37	28	23	28	9	A-2-4(0)	4.8	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR PLOMO
		221	30-150								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	29.9	ARCILLA CON ARENA COLOR NEGRO
7+460	63	222	0-10	L.C.	85	74	60	54	47	44	34	29	22	17	31	13	A-2-6(0)	5.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS PLOMO
		223	10-60								100	97	93	89	40	14	A-6(10)	27.1	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA A BAJA COLOR CAFÉ OSCURO
		224	60-150								100	87	67	60	48	23	A-7-6(11)	29.0	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ BLANQUSCO
7+560	64	225	0-35	L.C. 1.00 MTS B. DER	85	74	60	54	47	44	34	29	22	17	31	13	A-2-6(0)	8.9	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR PLOMO
		226	35-150								100	95	90	86	48	17	A-7-5(12)	22.5	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA COLOR CAFÉ OSCURO
7+700	65	227	0-20	L.C. 2.70 MTS B. IZQ.	85	74	60	54	47	44	34	29	22	17	31	13	A-2-6(0)	8.9	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		228	20-40								100	96	94	85	39	11	A-6(1)	20.0	ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO
		229	40-90								100	96	94	85	39	11	A-6(1)	24.5	ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ
		230	90-150								100	94	78	68	40	16	A-6(9)	31.3	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA COLOR CAFÉ OSCURO
7+820	66	231	0-20	L.C.	80	71	65	57	51	46	37	31	23	18	29	10	A-2-4(0)	7.4	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR PLOMO
		232	20-60								100	94	78	68	40	16	A-6(9)	25.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA COLOR CAFÉ
		233	60-150								100	97	89	85	42	24	A-7-6(14)	28.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ OSCURO

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
7+940	67	234	0-15	L.C. 1.33 MTS B. DER	94	79	67	60	51	47	36	31	24	20	32	12	A-2-6(0)	7.5	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		235	15-50								100	96	53	28	21	1	A-2-4(0)	9.8	ARENA CON LIMO COLOR GRIS PLOMO
		236	50-95								100	94	62	41	30	12	A-6(1)	16.0	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		237	95-155								100	99	89	72	37	15	A-6(2)	18.6	ARCILLA DE PLASTICIDA MEDIA COLOR CAFÉ OSCURO
8+060	68	238	0-15	L.C. 1.60 MTS B. DER	83	79	73	66	60	56	44	38	28	22	29	9	A-2-4(0)	12.8	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS CLARO
		239	15-40								100	95	69	48	26	8	A-4(0)	11.9	LIMO, ARENA CON ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		240	40-70								100	95	69	48	26	8	A-4(0)	17.1	LIMO, ARENA CON ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO
		241	70-150								100	98	46	13		N/P	A-1-b(0)	16.8	ARENA CON LIMO COLOR GRIS CLARO
8+180	69	242	0-36	L.C.	94	79	67	60	51	47	36	31	24	20	32	12	A-2-6(0)	4.5	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		243	36-52								100	99	82	36	20	1	A-4(0)	7.9	ARENA CON LIMO COLOR GRIS OSCURO
		244	52-120								100	95	69	48	26	8	A-4(0)	18.7	LIMO, ARENA CON ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO
		245	120-157		85	78	66	62	56	53	43	36	24	18	25	8	A-2-4(0)	21.0	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS CLARO
8+300	70	246	0-6	L.C. 1.70 MTS B. DER	79	69	61	54	49	45	34	29	23	19	7	14	A-2-6(0)	7.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		247	6-30								100	98	62	40	25	4	A-4(0)	8.3	LIMO, ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		248	30-80								100	94	33	14		N/P	A-1-b(0)	9.1	ARENA CON LIMO COLOR GRIS
		249	80-150								100	97	73	57	33	12	A-6(1)	20.3	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
8+420	71	250	0-5	L.C. 1.38 MTS B. IZQ.	90	84	83		82	79	74	69	47	30	24	7	A-2-4(0)	4.4	ARENA CON GRAVA Y ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO
		251	5-50								100	98	62	40	25	4	A-4(0)	9.0	LIMO, ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		252	50-90								100	99	81	72	36	15	A-6(2)	21.2	ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA COLOR CAFÉ OSCURO
		253	90-105								100	98	95	92	48	23	A-7-6(15)	26.7	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ OSCURO
8+540	72	254	0-10	L.C.	79	69	61	54	49	45	34	29	23	19	34	14	A-2-6(0)	8.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		255	10-30								100	96	88	80	31	11	A-6(1)	15.7	ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO
		256	30-70								100	90	72	61	36	13	A-6(1)	27.7	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA A BAJA COLOR AMARILLENTO

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
8+660	73	257	0-8	L.C. 0.20 MTS B. DER	83	64	48	41	36	33	28	23	18	15	34	15	A-2-6(0)	6.9	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		258	8-36								100	65	43	36	34	17	A-6(2)	17.9	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
		259	36-110								100	87	67	60	48	23	A-7-6(11)	29.1	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ
		260	110-154								100	96	85	81	44	14	A-7-5(11)	31.0	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA A BAJA COLOR CAFÉ
8+780	74	261	0-10	L.C. 1.30 MTS B. IZQ	63	61	60			59	58	53	40	31	33	13	A-2-6(1)	11.4	GRAVA CON ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA A BAJA CON ARENA COLOR GRIS CLARO
		262	10-150								100	98	85	70	31	5	A-4(0)	18.6	LIMO, ARENA COLOR CAFÉ OSCURO
8+900	75	263	0-12	L.C.	88	78	74	67	60	55	43	37	28	23	28	9	A-2-4(0)	6.9	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS OSCURO
		264	12-57								100	98	85	70	31	5	A-4(0)	16.5	LIMO, ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		265	57-167								100	87	67	60	48	23	A-7-6(11)	32.1	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ NEGRO
9+020	76	266	0-30	L.C.1.40 MTS B.	76	70	64	58	48	43	31	33	20	16	30	11	A-2-6(0)	7.1	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS CLARO
		267	30-150								100	96	83	77	44	19	A-7-6(13)	33.6	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ OSCURO
9+140	77	268	0-41	L.C. 1.60 MTS B. IZQ.	76	64	59	56	54	50	40	34	24	19	28	7	A-2-4(0)	10.9	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS CLARO
		269	41-55								100	96	94	85	39	11	A-6(1)	16.9	ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO
		270	55-86								100	95	90	86	48	17	A-7-5(12)	22.5	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA COLOR CAFÉ OSCURO
		271	86-160								100	99	94	90	52	25	A-7-6(16)	29.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ OSCURO
9+260	78	272	0-40	L.C.							100	98	58	21		N/P	A-2-4(0)	5.3	ARENA CON LIMO COLOR GRIS CLARO
		273	40-150								100	96	83	77	44	19	A-7-6(13)	33.6	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
9+380	79	274	0-15	L.C. 1.30 MTS B. DER.	79	69	61	54	49	45	34	29	23	19	34	14	A-2-6(0)	8.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		275	15-48		94	79	67	60	51	47	36	31	24	20	32	12	A-2-6(0)	12.5	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS OSCURO
		276	48-117								100	97	88	80	37	13	A-6(1)	20.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA A BAJA COLOR CAFÉ
		277	117-175								100	96	83	77	44	19	A-7-6(13)	27.9	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR CAFÉ OSCURO
9+500	80	278	0-25	L.C. 1.00 MTS B. IZQ.	82	71	61	54	50	46	37	32	24	18	27	9	A-2-4(0)	8.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS CLARO
		279	25-150								100	96	83	77	44	19	A-7-6(13)	27.8	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA CON ARENA COLOR CAFÉ OSCUOR
9+620	81	280	0-9	L.C.	63	61	60			59	58	53	40	31	33	13	A-2-6(1)	11.4	GRAVA CON ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA A BAJA COLOR GRIS CLARO
		281	9-58								100	98	85	70	31	5	A-4(0)	15.6	LIMO, ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		282	25-130								100	93	70	51	26	6	A-4(0)	17.2	LIMO, ARENA COLOR GRIS PLOMO
		283	130-170								100	97	88	80	37	13	A-6(1)	26.5	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA A BAJA COLOR CAFÉ OSCURO
9+740	82	283	0-20	L.C. 1.50 MTS B. DER	87	86	80		78	77	72	67	43	23		N/P	A-1-b(0)	9.5	ARENA CON GRAVAS Y LIMO COLOR GRIS CLARO
		284	20-140								100	98	54	27	23	2	A-2-4(0)	11.6	ARENA , LIMO COLOR GRIS CLARO
		285	40-150								100	95	84	81	41	18	A-7-6(11)	30.5	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA COLOR CAFÉ CLARO
9+860	83	286	0-18	L.C. 1.60 MTS B. IZQ.	79	69	61	54	49	45	34	29	23	19	34	14	A-2-6(0)	8.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS CLARO
		287	18-63								100	98	54	27	23	2	A-2-4(0)	11.8	ARENA CON LIMO COLOR CAFÉ CLARO
		288	63-80								100	86	49	43	38	15	A-6(2)	17.9	ARCILLA CON ARENA COLOR CAFÉ CLARO
		289	80-130								100	95	84	81	41	18	A-7-6(11)	23.7	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA COLOR GRIS PLOMO
9+980	84	290	0-20	L.C.	79	69	61	54	49	45	34	29	23	19	34	14	A-2-6(0)	8.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR CAFÉ CLARO
		291	20-35		86	80	72	65	58	54	42	40	27	14	50	31	A-2-7(0)	12.5	GRAVA CON ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR NEGRO
		292	35-70								100	86	49	43	38	18	A-6(2)	17.9	ARCILLA CON ARENA COLOR PLOMO
		293	70-150								100	95	84	81	41	18	A-7-6(11)	30.0	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA.

Estación Kms	Sondeo Nº	Muestra Nº	Profund cms	Desv. mts	% que pasa por Tamiz										L.L %	I.P %	Clasificación H.R.B	Humedad In Situ	Caracteristica del Material
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200					
10+100	85	294	0-25	L.C. 1.50 MTS B. DER	88	78	74	67	60	55	43	37	28	23	28	9	A-2-4(0)	8.5	GRAVA CON ARENA Y LIMO COLOR GRIS CLARO
		295	25-50								100	98	85	70	31	5	A-4(0)	18.6	LIMO Y ARENA COLOR PLOMO
		296	50-160								100	90	42	27	26	5	A-2-4(0)	28.8	ARENA CON LIMO COLOR GRIS OSCURO
10+220	86	297	0-30	L.C. 1.40 MTS B. IZQ.	88	78	74	67	60	55	43	37	28	23	28	9	A-2-4(0)	13.3	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS CLARO
		298	30-50		63	61	60			59	58	53	40	31	33	13	A-2-6(1)	18.1	GRAVA CON ARCILLA Y ARENA COLOR GRIS CLARO
10+340	87	299	0-60	L.C.	88	78	74	67	60	55	43	37	28	23	28	9	A-2-4(0)	8.5	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS CLARO
		300	60-170								100	97	80	61	36	11	A-6(1)	32.9	ARCILLA LIMOSA CON ARENA COLOR NEGRO
10+460	88	301	0-20	L.C. 2.20 MTS B. DER.	78	71	64	60	54	50	41	33	23	19	30	8	A-2-4(0)	11.1	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS CLARO
		302	20-35		79	69	61	54	49	45	34	29	23	19	34	14	A-2-6(1)	16.1	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA COLOR GRIS AMARILLENTO
		303	35-150								100	98	95	92	48	23	A-7-6(15)	26.7	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR NEGRO
10+580	89	304	0-75	L.C. 1.70 MTS B. IZQ.	78	71	64	60	54	50	41	33	23	19	30	8	A-2-4(0)	11.1	GRAVA CON ARENA Y ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS CLARO
		305	75-155								100	98	95	92	48	23	A-7-6(15)	26.7	ARCILLA DE PLASTICIDAD ALTA COLOR NEGRO

Fuente: MTI. Dirección General de Planificación, DGP. 2013.

ANEXO IV. Pruebas de CBR saturado en suelos de línea

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 3/4"

TAMIZ	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% QUE PASA	55	43	33	27	21	16

LIMITE LIQUIDO	34	INDICE DE PLASTICIDAD:		14
CLASIFICACION H.R.B	A-2-6(0)	EQUIVALENTE DE ARENA:		

TIPO DE PRUEBA EMPLEADA	ESTANDAR		
PESO VOLUM. SECO MAXIMO:	1,845		
HUMEDAD OPTIMA %	12.70%		

PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

METODO DE COMPACTACION EMPLEADO:	ASTM-D-1883		
% DE COMPACTACION	90%	95%	100%
PESO VOLUM. SECO REPRODUCIDO (KGS/M3)	1,660.00	1,756.00	1,845.00
C.B.R. SATURADO	16.55	28.03	40.53
HINCHAMIENTO (%)			
TIPO DE SATURACION (Horas)	96.00	96.00	96.00

OBSERVACIONES: MATERIAL:

Es procedente de los dondeos de línea, muestras unificadas
Clasificación A-2-6(0)
Material es grava con arena y arcilla.

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO			FECHA:	06-may-06		
TRAMO: EL CONGO - PUERTO CASTILLA		EFECTUADO POR:		J. DUARTE		
ENSAYE No.		CALCULO:		J. DUARTE		
MUESTRA No.						
COTEJO:	Es procedente de los dondeos de línea, muestras unificadas					
FUENTE DEL MATERIAL:	Clasificación A-2-4(0)					

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 3/4"

TAMIZ	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% QUE PASA	59	50	40	34	25	19

LIMITE LIQUIDO	28	INDICE DE PLASTICIDAD:		8
CLASIFICACION H.R.B	A-2-4(0)	EQUIVALENTE DE ARENA:		

TIPO DE PRUEBA EMPLEADA	ESTANDAR		
PESO VOLUM. SECO MAXIMO:	1,918		
HUMEDAD OPTIMA %	12.80%		

PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

METODO DE COMPACTACION EMPLEADO:	ASTM-D-1883		
% DE COMPACTACION	90%	95%	100%
PESO VOLUM. SECO REPRODUCIDO (KGS/M3)	1,726.00	1,826.00	1,918.00
C.B.R. SATURADO	20.60	33.77	47.96
HINCHAMIENTO (%)			
TIPO DE SATURACION (Horas)	96.00	96.00	96.00

OBSERVACIONES: MATERIAL:

Es procedente de los dondeos de línea, muestras unificadas
Clasificación A-2-4(0)
Material es grava con arena y limo con arcilla.

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 3/4"

TAMIZ	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% QUE PASA			100	97	90	85

LIMITE LIQUIDO	63	INDICE DE PLASTICIDAD:		28
CLASIFICACION H.R.B	A-7-6(18)	EQUIVALENTE DE ARENA:		

TIPO DE PRUEBA EMPLEADA	ESTANDAR		
PESO VOLUM. SECO MAXIMO:	1,282		
HUMEDAD OPTIMA %	36.00%		

PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

METODO DE COMPACTACION EMPLEADO:	ASTM-D-1883		
% DE COMPACTACION	90%	95%	100%
PESO VOLUM. SECO REPRODUCIDO (KGS/M3)	1,152.00	1,222.00	1,286.00
C.B.R. SATURADO	0.34	1.68	2.70
HINCHAMIENTO (%)			
TIPO DE SATURACION (Horas)	96.00	96.00	96.00

OBSERVACIONES: MATERIAL:

Es procedente de los dondeos de línea, muestras unificadas
Clasificación A-7-6(18)
Material de arcilla de plasticidad alta

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 3/4"

TAMIZ	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% QUE PASA	60	46	34	29	20	14

LIMITE LIQUIDO	27	INDICE DE PLASTICIDAD:		5
CLASIFICACION H.R.B	A-1-a(0)	EQUIVALENTE DE ARENA:		

TIPO DE PRUEBA EMPLEADA	ESTANDAR		
PESO VOLUM. SECO MAXIMO:	2,072		
HUMEDAD OPTIMA %	10.20%		

PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

METODO DE COMPACTACION EMPLEADO:	ASTM-D-1883		
% DE COMPACTACION	90%	95%	100%
PESO VOLUM. SECO REPRODUCIDO (KGS/M3)	1,877.00	1,974.00	2,078.00
C.B.R. SATURADO	32.42	44.58	57.99
HINCHAMIENTO (%)			
TIPO DE SATURACION (Horas)	96.00	96.00	96.00

OBSERVACIONES: MATERIAL:

Es procedente de los dondeos de línea, muestras unificadas
Clasificación A-1-a(0)
Material de grava con arena y limo

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 3/4"

TAMIZ	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% QUE PASA			100	89	75	66

LIMITE LIQUIDO	40	INDICE DE PLASTICIDAD:		16
CLASIFICACION H.R.B	A-6(10)	EQUIVALENTE DE ARENA:		

TIPO DE PRUEBA EMPLEADA	ESTANDAR		
PESO VOLUM. SECO MAXIMO:	1,388		
HUMEDAD OPTIMA %	27.00%		

PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

METODO DE COMPACTACION EMPLEADO:	ASTM-D-1883		
% DE COMPACTACION	90%	95%	100%
PESO VOLUM. SECO REPRODUCIDO (KGS/M3)	1,245.00	1,313.00	1,392.00
C.B.R. SATURADO	3.37	6.41	11.14
HINCHAMIENTO (%)			
TIPO DE SATURACION (Horas)	96.00	96.00	96.00

OBSERVACIONES: MATERIAL:

Es procedente de los dondeos de línea, muestras unificadas
Clasificación A-6(10)
Material de arcilla de plasticidad media a baja con arena

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 3/4"

TAMIZ	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% QUE PASA			100	96	81	83

LIMITE LIQUIDO	48	INDICE DE PLASTICIDAD:		10
CLASIFICACION H.R.B	A-5(9)	EQUIVALENTE DE ARENA:		

TIPO DE PRUEBA EMPLEADA	ESTANDAR		
PESO VOLUM. SECO MAXIMO:	1,378		
HUMEDAD OPTIMA %	24.00%		

PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

METODO DE COMPACTACION EMPLEADO:	ASTM-D-1883		
% DE COMPACTACION	90%	95%	100%
PESO VOLUM. SECO REPRODUCIDO (KGS/M3)	1,233.00	1,299.00	1,369.00
C.B.R. SATURADO	9.11	13.51	17.56
HINCHAMIENTO (%)			
TIPO DE SATURACION (Horas)	96.00	96.00	96.00

OBSERVACIONES: MATERIAL:

Es procedente de los dondeos de línea, muestras unificadas
Clasificación A-5(9)
Material de limo, arena con arcilla

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 3/4"

TAMIZ	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% QUE PASA			100	96	70	46

LIMITE LIQUIDO	27	INDICE DE PLASTICIDAD:		6
CLASIFICACION H.R.B	A-4(0)	EQUIVALENTE DE ARENA:		

TIPO DE PRUEBA EMPLEADA	ESTANDAR		
PESO VOLUM. SECO MAXIMO:	1,560		
HUMEDAD OPTIMA %	17.60%		

PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

METODO DE COMPACTACION EMPLEADO:	ASTM-D-1883		
% DE COMPACTACION	90%	95%	100%
PESO VOLUM. SECO REPRODUCIDO (KGS/M3)	1,408.00	1,489.00	1,567.00
C.B.R. SATURADO	14.52	20.26	27.02
HINCHAMIENTO (%)			
TIPO DE SATURACION (Horas)	96.00	96.00	96.00

OBSERVACIONES: MATERIAL:

Es procedente de los dondeos de línea, muestras unificadas
Clasificación A-4(0)
Material de limo con arena

Fuente: MTI. Dirección General de Planificación, DGP. 2013.

ANEXO V. Ensayos en bancos de materiales

PROYECTO:	**ESTUDIO Y DISEÑO EL CONGO - PUERTO CASTILLO**					
NOMBRE DEL BANCO:		**LA PEDRERA**	FECHA:	**09/05/2006**		
UBICACIÓN/LOCALIZACION:		7+080 A 300 mts comunidad Buena Vista				
N° DEL BANCO:	**1**	NOMBRE DEL PROPIETARIO:		Alfonso Zelaya		
ENSAYE No.			1	2	3	4
SONDEO No.			1	2	3	4
MUESTRA No.			1	2	3	4
ESTACION No.			5+640	5+640	5+640	5+640
DESVIACION No.			a 300 mts lado derecho			
PROFUNDIDAD			0.00-2.50	0.00-2.50	0.00-4.00	0.00-4.00
SONDEO						
GRANULOMETRIA						
% QUE PASA TAMIZ 2"						
3"			**100**	**100**	**100**	**100**
2"			**88**	**77**	**88**	**77**
1 1/2"			**86**	**70**	**86**	**70**
1"			**82**	**63**	**82**	**63**
3/4"			**80**	**59**	**80**	**59**
1/2"			**76**	**53**	**76**	**53**
3/8"			**68**	**48**	**68**	**48**
No. 4			**52**	**37**	**52**	**37**
No. 10			**39**	**25**	**39**	**25**
No. 40 (A)			**26**	**18**	**26**	**18**
No. 200 (B)			**19**	**14**	**19**	**14**
RELACION DE FINOS:(B)/(A)			**0.73**	**0.77**	**0.73**	**0.77**
LIMITES DE ATTERBERG						
LIMITE LIQUIDO			**34**	**38**	**38**	**38**
INDICE DE PLASTICIDAD			**7**	**10**	**10**	**10**
CLASIFICACION						
CLASIFICACION H.R.B			**A-2-4(0)**	**A-2-4(0)**	**A-2-4(0)**	**A-2-4(0)**
% C.B.R						
ENSAYES ADICIONALES						
P.V.S.S. Kg/m^3			**1,165**	**1,165**	**1,165**	**1,165**
P.V.S.C. Kg/m^3			**1,300**	**1,300**	**1,300**	**1,300**
P.V.S. Max. Kg/m^3			**1,552**	**1,552**	**1,552**	**1,552**
Humedad Optima %			**17.00**	**17.00**	**17.00**	**17**
Proctor Standard Modificado			**Estandar**	**Estandar**	**Estandar**	**Estandar**
Factor de Abundamiento			**1.33**	**1.33**	**1.33**	**1.33**
Humedad Natural						

PROYECTO:	**ESTUDIO Y DISEÑO EL CONGO - PUERTO CASTILLO**				
NOMBRE DEL BANCO:	**SANTA BARBARA**	FECHA:	**26/04/2006**		
UBICACIÓN/LOCALIZACION:	5+050 Empalme Los Playones o del bm no.16 a 1 kms hacia los playones y 100 mts lado izq.				
N° DEL BANCO:	**2**	NOMBRE DEL PROPIETARIO:	Salvador Vaca Zelaya		

ENSAYE No.		3	4	5	6
SONDEO No.		3	4	5	6
MUESTRA No.		3	4	5	6
ESTACION No.		3+800 emp. Los Playones o del bm 16 a 1 kms hacia los Playones			
DESVIACION No.		y 100 mts lado izq.			
PROFUNDIDAD		Corte lateral de 8 mts de altura			
SONDEO		02/03/2006	02/03/2006	02/03/2006	02/03/2006
GRANULOMETRIA					
% QUE PASA TAMIZ 2"					
3"		**90**		**90**	**84**
2"		**82**	**87**	**82**	**58**
1 1/2"		**75**	**44**	**72**	**47**
1"		**60**	**15**	**60**	**23**
3/4"		**51**	**9**	**51**	**14**
1/2"		**42**	**7**	**42**	**9**
3/8"		**34**	**6**	**34**	**7**
No. 4		**22**	**4**	**22**	**4**
No. 10		**19**		**19**	**3**
No. 40 (A)		**17**	**3**	**17**	**2**
No. 200 (B)		**15**	**2**	**15**	**2**
RELACION DE FINOS:(B)/(A)		**0.88**	**0.66**	**0.88**	**1.00**
LIMITES DE ATTERBERG					
LIMITE LIQUIDO		**43**	**46**	**43**	**39**
INDICE DE PLASTICIDAD		**17**	**18**	**17**	**16**
CLASIFICACION					
CLASIFICACION H.R.B		**A-2-7(0)**	**A-2-7(0)**	**A-2-7(0)**	**A-2-6(0)**
% C.B.R					
ENSAYES ADICIONALES					
P.V.S.S. Kg/m^3					
P.V.S.C. Kg/m^3					
P.V.S. Max. Kg/m^3					
Humedad Optima %					
Proctor Standard Modificado					
Factor de Abundamiento					
Humedad Natural					

PROYECTO:	**ESTUDIO Y DISEÑO EL CONGO - PUERTO CASTILLO**					
NOMBRE DEL BANCO:		**QUEBRADA HONDA**	FECHA:	**22/05/2006**		
UBICACIÓN/LOCALIZACION:		10+270 al final del proyecto 25 mts Cooperativa Slma Sea Foods				
N° DEL BANCO:	**3**	NOMBRE DEL PROPIETARIO:		Salvador Vaca Zelaya		
ENSAYE No.			3	4	5	6
SONDEO No.			3	4	5	6
MUESTRA No.			3	4	5	6
ESTACION No.			10+640 al final del proyecto			
DESVIACION No.			25 mts lado izq.			
PROFUNDIDAD			0.00-4.00	0.00-4.00	0.00-4.00	0.00-4.00
SONDEO			04/03/2006	04/03/2006	04/03/2006	04/03/2006
GRANULOMETRIA						
% QUE PASA TAMIZ 2"						
3"			**95**		**95**	**95**
2"			**77**	**96**	**77**	**77**
1 1/2"			**65**	**86**	**65**	**65**
1"			**54**	**75**	**54**	**54**
3/4"			**48**	**67**	**48**	**48**
1/2"			**42**	**58**	**42**	**42**
3/8"			**39**	**54**	**39**	**39**
No. 4			**32**	**41**	**32**	**32**
No. 10			**26**	**32**	**26**	**26**
No. 40 (A)			**19**	**19**	**19**	**19**
No. 200 (B)			**15**	**10**	**15**	**15**
RELACION DE FINOS:(B)/(A)			**0.78**	**0.52**	**0.78**	**0.78**
LIMITES DE ATTERBERG						
LIMITE LIQUIDO			**31**	**36**	**31**	**31**
INDICE DE PLASTICIDAD			**11**	**13**	**11**	**11**
CLASIFICACION						
CLASIFICACION H.R.B			**A-2-6(0)**	**A-2-6(0)**	**A-2-6(0)**	**A-2-6(0)**
% C.B.R				**52 AL 100%**		
ENSAYES ADICIONALES						
P.V.S.S. Kg/m^3				**1,521**		
P.V.S.C. Kg/m^3						
P.V.S. Max. Kg/m^3				**1,988**		
Humedad Optima %				**9.20**		
Proctor Standard Modificado				**Modificado**		
Factor de Abundamiento				**1.31**		
Humedad Natural						

RESULTADOS DE ENSAYES DE MATERIALES EN BANCOS DE PRESTAMO						
PROYECTO:	**ESTUDIO Y DISEÑO EL CONGO - PUERTO CASTILLO**					
NOMBRE DEL BANCO:		**LOS LIRIOS**	FECHA:	**23/04/2006**		
UBICACIÓN/LOCALIZACION:		10+080 al final del proyecto a 300 mts lado izquierdo con cooperativa Salma Sea foods.				
N° DEL BANCO:	**3-A**	NOMBRE DEL PROPIETARIO:				
ENSAYE No.			1	2		
SONDEO No.			1	2		
MUESTRA No.			1	2		
ESTACION No.			10+640 al final del proyecto a 300 mts lado derecho			
DESVIACION No.			contiguo al estero			
PROFUNDIDAD			0.00-4.00	0.00-4.00		
SONDEO			03/03/2006	03/03/2006		
GRANULOMETRIA						
% QUE PASA TAMIZ 2"						
3"						
2"			**82**	**82**		
1 1/2"			**62**	**62**		
1"			**49**	**49**		
3/4"			**42**	**42**		
1/2"			**35**	**35**		
3/8"			**32**	**32**		
No. 4			**21**	**21**		
No. 10			**16**	**16**		
No. 40 (A)			**9**	**9**		
No. 200 (B)			**3**	**3**		
RELACION DE FINOS:(B)/(A)			**0.33**	**0.33**		
LIMITES DE ATTERBERG						
LIMITE LIQUIDO			**41**	**41**		
INDICE DE PLASTICIDAD			**14**	**14**		
CLASIFICACION						
CLASIFICACION H.R.B			**A-2-7(0)**	**A-2-7(0)**		
% C.B.R			**53 al 100%**	**53 al 100%**		
ENSAYES ADICIONALES						
P.V.S.S. Kg/m^3			**1,450**	**1,450**		
P.V.S.C. Kg/m^3						
P.V.S. Max. Kg/m^3			**1,912**	**1,912**		
Humedad Optima %			**8.60**	**8.60**		
Proctor Standard Modificado			**Modificado**	**Modificado**		
Factor de Abundamiento			**1.32**	**1.32**		
Humedad Natural						

Fuente: MTI. Dirección General de Planificación, DGP. 2013.

ANEXO VI. Pruebas de CBR saturado en bancos de materiales

PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO			**FECHA:**	**02-may-06**		
TRAMO: EL CONGO - PUERTO CASTILLA		**EFECTUADO POR:**		**J. DUARTE**		
ENSAYE No.		**CALCULO:**		**J. DUARTE**		
MUESTRA No.1,2,3 y 4						
COTEJO:	**Es procedente del Banco No.1 La Pedrera**					
FUENTE DEL MATERIAL:	**Clasificación A-2-4(0)**					

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 3/4"

TAMIZ	**3/4"**	**3/8"**	**No. 4**	**No. 10**	**No. 40**	**No. 200**
% QUE PASA	80	68	52	39	26	19

LIMITE LIQUIDO	34	**INDICE DE PLASTICIDAD:**		7
CLASIFICACION H.R.B	**A-2-4(0)**	**EQUIVALENTE DE ARENA:**		

TIPO DE PRUEBA EMPLEADA	**ESTANDAR**		
PESO VOLUM. SECO MAXIMO:	1,552		
HUMEDAD OPTIMA %	17.00%		

PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

METODO DE COMPACTACION EMPLEADO:	ASTM-D-1883		
% DE COMPACTACION	**90%**	**95%**	**100%**
PESO VOLUM. SECO REPRODUCIDO (KGS/M3)	**1,401.00**	**1,480.00**	**1,561.00**
C.B.R. SATURADO	**20.94**	**36.14**	**53.60**
HINCHAMIENTO (%)			
TIPO DE SATURACION (Horas)	96.00	96.00	96.00

OBSERVACIONES: MATERIAL:

Es procedente del Banco No.1 La Pedrera
Clasificación A-2-4(0)
Las muestras 1,2, 3 y 4 son procedente del banco de materiales Nº1
Material grava con arena y arcilla limosa color café claro.

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 3/4"

TAMIZ	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% QUE PASA	9	6	4		3	2

LIMITE LIQUIDO	46	INDICE DE PLASTICIDAD:		18
CLASIFICACION H.R.B	A-2-7(0)	EQUIVALENTE DE ARENA:		

TIPO DE PRUEBA EMPLEADA	MODIFICADO		
PESO VOLUM. SECO MAXIMO:	2,042		
HUMEDAD OPTIMA %			

PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

METODO DE COMPACTACION EMPLEADO:	ASTM-D-1883		
% DE COMPACTACION	90%	95%	100%
PESO VOLUM. SECO REPRODUCIDO (KGS/M3)	1,823.00	1,925.00	2,029.00
C.B.R. SATURADO	14.06	23.43	33.16
HINCHAMIENTO (%)			
TIPO DE SATURACION (Horas)	96.00	96.00	96.00

OBSERVACIONES: MATERIAL:

Es procedente del Banco No.2 Santa Barbara
Clasificación A-2-7(0)
Es procedente del Banco No.2 Santa Barbara
Material es grava gruesa con poco fino con arcilla de plasticidad media color café claro (cascajo fracturado).

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 3/4"

TAMIZ	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% QUE PASA	67	54	41	32	19	10

LIMITE LIQUIDO	36	INDICE DE PLASTICIDAD:		13
CLASIFICACION H.R.B	A-2-6(0)	EQUIVALENTE DE ARENA:		

TIPO DE PRUEBA EMPLEADA	MODIFICADO		
PESO VOLUM. SECO MAXIMO:	1,988		
HUMEDAD OPTIMA %	9.20%		

PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

METODO DE COMPACTACION EMPLEADO:	ASTM-D-1883		
% DE COMPACTACION	90%	95%	100%
PESO VOLUM. SECO REPRODUCIDO (KGS/M3)	1,781.00	1,876.00	1,978.00
C.B.R. SATURADO	16.73	29.47	48.86
HINCHAMIENTO (%)			
TIPO DE SATURACION (Horas)	96.00	96.00	96.00

OBSERVACIONES: MATERIAL:

Es procedente del Banco No.3 Quebrada Honda

Clasificación A-2-6(0)

Las muestras 1,2 son procedente del banco de materiales Nº3

Material grava gruesa a fina con arena y arcilla de plasticidad baja color gris claro.

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 3/4"

TAMIZ	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% QUE PASA	42	32	21	16	9	3

LIMITE LIQUIDO	41	INDICE DE PLASTICIDAD:		14
CLASIFICACION H.R.B	A-2-7(0)	EQUIVALENTE DE ARENA:		

TIPO DE PRUEBA EMPLEADA	MODIFICADO		
PESO VOLUM. SECO MAXIMO:	1,912		
HUMEDAD OPTIMA %	8.60%		

PRUEBAS DE C.B.R. SATURADO

METODO DE COMPACTACION EMPLEADO:	ASTM-D-1883		
% DE COMPACTACION	90%	95%	100%
PESO VOLUM. SECO REPRODUCIDO (KGS/M3)			
C.B.R. SATURADO	17.40	34.13	50.23
HINCHAMIENTO (%)			
TIPO DE SATURACION (Horas)	96.00	96.00	96.00

OBSERVACIONES: MATERIAL:

Es procedente del Banco No.3-A Los Lirios
Clasificación A-2-7(0)
Material es grava gruesa a fina de plasticidad media a baja con arena color gris claro.

Fuente: MTI. Dirección General de Planificación, DGP. 2013.

ANEXO VII. Características de los bancos de materiales

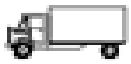
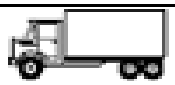
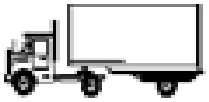
Nº DEL BANCO	NOMBRE DEL BANCO	NOMNBRE DEL DUEÑO DEL BANCO	UBICACIÓN DEL BANCO	CARACTERISTICAS (DEL MATERIAL) DEL BANCO	USO PRELIMINAR	VOLUMEN M³ APROXIMADO	TOTAL SONDEOS
1	LA PEDRERA	CARLOS AGUILERA	ESTACIÒN 7+080	GRAVA GRUESA A FINA CON ARENA LIMO (CASCAJO FRACTURADO) COLOR GRIS	PARA BASE	70,000.00 M³	6
2	SANTA BARBARA	MELBA RAMIREZ	ESTACIÒN 5+050	LIMO CON GRAVA SUAVE Y ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA COLOR AMARILLENTO	PARA TERRACERÍA	45,000.00 M³	6
3	QUEBRADA HONDA	PABLO CORTEZ	ESTACIÒN 10+270 .	GRAVA FINA A GRUESA CON LIMO Y ARENA COLOR GRIS (CASCAJO FRACTURADO)	PARA SUB-BASE Y TERRACERÍA	40,000.00 M³	6
3-A	LOS LIRIOS	EDUARDO PANIAGUA	ESTACIÒN10+080	GRAVA CON ARCILLA LIMOSA COLOR GRIS CLARO	PARA SUB-BASE Y BASE	35,000.00 M³	6
Nota:							
* LOS ACCESOS DE LOS BANCOS ESTAN EN REGULAR ESTADO, SOLO HAY QUE DARLES MANTENIMIENTOS Y YA HAN ESTADO EN EXPLOTACIÓN TODOS LOS BANCOS.							
* LOS SONDEOS REALIZADOS EN CADA SITIO DE BANCO CORRESPONDE A LA MUESTRA OBTENIDAS EN CADA BANCO.							

Fuente: MTI. Dirección General de Planificación, DGP. 2013.

ANEXO VIII. Diagrama de cargas permisibles autorizado por el MTI.

DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES APLICADOS EN LOS PUNTOS DE CONTROL

PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	Peso Maximo Total (T) Ton - Met.
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

NOTA: El peso maximo permisible sera el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.
a: Eje sencillo llanta sencilla
b: Eje sencillo llanta doble

Fuente: Dirección General de Vialidad, MTI.

ANEXO IX. Factores equivalentes de carga

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 2.0

Carga p/eje (kips)2	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	0.03	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	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5

44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

Fuente: AASHTO Guía para el diseño de estructuras de pavimento 1993, en su anexo D

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, 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	0.002
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	0.252	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: AASHTO Guía para el diseño de estructuras de pavimento 1993, en su anexo D

ANEXO X. Valores de desviación normal estándar (Zr)

Valores de Desviación Normal Estándar (ZR) Correspondientes al Nivel Seleccionado de Confiabilidad	
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.075

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993

ANEXO XI. Especificaciones del NIC-2000 para pavimento de adoquines de concreto.

SECCIÓN 502.- **PAVIMENTO DE ADOQUINES DE CONCRETO**

Descripción

502.01 Este trabajo consistirá en el suministro y colocación de adoquines de concreto sobre una superficie preparada de acuerdo con estas especificaciones y de conformidad razonable con las líneas, rasantes y secciones transversales mostradas en los planos u ordenadas por el Ingeniero.

Materiales

502.02 Los materiales a usar en el adoquinado deberán llenar los siguientes requisitos:

a. Adoquines de Concreto.- El adoquín a usarse, incluyendo las “cuchillas”, será el denominado TIPO TRAFICO, cuya resistencia característica a los 28 días no deberá ser menor que los siguientes valores:

Tipo 1 para Tráfico Pesado: 49.0 MPa (7000psi)
Tipo 2 para Tráfico Liviano: 34.3 MPa (5000psi)

El adoquín no deberá presentar en su superficie fisuras ni cascaduras ni cavidades, ni tener materiales extraños tales como piedras, trozos de madera o vidrio, embebidos en su masa. Las aristas deberán ser regulares y la superficie no deberá ser extremadamente rugosa. El tamaño de los adoquines deberá ser uniforme para evitar irregularidades o juntas muy anchas al ser colocados. El tamaño máximo del agregado a usar en el concreto es de 19 milímetros.

c. Capa de Arena.- La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular y uniforme y no deberá contener más del 3% (en peso)

de limo, arcilla o de ambos. Su graduación será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz No. 10. El espesor de esta capa no deberá ser menor de 3 cm ni mayor de 5 centímetros.

d. Remate del Pavimento.- Las áreas adoquinadas deberán quedar confinadas en todos sus bordes y a los intervalos mostrados en los planos. Al comienzo y al final del adoquinamiento deberán construirse remates de concreto simple, Clase A, de las dimensiones mostradas en los planos. Los materiales y métodos de construcción de estos remates se ajustarán a lo establecido en la Sección-901 de estas especificaciones.

Requisitos para la Construcción

502.03

.

(b) Capa de Apoyo.- El adoquinado se apoyará en una capa de terracería mejorada, subbase o base del espesor indicado en los planos.

La construcción de la capa requerida en los planos, ya sea de Préstamo Seleccionado, subbase o base, será hecha de acuerdo con lo estipulado en Sección-203, Sección-208, Sección-302, Sección-303, Sección-304, Sección-305, Sección-306, Sección-307 ó Sección-308 de estas especificaciones, según corresponda.

El perfil de la superficie de apoyo del adoquinado deberá ser igual al requerido para la superficie final del pavimento, con una tolerancia de 20 mm. del nivel de diseño.

(c) Lecho de Arena.- Sobre la superficie de apoyo se colocará una capa suelta de arena que servirá de lecho a los adoquines. El espesor requerido de arena suelta que se colocará dependerá de su contenido de humedad, graduación y grado de compactación. Dado que la arena no es vibrada sino hasta que los adoquines han sido colocados, el espesor suelto correspondiente al espesor compacto requerido

de 3 a 5 cm es determinado por tanteos al comenzar los trabajos. Se deberán hacer frecuentes comprobaciones del nivel de la superficie del adoquinado para asegurarse de que el espesor que se está colocando de arena sin compactar es el correcto.

Una vez que la arena se ha depositado y esparcido sobre la superficie de apoyo, se emparejará y alisará por medio de reglas de enrasamiento (codales). En calles o caminos de 5 m o menos de ancho se podrán usar las cunetas o bordillos laterales como guías para el enrasamiento de la superficie de la capa de arena; en pavimentos más anchos será necesario colocar rieles “provisionales para apoyar los codales de enrasamiento.

Durante el esparcido y enrasamiento de la capa de arena, no será permitido que nadie se apoye, ponga de pie o camine sobre la arena, pues de hacerlo se producirá una pre-compactación dispareja lo que causará irregularidades en la superficie final del pavimento. Para minimizar los riesgos de alteración, se deberá evitar el enrasamiento de la arena en grandes distancias adelante de la brigada de colocación de adoquines.

Asimismo, antes de iniciar el trabajo de enrasamiento, el Contratista deberá remover de la arena todos los pedruzcos, raíces, pedazos de madera, ripios, lodo, etc. que contenga la arena.

(d) Adoquinamiento.- El adoquinado comprende cuatro etapas:
l) La colocación de los adoquines sobre la superficie preparada, 2) el recorte de los adoquines en los bordes de la vía, 3) la vibración de toda el área adoquinada y 4) rellenado con arena.

1) Colocación de los Adoquines.- Las primeras filas de adoquines deberán ser colocadas con mucho cuidado para evitar el desalojo de los bloques que ya están colocados. Una vez que se han colocado las primeras filas, se asentarán las demás

firmemente dejando ranuras de 3 a 5 mm, entre adoquines. A estas alturas no se deberá intentar el recorte de los adoquines para ajustarlos a los bordes. El adoquinador deberá trabajar a partir de la capa de adoquines previamente colocada y evitará la alteración de la arena enrasada y la última fila de bloques colocados, comprobando frecuentemente que los bloques están bien asentados y acomodados y, si es necesario, acomodándolos a golpes de un mazo de hule o madera. Si hay áreas en que hayan quedado ranuras muy abiertas se les removerá y volverá a colocar.

2) Recorte de los Adoquines.- Aquellas formas irregulares que queden en los bordes serán rellenadas con cuñas o pedazos de adoquín cortados con un cortador de adoquines o aserrados. Se evitará colocar piezas muy pequeñas o delgadas, pues con frecuencia se hacen pedazos con la vibración. El recorte de los adoquines para ajustar el pavimento a los bordes, no se hará sino hasta haber colocado adoquines en un área considerable.

En las parrillas de tragantes, en pozos de visita y tapas de inspección se procederá de una manera similar hacia los bordes, teniendo cuidado de que los bloques, al ser compactados, queden ligeramente más arriba del nivel de entrada al dren.

3) Vibración.- Una vez que los bordes del adoquinado hayan sido completados a lo largo de la calle o camino, se vibrará la superficie por medio de una plancha o rodillo vibratorio. El número de pases requerido dependerá de una variedad de factores y será determinado por medio de tanteos en el sitio, tratando de obtener una superficie que sea transitable con suavidad y que no sea posteriormente compactada por los vehículos.

Generalmente, bastan dos o tres pasadas. No se aplicará vibración a áreas que queden dentro de un metro de adoquines no confinados; por otra parte, no se deberán dejar áreas sin vibrar de un día para otro.

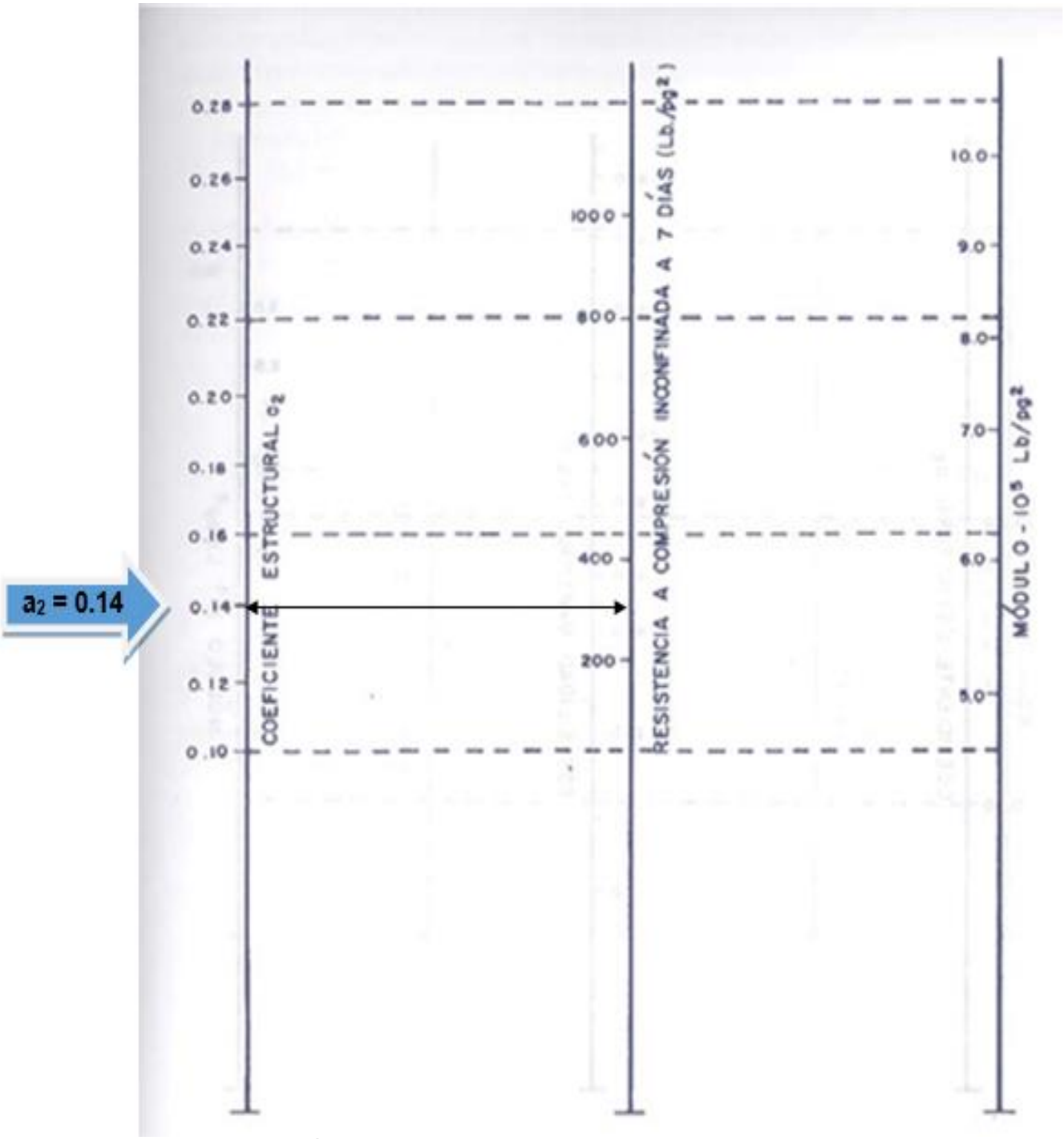
4) Rellenado con Arena.- Finalmente, se rellenarán las ranuras o juntas entre adoquines con arena, la que será aplicada con escoba o cepillo y, luego, se pasará el vibrador dos o tres veces hasta completar la trabazón entre los bloques.

Tan pronto como se haya completado la vibración, se podrá abrir el camino o calle al tráfico.

Las ranuras que queden entre los bordillos o cunetas laterales o entre los remates o travesaños de concreto y los adoquines serán rellenadas con mortero de arena y cemento Portland en proporción de 4:1.

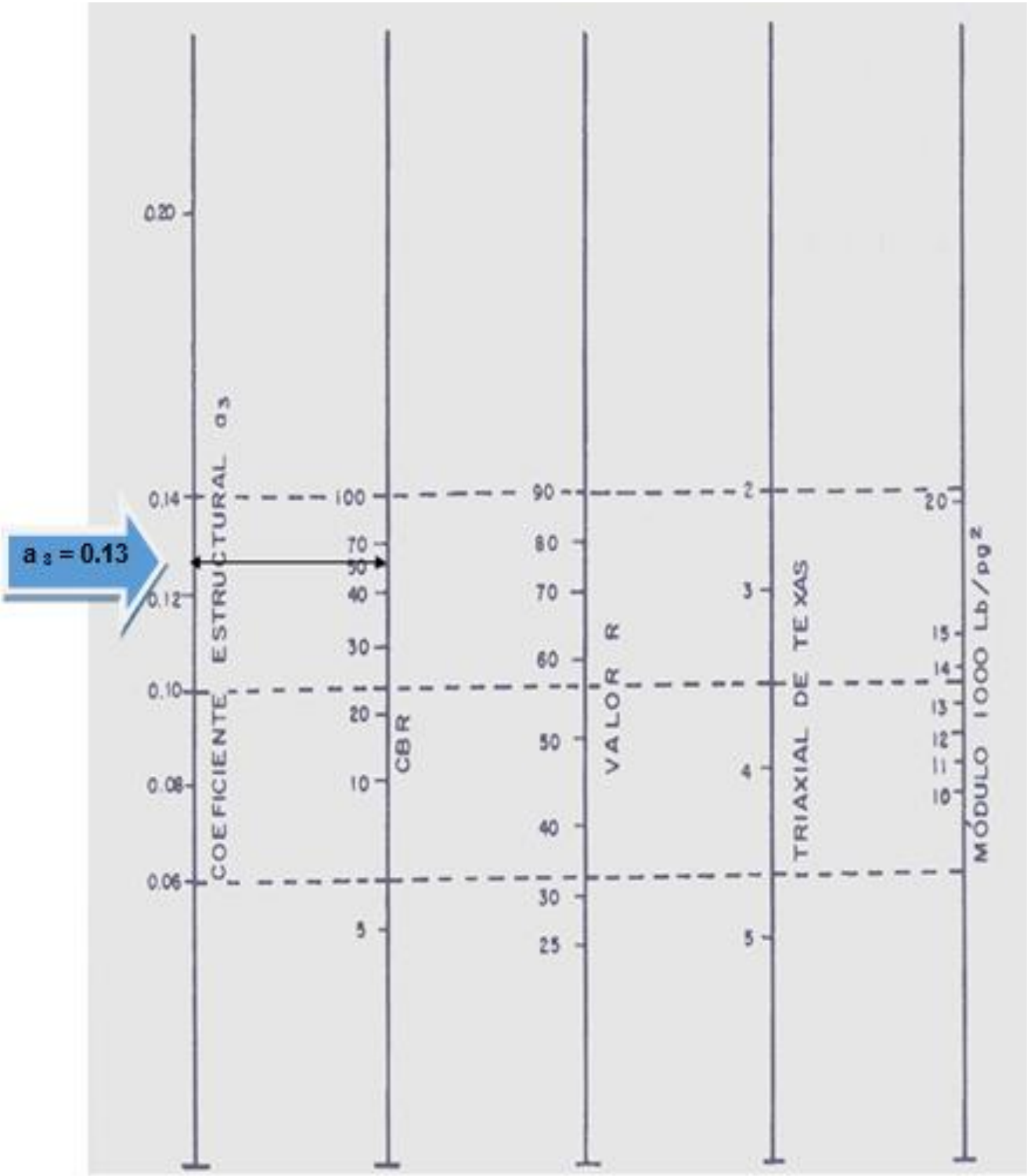
Fuente: NIC-2000, Subdivisión 1000, Sección 1003

ANEXO XII. Figura para determinar el coeficiente estructural de la capa base



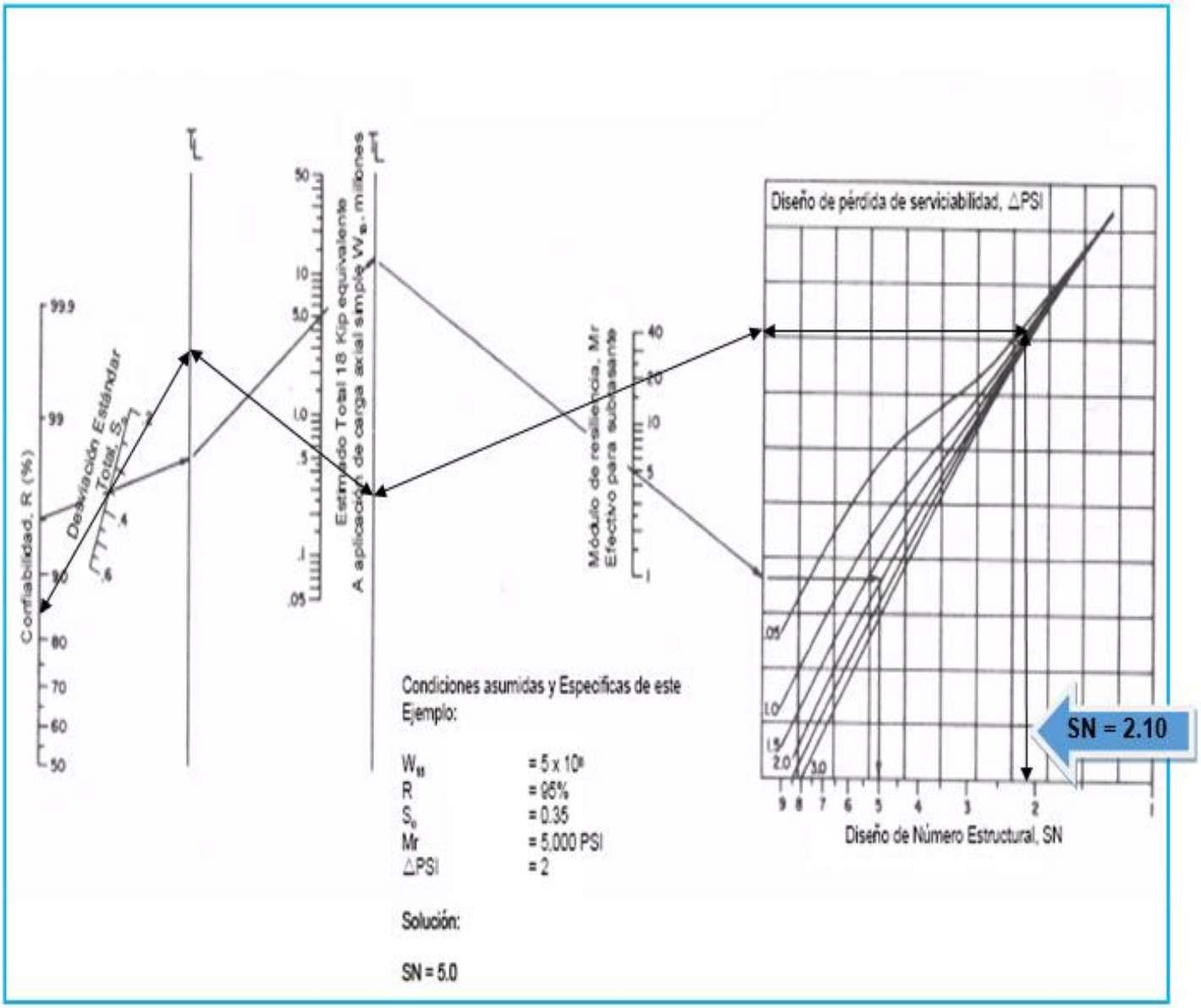
Fuente: AASHTO Guía para el diseño de estructuras de pavimento 1993

ANEXO XIII. Figura para determinar el coeficiente estructural de la capa sub-base



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

ANEXO XIV. Nomograma de pavimento flexible



Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993.

ANEXO XV. Elementos del diseño geométrico de las carreras regionales

No.	DESCRIPCION	AUTOPISTAS REGIONALES	TRONCALES		COLECTORAS	
			Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales
1	TPDA, vehículos promedio diario	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500
2	VHD, vehículos por hora	>2,000	2,000-1,000	1,500-450	300-50	450-75
3	Factor de Hora Pico, FHP	0.92	0.92	0.95-0.91	0.92	0.85
4	Vehículo de Diseño	WB-20	WB-20	WB-20	WB-15	WB15
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M
6	Velocidad de Diseño o Directriz, km/hora	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50
7	Número de Carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2
8	Ancho de Carril, metros	3.6	3.6	3.6	3.3-3.6	3.3
9	Ancho de Hombros/Espaldones, metros	Int: 1.0 - 1.5 Ext:1.8 - 2.5	Int: 1.0 - 1.5 Ext. 1.8 - 2.5	Int: 0.5 - 1.0 Ext: 1.2 - 1.8	Ext: 1.2 - 1.5	Ext: 1.2 - 1.5
10	Tipo de Superficie de Rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.-Grava
11	Dist.de Visibilidad de Parada, metros	110-245	110-170	85-140	65-110	65-110
12	Dist. de Visib. Adelantamiento, metros	480-670	480-600	410-540	350-480	350-480
13	Radio Mín. de Curva, Peralte 6%, metros	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195
14	Máximo Grado de Curva	5º53´ - 2º03´	5º53´ - 3º25´	8º29´ - 4º35´	12º44´-5º53´	12º44´-5º53´
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8	10	10
16	Sobreelevación, porcentaje	10	10	10	10	10
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5-3	1.5-3	1.5-3	1.5-3
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable	7.8-8.7	7.8-8.1
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44	HS20-44
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90	40-50	40-50	20-30	20-30
22	Ancho de Mediana, metros	4-12	4-10	2-6	-	-
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C	C-D	C-D	C-D	C-D
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total	Control Parcial	Sin Control	Sin Control	Sin Control
25	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR

Fuente: Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, SIECA, 2004. pag.13.

Notas: Pav: Pavimento asfáltico o de cemento portland.
P: Plano O: Ondulado M: Montañoso
AR: Autopista Regional, S: Troncal Suburbana, TR: Troncal Rural, CS: Colectora Suburbana, CR: Colectora Rural

ANEXO XVI. Fotografías del tramo de carretera El Congo – Puerto Castilla (10.3 Km)

Inicio del proyecto tramo de carretera (Estación 0+000)

Fin del proyecto tramo de carretera (Estación 10+300)

La presente ilustración muestra la presencia de suelos aptos para conformar la estructura del pavimento

Obsérvese el Mantenimiento que realiza el MTI a fin de garantizar la transitabilidad del camino

Panorámica del pésimo estado en que se encuentran ciertos sub-tramos del camino debido a la presencia de suelos arcillosos

Las presentes fotografías muestran algunas estructuras de drenaje existentes en el camino

Fuente: MTI. Dirección General de Planificación, DGP. 2013.