



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

TESINA

**“DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEMIFLEXIBLE DE 1.4 KM
DE LONGITUD EN EL TRAMO CARRETERO ESTELI –MIRAFLOR, POR EL
METODO DE LA AASHTO 93”**

PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL.

SUSTENTANTES

Br. Darwing Castillo Leiva.

Br. Harvin Castillo Leiva.

TUTOR

MSc. Ing. Jimmy Sierra Mercado.

Managua, Julio 2015

Managua, 9 de Julio del 2015

Doctor

ING. OSCAR ISAAC GUTIÉRREZ SOMARRIBA

Decano

Facultad de Tecnología de la Construcción - UNI

Sus Manos

Estimado Decano:

Por este medio tengo a bien informarle que la tesina que lleva por nombre: **“DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEMIFLEXIBLE DE 1.4 KM DE LONGITUD EN EL TRAMO CARRETERO ESTELI – MIRAFLORES, POR EL METODO DE LA AASHTO 93”** está lista para entrar en el proceso de defensa, la cual fue realizada por los Bachilleres: Harvin Castillo Leiva y Darwing Castillo Leiva, bajo mi tutoría.

Adjunto documento final de dicha tesina, para sus respectivas observaciones.

Sin más a que hacer referencia, le saludo.

Atentamente:

Ing. Jimmy Sierra Mercado.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.182
Managua, abril 09 del 2015.

Bachilleres
HARVIN CASTILLO LEIVA
DARWING CASTILLO LEIVA
Presente

Estimadas Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema de Tesina titulado DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEMIFLEXIBLE DE 1.4 KM DE LONGITUD EN EL TRAMO CARRETERO ESTELI – MIRAFLOR, POR EL METODO DE LA AASHTO 93", ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, de que el Ing. JIMMY SIERRA MERCADO, sea el tutor de su trabajo final.

La fecha limite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 10 de julio del 2015.

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

Atentamente,



Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriva
Decano

CC: Protocolo
Tutor
Archivo*Consecutivo
DIOGS*mary



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE COORDINACION DE FORMAS DE
CULMINACION DE ESTUDIOS

HOJA DE CONCLUSIÓN DE TESINA

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES: 1) Darwing Castillo Leiva. 2) Harvin Castillo Leiva.
NOMBRE DEL CURSO: Obras Viales
NOMBRE DE LA TESINA: “DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEMIFLEXIBLE DE 1.4 KM DE LONGITUD EN EL TRAMO CARRETERO ESTELI – MIRAFLOR, POR EL METODO DE LA AASHTO 93”
ESPECIFIQUE AL MENOS DOS AREAS DE CONOCIMIENTO QUE ABORDARAN EN LA TESINA: 1) Estudio de Tráfico 2) Estudio de Suelo 3) Diseño Pavimento
FECHA DE DEFENSA:
VALORACION DEL TUTOR SOBRE LA TESINA:
JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA: 1) 2) 3)
FIRMA COORDINADOR: _____

FIRMA DEL TUTOR.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado:

A Dios, por habernos ayudado a culminar una etapa más en nuestras vidas; iluminar nuestros pasos y brindarnos la sabiduría y fortaleza para salir adelante.

A mis padres, porque siempre nos acompañaron a través de los años por este caminar y darnos su apoyo incondicional sin importar las dificultades; ellos han sido el más claro ejemplo de lucha y superación.

A nuestros familiares, por sus palabras de ánimo y tener fe en nosotros.

Y a todos los amigos y compañeros que han vivido con nosotros esta experiencia.

Br. Darwing Castillo Leiva

Br. Harvin Castillo Leiva

AGRADECIMIENTO

Primeramente le damos gracias a Dios por habernos permitido alcanzar nuestro objetivo con esfuerzo y dedicación; por ser el motor de nuestras vidas dándonos las fuerzas necesarias para seguir adelante día a día, además de su infinita bondad, sabiduría y amor.

A nuestros padres, por habernos apoyado en todo momento sin importar las dificultades y problemas, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que nos han permitido ser personas de bien, siendo nuestros más grandes ejemplos de perseverancia.

Al tutor Ing. Jimmy Sierra Mercado, por su apoyo incondicional en la realización de este trabajo, por los conocimientos transferidos y el tiempo brindado para la culminación del mismo.

A docentes y demás personas involucradas por su colaboración y aporte intelectual en cada etapa del trabajo contribuyendo así al logro de nuestros objetivos.

Br. Darwing Castillo Leiva

Br. Harvin Castillo Leiva

RESUMEN EJECUTIVO

En el siguiente documento se realizó el diseño de la estructura de pavimento semiflexible de 1.4 km, en el tramo carretero Estelí-Miraflor por el método de la AASHTO 93.

Estructura del contenido:

- I. Estudio de Tráfico
- II. Estudio Geotécnico
- III. Diseño Estructural de Pavimento.

Estudio de Tráfico

Se basa en la situación actual del tráfico sobre el tramo de carretera y su respectiva proyección, tomando como parámetro los volúmenes de tránsito obtenidos mediante aforos en el sitio de estudio.

Se realizó un aforo vehicular sobre la vía por 12 horas (6:00 am a 6:00 pm) durante 7 días, desde el día lunes 4 de mayo hasta el día domingo 10 de mayo del presente año; del cual se obtuvo el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 721 vehículos. A demás, se estimó una tasa de crecimiento del 4.02%, tomando en cuenta los datos históricos del TPDA de la estación Permanente 107 Sébaco-San Isidro, se realizaron las correlaciones del TPDA-PIB y del TPDA-Población. Se obtuvo el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL's) o $W_{18} = 1,710,012$.

Estudio Geotécnico

Se realizó 14 sondeos manuales sobre la carretera a diseñar, con el objetivo de identificar las propiedades y clasificación de los diferentes estratos existentes hasta una profundidad de 1.50 m.

El material predominante en la subrasante, se clasifica como grava y arena arcillosa o limosa, de color café claro, o A-2-6, con una plasticidad media, luego de haber aplicado el criterio del instituto de asfalto se identificó un CBR de diseño para la subrasante de 20%.

Para llevar a cabo el diseño estructural de la Base, se analizó el material de tres bancos de préstamo, obteniendo como resultado que el más óptimo técnicamente es El Banco "Las Viejitas", ya que posee un material que cumple con las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes, NIC-2000, por lo que puede ser utilizado como base granular en la estructura de pavimento, con un CBR para la base de 80%.

Diseño de la Estructura de Pavimento

Se diseñó una alternativa de pavimento semiflexible aplicando la metodología AASHTO 93. Después de conocer las propiedades del suelo y realizar las proyecciones del tráfico se procedió a calcular los espesores del paquete estructural utilizando los nomogramas para el cálculo de a_2 y el MR para base granular, así también el número estructural de diseño SN requerido para la subrasante y luego se verificó en el software WinPAS, para la comprobación del Diseño.

Los principales parámetros para determinar los espesores fueron:

- ✓ Grado de Confiabilidad..... $R = 85\%$
- ✓ Desviación Estándar..... $S_o = 0.45$
- ✓ Capacidad de Servicio Inicial..... $P_o = 4.2$
- ✓ Capacidad de Servicio Final..... $P_t = 2.0$
- ✓ Número de Ejes Equivalentes..... $ESAL's \text{ o } W_{18} = 1,710,012$
- ✓ C.B.R de Diseño.....Sub Rasante = 20%

Se obtienen los espesores de las capas del pavimento, dando como resultado una estructura con una capa de rodadura de 4 pulgadas (espesor estándar del adoquín de concreto), un colchón de arena de 2 pulgadas y una base granular de 8 pulgadas (20 cm).

INDICE DE CONTENIDO

ITEM.....	PAG.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	2
3. JUSTIFICACIÓN.....	3
4. OBJETIVOS.....	4
CAPÍTULO I. ESTUDIO DE TRÁNSITO	
II.1 Generalidades.....	6
II.2 Procedimiento de Campo.....	6
II.3 Resultados del conteo Vehicular.....	7
II.3.1 Conteo y Clasificación Vehicular.....	7
II.3.2 Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).....	8
II.4 Tasas de Crecimiento.....	11
II.4.1 Correlaciones Estación 107.....	13
II.5 Tráfico de Diseño.....	22
II.5.1 Período de Diseño (PD).....	23
II.5.2 Factor de Crecimiento (F_C).....	24
II.5.3 Factor Distribución por Dirección (F_D).....	24
II.5.4 Factor Distribución Por Carril (f_C).....	25
II.5.5 Índice de Serviciabilidad Inicial (P_0).....	26
II.5.6 Índice de Serviciabilidad Final (P_t).....	27
II.5.7 Pérdida de Serviciabilidad (Δ PSI).....	27
II.5.8 Número Estructural Asumido (SN).....	27
II.5.9 Factor de Equivalencia (FESAL).....	28
II.5.10 Ejes Equivalentes (ESAL o W18).....	28

CAPÍTULO II. ESTUDIO GEOTÉCNICO

I.1 Generalidades.....	31
I.2 Ensayos de Suelos de Línea.....	31
I.2.1 Resultado de Ensayos sobre la Línea.....	32
I.3 Ensayos de Bancos.....	33
I.3.1 Análisis de Bancos de Préstamos.....	35
I.4 Cálculo del CBR de Diseño.....	37

CAPÍTULO III. DISEÑO DE PAVIMENTO

III.1 Generalidades.....	42
III.2 Consideraciones del Diseño AASHTO 93.....	43
III.2.1 Confiabilidad (R).....	43
III.2.2 Desviación Estándar (So).....	43
III.2.3 Coeficiente de Drenaje (m).....	44
III.2.4 CBR de Diseño.....	45
III.2.5 Módulo de Resilencia (MR).....	45
III.2.6 Coeficientes Estructurales.....	46
III.3 Verificación de resultados con el Programa WinPAS.....	50

CONCLUSIONES.....	53
--------------------------	-----------

RECOMENDACIONES.....	54
-----------------------------	-----------

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	55
--	-----------

1. INTRODUCCIÓN

Las carreteras son una pieza clave en el desarrollo económico y social en el territorio de nuestro país. Un pavimento debe ser diseñado de tal manera que las cargas impuestas por el tránsito no generen deformaciones permanentes excesivas y así brindar mayor seguridad y comodidad a los usuarios.

El presente documento contiene el diseño de una estructura de pavimento semiflexible de 1.4 km de longitud en el tramo de carretera Estelí-Miraflor localizado en el departamento de Estelí. Este camino se desarrolla mayoritariamente con rumbo noreste sobre un terreno pedregoso y semi montañoso que servirá de vía turística y para el desarrollo de la Región.

Para llevar a cabo este diseño, se aplicó el método AASHTO 93, este considera las cargas a las que está expuesta la estructura de pavimento debido al tráfico que pasa por ella, tomando en cuenta la capacidad de soporte de los materiales de los diferentes estratos que la componen. Cabe señalar que el diseño deberá cumplir con los criterios y especificaciones de la NIC-2000, el cual aporta a construir mejores y más durables superficies de rodadura de las carreteras.

2. ANTECEDENTES

La comunidad de Mirafior es una de las más productivas del municipio de Estelí, está habitada principalmente por finqueros que cultivan papas, repollo, tomate, legumbres, granos básicos y abundan las lecherías, crían ganado y ayudan a las comunidades a generar productos ecológicos siendo el café uno de los más importantes, por lo que la carretera es indispensable para sacar esos alimentos que abastecen el mercado local y nacional.

En esta zona productiva se estima que salen 5 mil quintales de café y diez mil litros de leche aproximadamente (en invierno), granos básicos como el frijol y hortalizas hacia los mercados locales y nacionales y es por ello que el trayecto de vía ha recibido reparaciones para que la cosecha no se vea afectada.

A lo largo de la carretera Estelí-Mirafior encontraremos fábricas como PROCENICSA, A J FERNANDEZ, TAMBOR entre otras, cuya actividad principal es el manejo, fermentación, escogida y despallido de los mejores tabacos en rama para la producción de puros.

Mirafior además de ser una zona protegida desde 1996, y categorizada Modelo Piloto en septiembre de 1999, es uno de los principales destinos turísticos del departamento, ya que cuenta con una reserva natural.

La alcaldía de Estelí ha realizado intervención durante las reparaciones ejecutando trabajos temporales hasta el grado de revestir con capas de material y luego compactarlas pero estos trabajos no avanzan a otro tipo de ejecución ni se ha implementado otro posible diseño.

3. JUSTIFICACIÓN

La realidad del tramo de vía en estudio es que se encuentra deteriorado por el pasar de los años, a raíz de este problema surge la necesidad de realizar el diseño de pavimento semiflexible que cumpla con las condiciones que demanda el tráfico.

Dicho tramo de carretera es de vital importancia para el municipio ya que se encuentra en una zona donde existen lugares ecológicos significativos, además de localizarse en un área de producción constantemente activa; sirve como vía de comunicación y de acceso al transporte colectivo y transporte privado que se dirigen a las demás comunidades cercanas.

La ejecución del Proyecto es de suma conveniencia debido a que significa reactivar la única vía de acceso con que disponen las diversas industrias tabacaleras y la reserva natural comprendida dentro del área de estudio, lo cual sugiere mayor circulación de vehículos y por ende, más posibilidades de generación de empleo relacionados directa e indirectamente con la rehabilitación de la carretera, promover el crecimiento económico en las áreas de: turismo, productos ecológicos, agrícolas, lecherías, etc., con el fin de elevar la calidad de vida de la población que se benefician con estos rubros, la mejora del factor transporte en la subzona de Miraflor y la disminución de riesgo que implica transitar por la carretera.

Un diseño estructural de pavimento semiflexible o de adoquines es propicio y favorable debido a que es un sistema práctico de construir, tiene una excelente apariencia, estética, durabilidad y fácil mantenimiento. Utilizaremos principios básicos del diseño de Pavimentos mediante la metodología AASHTO 93, cumpliendo con los criterios y especificaciones necesarios, para garantizar una mejor y más durable superficie de rodadura de la carretera, para seguridad y comodidad de los usuarios.

4. OBJETIVOS

Objetivo General:

- ✓ Realizar el diseño de una estructura de pavimento semiflexible de 1.4 km de longitud en el tramo carretero Estelí – Mirafior, por el método de la AASHTO 93.

Objetivos Específicos:

- ✓ Analizar las propiedades físico-mecánicas del suelo del tramo en estudio, así como los bancos de materiales para la determinación de los tipos de suelos en la zona.
- ✓ Realizar estudio de tránsito para analizar el tipo de transporte, cantidad de vehículos circulantes a fin de determinar las características de diseño de la carretera.
- ✓ Determinar los Espesores a través del Método de la AASHTO 93, para Diseño de Pavimento semiflexible.

CAPÍTULO I

ESTUDIO DE TRÁNSITO



I.1 Generalidades

La ingeniería de tráfico trata sobre la planificación, diseño y operación de tráfico en las calles, carreteras y autopistas, sus redes, infraestructuras, tierras colindantes y su relación con los diferentes medios de transporte consiguiendo una movilidad segura, eficiente y conveniente tanto de personas como de mercancías.

El tráfico representa uno de los factores esenciales para la determinación de espesores, tanto la cantidad como composición del tráfico, son determinantes para establecer las cargas a las que estará sometido el pavimento en un periodo de diseño previamente establecido.

En este capítulo se reflejan los resultados obtenidos de un aforo vehicular en la vía en estudio, cuyos datos se proyectaron para obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).

I.2 Procedimiento de Campo

Se realizó un aforo o conteo vehicular para obtener los volúmenes de tráfico, la capacidad de la vía, los niveles de servicio y la proyección vehicular. La estación del conteo fue ubicado en una zona con adecuada visibilidad y con amplitud en los hombros, logrando captar el tráfico en ambos sentidos de la vía. Esta estación fue ubicada a 500 metros de la gasolinera star mart carretera hacia Miraflores.

Para lograr dichos objetivos hicimos uso de los anuarios y revistas de tráfico del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), se efectuó un conteo de una semana de duración, comenzando la actividad a partir del día lunes 4 de Mayo y concluyendo esta actividad el día domingo 10 de Mayo del presente año, realizando el conteo y clasificación vehicular de 12 horas continuas de las 06:00 AM hasta las 06:00 PM para obtener el tránsito promedio diario anual (TPDA).

I.3. Resultados del conteo vehicular

I.3.1 Conteo y Clasificación Vehicular

Para realizar el aforo, se utilizó el formato mostrado en el Anexo VIII y los resultados de los conteos y clasificación vehicular del tramo Estelí-Mirafior en el departamento de Estelí, son los presentados a

Tabla N°1: Resultados del Conteo y Clasificación por Día (12.00 horas)

Estelí - Empalme Chilamatillo

DIAS	MOTO	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULOS DE CARGA							VEH. PESADOS		TOTAL
		AUTOS	JEEP	CAMIONETAS	Mbus	MB > 15P	BUS	C2 LIV	C2 > 5 Ton	C3	C2R2	T2S1	T2S2	Veh. Constr	Veh. Agric		
LUNES	205	43	76	174	2	3	12	68	38	13	5	5	4	3	12	663	
MARTES	174	31	59	149	0	2	12	60	32	7	4	2	1	1	8	542	
MIERCOLES	179	36	67	153	1	2	14	64	36	12	6	6	3	2	10	591	
JUEVES	170	24	50	147	0	2	13	56	31	6	7	3	2	0	7	518	
VIERNES	212	47	84	181	3	4	14	72	42	14	7	6	6	3	13	708	
SABADO	143	22	35	128	1	1	10	54	26	12	4	4	4	0	11	455	
DOMINGO	136	15	25	116	0	0	10	47	21	7	3	2	3	0	8	393	
TOTAL	1219	218	396	1048	7	14	85	421	226	71	36	28	23	9	69	3870	
TPDS (Veh/12hrs)	174,14	31,14	56,57	149,71	1	2	12,14	60,14	32,29	10,14	5,14	4	3,29	1,29	9,86	552,86	

Fuente: Elaboración Propia.

I.3.2 Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) es 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 nueva al entrar en servicio para los usuarios.

Para determinar el TPDA del tramo en estudio se realizó el conteo vehicular por día, posteriormente se obtuvo el Tránsito Promedio Diario Semanal o TPDS (mostrado en el cuadro anterior). Este promedio de vehículos obtenidos se afectó por el factor día y factor temporada de la estación 3502 Estelí-Empalme Chilamatillo, estos valores se encuentran en el Anuario de Tráfico 2010.

Tabla N°2: Factores de la Estación No. 3502 (Estelí-Empalme Chilamatlillo).

Camino: NIC-350	Estación: 3502	Tramo: Estelí (Inter Nic-1) - Emp. Chilamatlillo.	Periodo	L	Dias: 3	Horas: 12	Mes/Año	agosto	2010	Km: 163.700								
Grupos	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga				Equipo Pesado			Total			
		Autos	Jeep	Cam.	McBus	MinBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cr-Rx	Cr-Rx		V.A.	V.C.	Otros
	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	21	
	155	8	25	135				12	29	17	1				3		2	387
Factor Día	1.21	1.42	1.30	1.27	1.38	1.14	1.16	1.24	1.25	1.15	1.00	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00	1.06	
Factor Semana	0.94	1.03	1.05	1.01	0.92	0.94	0.95	0.90	0.88	0.86	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	
Factor Expansión	0.98	1.04	0.95	0.97	0.95	1.25	1.08	0.99	1.16	1.24	1.00	0.85	1.00	1.00	4.00	1.00	0.82	
TPDA May-Ago	173	12	32	168			14	32	22	1					11		2	467
% IPDA	37.04	2.57	6.85	35.97			3.00	6.85	4.71	0.21					2.36		0.43	100.00
% Vehículos Livianos			82.44%				% Vehículos Pesados				17.13%						0.43%	100.00%

Fuente: Anuario de Tráfico 2010 MTI

A continuación se muestra el cálculo del tráfico promedio diario anual (TPDA), haciendo uso de los factores de expansión del anuario de tráfico y del conteo vehicular obtenido del aforo.

Tabla N°3: Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

	MOTO	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULOS DE CARGA						VEH. PESADOS			TOTAL
		AUTOS	JEEP	CAMIONETAS	Mbus	MB > 15P	BUS	C2 LIV	C2 > 5 Ton	C3	C2R2	T2S1	T2S2	Veh. Constr	Veh. Agric		
TPDS	174,14	31,14	56,57	149,71	1	2	12,14	60,14	32,29	10,14	5,14	4	3,29	1,29	9,86		
FACTOR DIA	1,21	1,42	1,3	1,27	1,38	1,14	1,16	1,24	1,25	1,15	1	1	1	1	1		
F. EXPANSION	0,98	1,04	0,95	0,97	0,95	1,25	1,08	0,99	1,16	1,24	1	1	1	1	4		
TPDA	207	46	70	185	2	3	16	74	47	15	6	4	4	2	40		721

Fuente: Elaboración Propia

I.4 Tasas de Crecimiento.

Se denomina tasa de crecimiento (TC), al incremento anual del volumen de tránsito en una vía, expresado en porcentaje. Se determina en base a los datos de las estaciones de conteo, extrapolando la tendencia de los datos estadísticos.

Para determinar las tasas de crecimiento para el tráfico vehicular futuro en el tramo Estelí-Miraflor, se realizaron correlaciones entre los registros históricos del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y el Producto Interno Bruto (PIB), así como con la población, a fin de estimar una tasa diferenciada de crecimiento basado en datos históricos.

Análisis del PIB: Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del PIB de los últimos 12 años (desde el año 2001 al año 2013). El PIB promedio del 2001 al 2013 es de 7186.2 millones de dólares, con una tasa de crecimiento promedio de 9.201%.

Tabla N°4 Datos Históricos PIB

AÑO	PIB (MILLONES \$)	TAC (%)
2001	4102,4	
2002	4026	-1,862
2003	4101,5	1,875
2004	4464,7	8,855
2005	4872	9,123
2006	6786,3	39,292
2007	7458,1	9,899
2008	8491,4	13,855
2009	8380,7	-1,304
2010	8938,2	6,652
2011	9898,6	10,745
2012	10645,5	7,546
2013	11255,6	5,731
PROMEDIO	7186,23	9,201

Fuente: Banco Nacional de Nicaragua

El ingeniero primeramente debe seleccionar la estación adecuada y cercana al lugar del proyecto para emplearla en la proyección de tráfico, por tanto se analizó el comportamiento de las tasas actual de crecimiento (TAC) de la estación 3502 Estelí-Empalme Chilamatillo y la Estación Permanente 107 Sébaco-San Isidro como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla N°5: Comportamiento de las tasas actual de crecimiento (TAC) de la estación 3502 y la Estación Permanente 107.

AÑO	TPDA - EST. PERM	TPDA - EST. ESTELI - EMP CHIL	TAC EST. PERM (%)	TAC EST. EST - EMP. CHIL (%)
2000	2905	305		
2001	3122	183,1961853	7,470	
2002	3272	99	4,805	-67,541
2003	3428	100,8925477	4,768	
2004	3622	103,2461005	5,659	
2005	3405	100,6135182	-5,991	
2006	3849	106	13,040	7,071
2007	3853	107,2539683	0,104	
2008	4092	182,1785714	6,203	
2009	4101	185	0,220	74,528
2010	4334	467	5,682	152,432
2011	4517		4,222	
2012	4843		7,217	
2013	4954		2,292	
	Valores Interpolados			

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar las tasas actual de crecimiento de la estación Estelí-Empalme Chilamatillo son muy variables y no representan una tendencia adecuada, además hacen faltan datos para la estación de cobertura, por tanto se empleará la estación permanente 107 Sébaco-San Isidro.

Tabla N°6: Tasa Actual de Crecimiento del TPDA de la Estación Permanente

AÑO	TPDA	TAC
2001	3122	
2002	3272	4,80
2003	3428	4,77
2004	3622	5,66
2005	3405	-5,99
2006	3849	13,04
2007	3853	0,10
2008	4092	6,20
2009	4101	0,22
2010	4334	5,68
2011	4517	4,22
2012	4843	7,22
2013	4954	2,29
PROMEDIO		4,02

Fuente: Elaboración Propia

Obviamente la Estación de Expansión no es cercana a la Estación Permanente 107, así que se considera una tasa de 4.02% para el crecimiento de los vehículos.

I.4.1 Correlaciones Estación Permanente 107

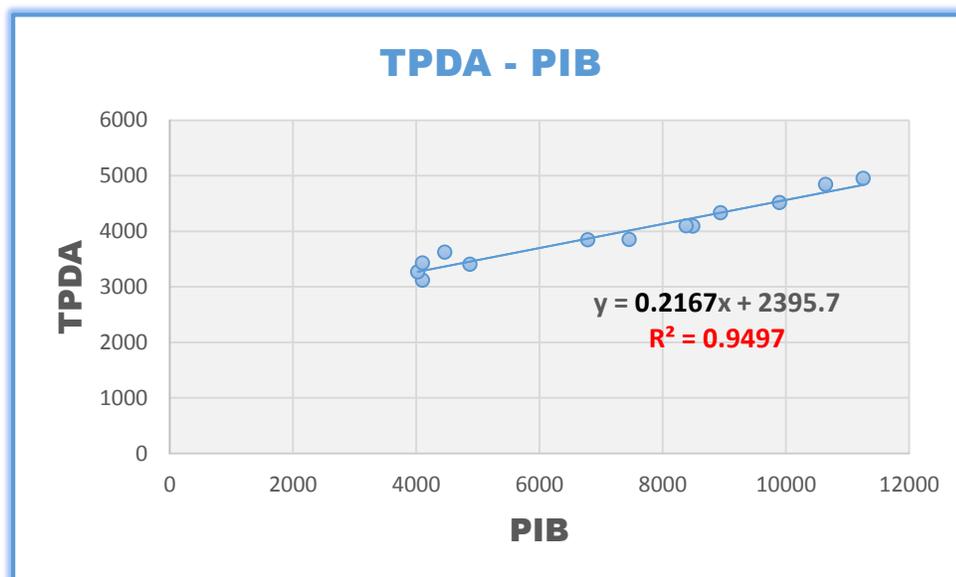
El cuadro siguiente, presenta el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB), en el período 2001-2013 y la representación gráfica con la ecuación de correlación del PIB con el TPDA de la estación Permanente No 107 Sébaco-Empalme San Isidro.

Tabla N°7: Correlación PIB - TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro).

AÑO	TPDA	PIB (Millones \$)
2001	3122	4102,4
2002	3272	4026
2003	3428	4101,5
2004	3622	4464,7
2005	3405	4872
2006	3849	6786,3
2007	3853	7458,1
2008	4092	8491,4
2009	4101	8380,7
2010	4334	8938,2
2011	4517	9898,6
2012	4843	10645,5
2013	4954	11255,6

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°1: Correlación PIB – TPDA



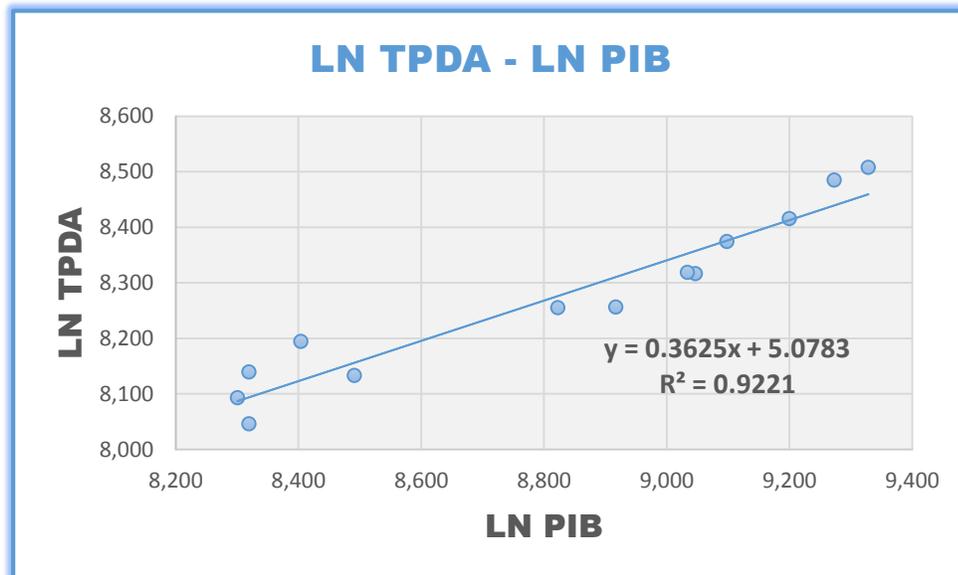
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°8: Correlación LN PIB – LN TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro)

AÑO	LN TPDA	LN PIB (Millones \$)
2001	8,046	8,319
2002	8,093	8,301
2003	8,140	8,319
2004	8,195	8,404
2005	8,133	8,491
2006	8,256	8,823
2007	8,257	8,917
2008	8,317	9,047
2009	8,319	9,034
2010	8,374	9,098
2011	8,416	9,200
2012	8,485	9,273
2013	8,508	9,329

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°2: Correlación LN PIB – LN TPDA



Fuente: Elaboración Propia

La correlación PIB – TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro) genera un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0.9497.

La correlación LN PIB – LN TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro) genera un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0.9221.

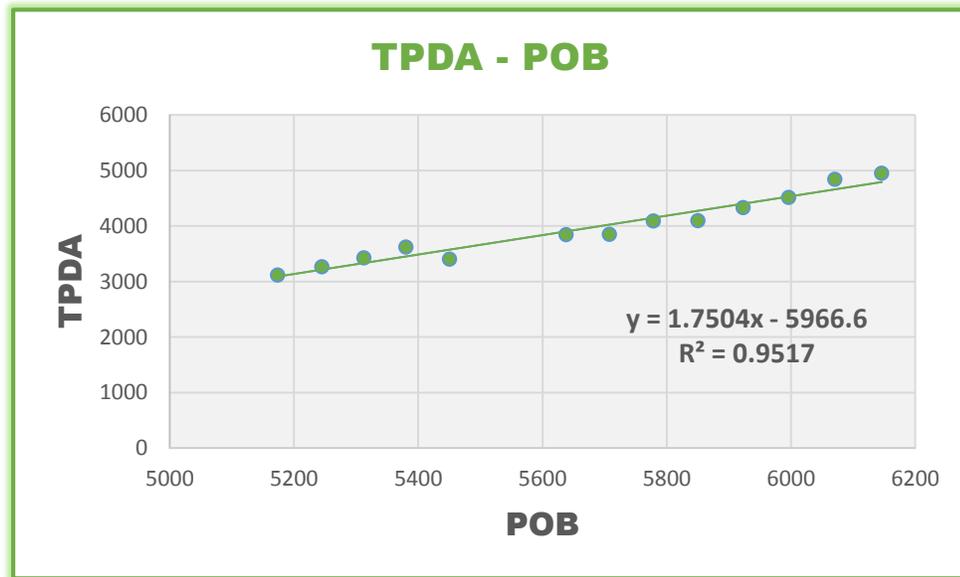
Por tanto se utilizará el mayor R^2 para determinar las tasas de crecimiento del tráfico de carga, que son los vehículos de transporte que mueven la producción hacia los mercados nacionales e internacionales, lo mismo que los insumos para la producción.

Tabla N°9: Correlación POB – TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro)

AÑO	TPDA	POB (Miles)
2001	3122	5173,9
2002	3272	5244,7
2003	3428	5312,7
2004	3622	5380,5
2005	3405	5450,4
2006	3849	5638
2007	3853	5707,9
2008	4092	5778,8
2009	4101	5850,5
2010	4334	5923,1
2011	4517	5996,6
2012	4843	6071
2013	4954	6146,4

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°3: Correlación POB – TPDA



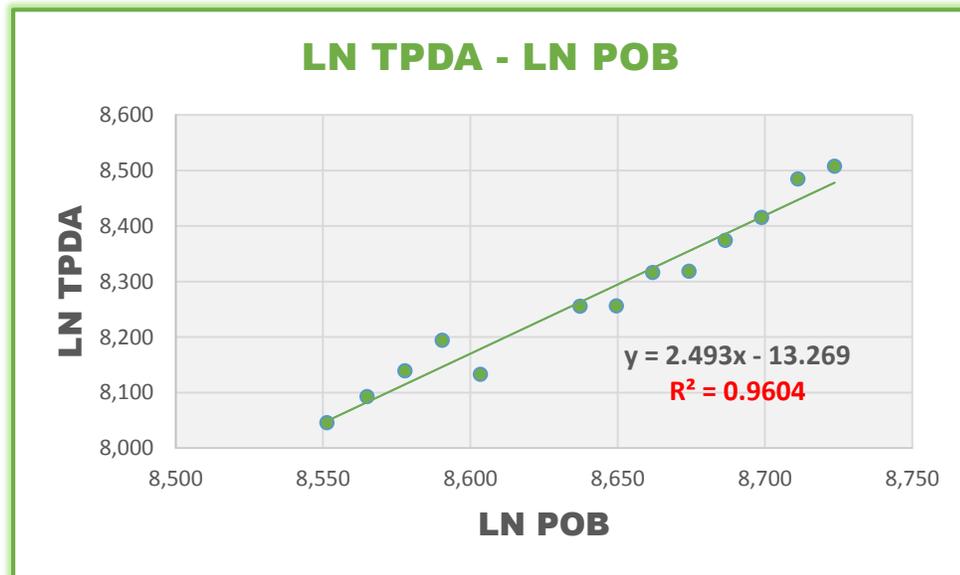
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°10: Correlación LN POB – LN TPDA

AÑO	LN TPDA	LN POB (Miles)
2001	8,046	8,551
2002	8,093	8,565
2003	8,140	8,578
2004	8,195	8,591
2005	8,133	8,603
2006	8,256	8,637
2007	8,257	8,650
2008	8,317	8,662
2009	8,319	8,674
2010	8,374	8,687
2011	8,416	8,699
2012	8,485	8,711
2013	8,508	8,724

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°4: Correlación LN POB – LN TPDA



Fuente: Elaboración Propia

La correlación POB – TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro) genera un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0.9517.

La correlación LN POB – LN TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro) genera un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0.9604.

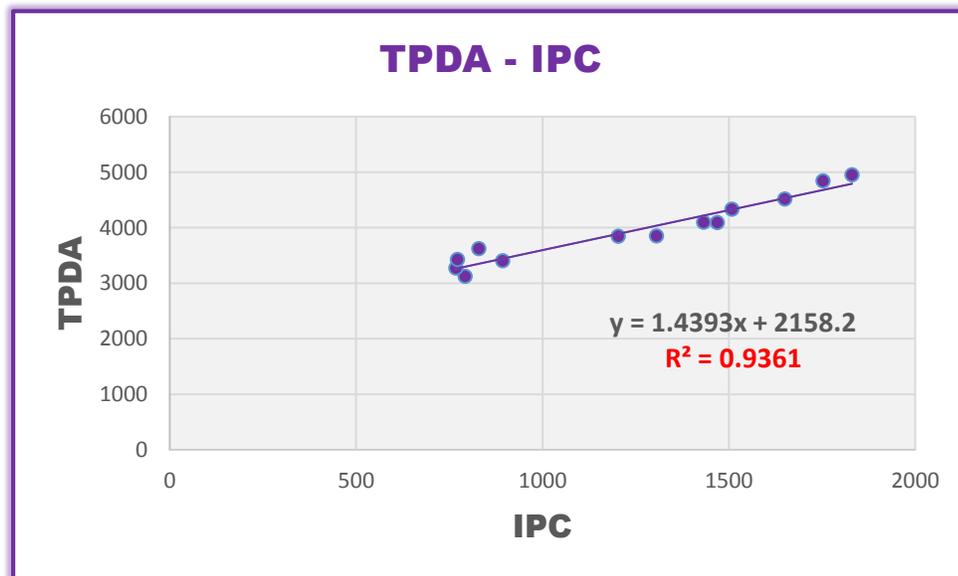
Por tanto se utilizará el mayor R^2 para determinar las tasas de crecimiento del tráfico pesado de pasajeros, que son los vehículos de transporte que mueven la mayor cantidad de población a los diferentes destinos (laborales, compras, estudios, recreativos y de otras índoles).

Tabla N°11: Correlación IPC – TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro)

AÑO	TPDA	IPC (\$)
2001	3122	792,9
2002	3272	767,6
2003	3428	772
2004	3622	829,8
2005	3405	893,9
2006	3849	1203,7
2007	3853	1306,6
2008	4092	1469,4
2009	4101	1432,5
2010	4334	1509
2011	4517	1650,7
2012	4843	1753,5
2013	4954	1831,3

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°5: Correlación IPC – TPDA



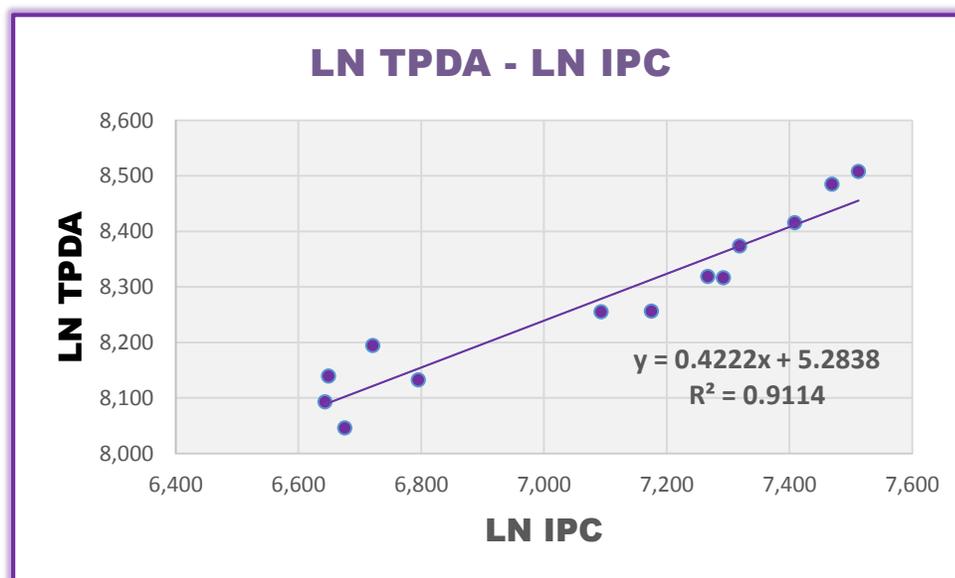
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°12: Correlación LN IPC – LN TPDA

AÑO	LN TPDA	LN IPC (\$)
2001	8,046	6,676
2002	8,093	6,643
2003	8,140	6,649
2004	8,195	6,721
2005	8,133	6,796
2006	8,256	7,093
2007	8,257	7,175
2008	8,317	7,293
2009	8,319	7,267
2010	8,374	7,319
2011	8,416	7,409
2012	8,485	7,469
2013	8,508	7,513

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°6: Correlación LN IPC – LN TPDA



Fuente: Elaboración Propia

La correlación IPC – TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro) genera un coeficiente de determinación (R^2) igual a **0.9361**.

La correlación LN IPC – LN TPDA (Estación No 107 Sébaco-Empalme San Isidro) genera un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0.9114.

Tabla N°13: Resultados de las Relaciones

CORRELACION	ECUACION	COEF. DE DETERMINACION	ELASTICIDAD
TPDA - PIB	$Y = 0.2167X + 2395.7$	$R^2 = 0.9497$	0.216
LN TPDA - LN PIB	$Y = 0.3625X + 5.0783$	$R^2 = 0.9221$	
TPDA - IPC	$Y = 1.4393x + 2158.2$	$R^2 = 0.9361$	1.439
LN TPDA - LN IPC	$Y = 0.4222x + 5.2838$	$R^2 = 0.9114$	
TPDA - POB	$Y = 1.7504x - 5966.6$	$R^2 = 0.9517$	2.493
LN TPDA - LN POB	$Y = 2.493x - 13.269$	$R^2 = 0.9604$	

Fuente: Elaboración Propia

Se consideran que las elasticidades son los coeficientes que acompañan a la variable X de la ecuación cuyo coeficiente de determinación (R^2) se aproxime más a 1. Estas elasticidades afectarán las tasas de crecimiento para cada tipo de transporte, y se obtienen con la ecuación siguiente:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right] - 1$$

Dónde:

TC = Tasa de Crecimiento

TPDA_i = Tráfico Promedio Diario Actual.

$TPDA_0$ = Tráfico Promedio Diario Actual del Año Base.

n = Diferencia de años.

Tabla N°14: Tasas de Crecimiento.

AÑO	PIB (Millones \$)	POB (Miles)	IPC (\$)
2001	4102,4	5173,9	792,9
2002	4026	5244,7	767,6
2003	4101,5	5312,7	772
2004	4464,7	5380,5	829,8
2005	4872	5450,4	893,9
2006	6786,3	5638	1203,7
2007	7458,1	5707,9	1306,6
2008	8491,4	5778,8	1469,4
2009	8380,7	5850,5	1432,5
2010	8938,2	5923,1	1509
2011	9898,6	5996,6	1650,7
2012	10645,5	6071	1753,5
2013	11255,6	6146,4	1831,3
TC (2001-2013)	8,07	1,33	6,65
ELASTICIDAD	0,2167	2,493	1,4393
TC * ELAST	1,75	3,33	9,57

Fuente: Elaboración Propia

La tasa de crecimiento del transporte de carga es de **1.75%**, del transporte de pasajeros es de **3.33%** y la del tráfico Liviano es de **4.02%** (promedio de las tasas actuales de crecimiento del TPDA de la estación permanente), ya que la tasa de crecimiento obtenida de la correlación del TPDA de la estación permanente y el IPC es muy alta.

1.5 Tránsito de Diseño

El tránsito de diseño determina la cantidad de vehículos que circularán en una vía para así proyectar la vida útil de la carretera.

Para convertir el volumen de tráfico obtenido de los conteos se usará el tránsito de diseño (TD) que es un factor fundamental para el diseño estructural de pavimentos. Este se obtiene a partir de la información básica suministrada por el Tránsito Promedio Diurno (TPDA), el Factor de Crecimiento (FC), Factor de Distribución (FD) y Factor Carril (f_c). Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T_D = TPDA * F_C * F_D * f_c * 365$$

Dónde:

T_D : Tránsito de Diseño.

$TPDA$: Tránsito Promedio Diario Anual.

F_C : Factor Crecimiento.

F_D : Factor de Distribución por Sentido.

f_c : Factor por Distribución por Carril.

1.5.1 Período de Diseño (PD)

Es la cantidad de años para la cual será diseñada la estructura de pavimento, por lo general varía dependiendo del tipo de carretera. De acuerdo a las características geométricas de la vía y al volumen actual de tránsito que circula por ella, elegimos 15 años para el período de diseño, ya que tenemos un TPDA de 721 vpd.

Tabla N°15: Período de Diseño

Tipo de Carreteras	Período de Diseño
Troncales Rurales	15-30 años
Colectoras Sub urbanas	10-20 años
Colectoras Rurales	10-20 años

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras (SIECA)

I.5.2 Factor de Crecimiento (F_C)

Está en función de la tasa anual de crecimiento y el período de diseño de la estructura de pavimento. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F_C = \frac{[(1 + i)^n - 1]}{i}$$

Donde:

F_C : Factor de Crecimiento.

i : Tasa de Crecimiento.

n : Período de Diseño en años.

Factor de crecimiento para vehículos pesados de carga:

$$F_C = \frac{(1 + 0.0175)^{15} - 1}{0.0175} = 16.984$$

Factor de crecimiento para vehículos livianos:

$$F_C = \frac{(1 + 0.0402)^{15} - 1}{0.0402} = 20.053$$

Factor de crecimiento para vehículos pesados de pasajeros:

$$F_C = \frac{(1 + 0.0333)^{15} - 1}{0.0333} = 19.055$$

I.5.3 Factor Distribución por Dirección (F_D)

Este valor se puede deducir del estudio de tránsito (conteo), es la relación entre la cantidad de vehículos que viajan en una dirección y la cantidad de vehículos que viajan en la dirección opuesta, por lo general es 0.5 debido a que la cantidad de vehículos es la misma en ambos sentidos aunque hay casos en que puede ser mayor en una dirección que en otra. En este caso se trabajó con un factor direccional de 50%.

Tabla N°16: Factor de Distribución por Dirección

N° de Carriles en ambas direcciones	Factor Direccional (%)
2	50
4	45
6 ó mas	40

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras (SIECA).

I.5.4 Factor Distribución por Carril (f_c)

El carril de diseño es por el que circulan el mayor número de ejes equivalentes (ESAL´S). En este caso el factor de distribución por carril a usarse es 1.

Tabla N°17: Factor de Distribución por Carril

N° de Carriles en una sola dirección	Factor de Distribución por Carril
1	1
2	0.8-1
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.

Con los factores ya obtenidos se muestra el tránsito de diseño en la siguiente Tabla:

Tabla N°18: Tránsito de carril de diseño para el cálculo del ESAL´S

<i>Tipo de vehículos</i>	<i>Tránsito Actual (2015)</i>	<i>F.C.</i>	<i>Días del año</i>	<i>Transito de diseño</i>	<i>Factor por carril(fc)</i>	<i>Factor de Dirección (Fs)</i>	<i>Tránsito para el carril de diseño</i>
Autos	46	20,05	365	336.696,11	1	0,50	168.348,05
Jeep	70	20,05	365	512.363,64	1	0,50	256.181,82
Camionetas	185	20,05	365	1.354.103,91	1	0,50	677.051,96
McBus<15 pas	2	19,06	365	13.910,41	1	0,50	6.955,20
MnBus 15-30 pas	3	19,06	365	20.865,61	1	0,50	10.432,81
Bus	16	19,06	365	111.283,28	1	0,50	55.641,64
C2	74	16,98	365	458.749,98	1	0,50	229.374,99
C2 5 +ton	47	16,98	365	291.368,23	1	0,50	145.684,11
C3	15	16,98	365	92.989,86	1	0,50	46.494,93
C2R2	6	16,98	365	37.195,94	1	0,50	18.597,97
T2S1	4	16,98	365	24.797,30	1	0,50	12.398,65
T2S2	4	16,98	365	24.797,30	1	0,50	12.398,65
VC	2	16,98	365	12.398,65	1	0,50	6.199,32
VA	40	16,98	365	247.972,96	1	0,50	123.986,48
						TOTAL	1.769.747

Fuente: Elaboración Propia

I.5.5 Índice de Serviciabilidad Inicial (P_0)

Se define en función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. Se recomienda un índice de serviciabilidad de 4.2 para pavimento flexible, y de 4.5 para pavimentos rígidos, según el Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO-93 (cap.8.2.5 pp. 172). En el diseño de la estructura de Pavimento Semiflexible del tramo de carretera Estelí-Miraflor se trabajó con un valor de $P_0 = 4.2$

I.5.6 Índice de Serviciabilidad Final (P_t)

Es el valor más bajo que puede ser tolerado por los usuarios de la vía antes de que sea necesario tomar acciones de rehabilitación, reconstrucción o repavimentación, y generalmente varía con la importancia o clasificación funcional de la vía cuyo pavimento se diseña, y son normalmente los siguientes:

Según el manual SIECA para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas se toma un valor de $P_t = 1.8 - 2.0$. Además considerando que la AASHTO 93 (cap.8.2.5 pp.172) recomienda $P_t = 2.0$ para caminos de tránsito menor.

En el Diseño de la Estructura de Pavimento Semiflexible del tramo de carretera Estelí-Miraflores se trabajó con un valor de $P_t = 2.0$.

I.5.7 Pérdida de Serviciabilidad (ΔPSI)

Es la diferencia que existe entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final. Entre mayor sea el ΔPSI mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar, calculado con la siguiente ecuación: $\Delta PSI = P_0 - P_t$

En el Diseño de la Estructura de Pavimento Semiflexible del tramo de carretera Estelí-Miraflores se obtuvo un valor de $\Delta PSI = 4.2 - 2, \Delta PSI = 2.2$

I.5.8 Número Estructural Asumido (SN)

Es el número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. El SN es utilizado para calcular el ESAL'S o W18 (cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 mil libras), se debe de asumir un valor inicial de SN. Para este Diseño se considera un valor $SN = 5$.

I.5.9 Factor de Equivalencia (FESAL)

Conociendo la serviciabilidad final ($P_t = 2$), el número estructural asumido ($SN = 5$) y los pesos (las cargas se encuentran en kips) se obtienen los factores de equivalencia (FESAL) (**ver Anexo IX y X**). Tomando en cuenta que algunos valores de las cargas por ejes no se encuentran reflejados en las Tablas se procedió a interpolar dichos valores.

I.5.10 Ejes Equivalentes (ESAL'S o W18)

Este se obtiene conociendo El Tránsito de Diseño (TD) y los factores de equivalencia (ESAL'S). Se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$**ESAL'S o W18 = TD * FESAL**$$

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

Tabla N°19: Cálculo del ESA'L de Diseño

Calculo ESAL'S del carril de diseño								
Tipo de vehiculos	Peso X eje(Ton.met)	Peso X eje	Tipo de eje	To. 2015	TD	TD corregido	Factor ESAL	ESAL de diseño
Autos	1	2,2	Simple	46	168.348,05	168.349	0,00038	64
	1	2,2	Simple				0,00038	64
Jeep	1	2,2	Simple	70	256.181,82	256.182	0,00038	98
	1	2,2	Simple				0,00038	98
Camionetas	1	2,2	Simple	185	677.051,96	677.052	0,00038	258
	2	4,4	Simple				0,0034	2302
McBus<15 pas	2	4,4	Simple	2	6.955,20	6.956	0,0034	24
	4	8,8	Simple				0,3346	2328
MnBus 15-30 pas	3	6,6	Simple	3	10.432,81	10.433	0,0156	163
	5	11	Simple				0,482	5029
Bus	5	11	Simple	16	55.641,64	55.642	0,482	26820
	10	22	Simple				2,35	130759
C2	5	11	Simple	74	229.374,99	229.375	0,482	110559
	10	22	Simple				2,35	539031
C2 5 +ton	5	11	Simple	47	145.684,11	145.685	0,482	70221
	10	22	Simple				2,35	342360
C3	5	11	Simple	15	46.494,93	46.495	0,482	22411
	16	35,2	Doble				1,26	58584
C2R2	4,50	12	Simple	6	18.597,97	18.598	0,212	3943
	9	20	Simple				1,57	29199
	5	14	Simple				0,338	6287
	5	14	Simple				0,338	6287
T2S1	5	11	Simple	4	12.398,65	12.399	0,482	5977
	9	20	Simple				1,57	19467
	9	20	Simple				1,57	19467
T2S2	5	11	Simple	4	12.398,65	12.399	0,482	5977
	9	20	Simple				1,57	19467
	16	35,2	Doble				1,26	15623
VC	5	11	Simple	2	6.199,32	6.200	0,482	2989
	9	20	Simple				1,57	9734
VA	5	11	Simple	40	123.986,48	123.987	0,482	59762
	9	20	Simple				1,57	194660
Total ESAL'S de diseño(W18)								1.710.012

Fuente: Elaboración Propia

Para el Diseño de la carretera en estudio se obtuvo un valor ESAL's o W18 de $1.710012 * 10^6$; este valor ESAL's servirá posteriormente para determinar el CBR de diseño, en el estudio geotécnico presentado a continuación.

CAPÍTULO II

ESTUDIO GEOTÉCNICO



II.1 Generalidades

El Estudio Geotécnico tiene la finalidad de proporcionar insumos necesarios, como conocer las características físico-mecánicas del sub-suelo, mediante la realización de ensayos de laboratorio (Granulometría, Límites de Atterberg y CBR) y análisis de la información obtenida.

En este capítulo se detallaran los procedimientos llevados a cabo para la ejecución de este estudio, así como los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio practicados sobre la muestras de suelo.

Estas muestras fueron analizadas en laboratorio para determinar sus propiedades, entre ellas:

- ✓ Humedad.
- ✓ Valor de Soporte (CBR).
- ✓ Granulometría.
- ✓ Límites de Atterberg (Límite Líquido e índice plástico).
- ✓ Densidad (Proctor).

Finalmente se realizó un perfil estratigráfico para detallar los tipos de suelos y su profundidad, en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

II.2. Ensayos de Suelos de Línea

El muestreo de los sondeos de línea fue hecho por los sustentantes, con posteadora y barra, clasificándose el material en el sitio y al tacto. Se efectuó un total de catorce (14) sondeos manuales con profundidades máximas de 1.5 metros, limitados muchos de ellos por el basamento rocoso sub-yacente, y el cual en algunos sitios aflora a los lados del camino, en las cunetas del Proyecto.

La ubicación de los sondeos fue de cada cien metros entre uno y otro, ubicados alternamente al centro, izquierda y derecha de la carretera.

II.2.1. Resultado de los Ensayos sobre la Línea.

Los suelos existentes a lo largo del tramo, de acuerdo a los sondeos realizados y a los ensayos de laboratorio efectuados, presentan de manera general las características siguientes:

Superficialmente existe una capa de rodamiento mayoritariamente de 20 a 30 cm de espesor, compuesta de gravas limosa con arena y de arenas limosas con grava tipo A-2-6 (con índices de grupo 0, 1 y 2) y A-2-4 (0), de color café claro. La plasticidad en general de estos suelos superficiales varía de 27% a 40% de límite Líquido, de 5 a 21% de índice de plasticidad.

Las partículas de los suelos gravosos pasan de 75% a 100% el tamiz de 2". Las partículas de los suelos arenosos limosos con grava pasan entre 94% y 100% el tamiz No. 4, y entre 17% y 35% el tamiz N°200. Entre los suelos de rodamiento, existen algunos que tienen una plasticidad del orden de 5% y 10% con clasificación HEB de A-2-4 (0).

El CBR obtenido de las muestras de rodamiento, compactadas al 90%, 95% y 100% Proctor Estándar, fue del orden de 8% a 20%, de 19% a 25% y de 31% a 36% respectivamente.

El CBR obtenido del grupo de muestras gravo arcillo limosos con arena de baja compresibilidad tipo A-2-4 (0), compactadas al 90%, 95% y 100% Proctor Estándar, fue de 20%, 25% y 35%, respectivamente. Su PVS máx. es de 1723 kg/m^3 y su Humedad Óptima de 19.4%.

Debajo de los suelos descritos anteriormente, que fueron encontrados superficialmente, subyacen suelos gravo arcillosos con arena y areno arcillosos con grava tipo A-2-7 con Índice de Grupo de 2 y 3 (sondeos número 5, 10, 11 y 14). El límite líquido de este tipo de suelo varía de 41% a 45% y su índice de plasticidad de 20% a 26%.

También subyacen algunos suelos arcillosos y limo arcillosos de alta compresibilidad tipo A-7-5 (con Índice de Grupo de hasta 13), A-7-6 (12), A-6 (9), A-5 (5). Tienen de 40% a 50% de Límite Líquido, de 5 a 22% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan de 85% a 100% el tamiz de 1/2" en el caso de los suelos gruesos tipo A-2-7, 98 y 100% pasan el tamiz N°4 en el caso de los suelos finos arcillosos, pasan de 67 a 75% el tamiz N° 200.

El CBR obtenido de grupos de muestras de suelos gravo arcillosos del tipo A-2-7, compactadas al 90%, 95% y 100% Proctor Estándar, fue del orden de 9% a 11%, 15% a 17% y de 20% a 28% respectivamente. El CBR obtenido de grupos de muestras de los suelos arcillosos, compactadas al 90%, 95% y 100% Proctor Estándar, fue del orden de 3% a 8%, de 5% a 10% y de 7% a 14% respectivamente.

Por otro lado, cabe señalar que muchos sondeos no alcanzaron la profundidad nominal de 150 cm debido a la existencia de suelos densos muy consolidados o basamento rocoso (sondeos número 7, 8, 9, 12 y 14). En el **Anexo VII** se presenta la estratigrafía de suelo, la cual resume los resultados encontrados en el proyecto.

II.3. Ensayos de Bancos

Se tomaron muestras de tres (3) Bancos de Préstamo, los cuales son los siguientes:

Tabla N°20: Resultados de Bancos de Préstamo.

N°	Nombre	Ubicación
1	Coyolito Mirafior	Est. 3+800
2	El Diamante N° 1	Municipio de Estelí
3	Las Viejitas	Est. 14+500

Fuente: EMCOSE, EDICO.

Los materiales obtenidos de los Bancos de Préstamo, de acuerdo a la exploración realizada y a los ensayos de laboratorio efectuados, presentan de manera resumida las características siguientes:

Tabla N°21: Características de los materiales de los Bancos

N°	Nombre del Banco	Pasa el Tamiz			LL (%)	IP (%)	CBR al 95%
		N° 10	N° 40	N° 200			
1	Coyolito Mirafior	17	13	11	55	19	16
2	El Diamante N° 1	84	56	33	34	9	39,6
3	Las Viejitas	42	25	10	22	5	80

Fuente: EMCOSE, EDICO.

Banco de Préstamo N°.1: Coyolito Mirafior

Este Banco está ubicado en la Estación 3+800 en Mirafior, según la clasificación AASHTO en base a los estudios realizados y a los resultados obtenidos, el suelo corresponde al grupo A-2-7 (grava y arena arcillosa o limosa), con Índice de Grupo igual a 0, el material considerado como bueno tiene una densidad de 1757 kg/m^3 . Se recomienda mezclarlo con un material arenoso para bajar el índice de plasticidad.

Banco de Préstamo N°.2: El Diamante N° 1

La muestra de suelo, de esta fuente de materiales, corresponde a un material con predominio de fracción gruesa, el cual está constituido por arenas limosas, de color café. En el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, se clasifica del tipo **SM**. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-2-4**, con índice de grupo de cero. El CBR es de 39.6%, el resultado del ensaye de compactación Proctor es de 1,421 Kg/m³, **el abundamiento es 32.8% o bien el factor de abundamiento (F.A) es 1.328.**

Banco de Préstamo N°.3: Las Viejitas

El Banco está ubicado en la Est. 14+500 en Yalí, sus dimensiones aproximadas (largo x alto x ancho) son de 64x10.5x30 m, para un volumen aproximado de 20160 m³. La muestra de suelo de esta fuente de materiales, está compuesta por fragmentos de roca, grava y arena. Según el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-1-a, con índice de grupo de cero. El CBR es de 80% calificado como adecuado para utilizarse como base granular.

I.3.1 Análisis de Bancos de préstamos.

De acuerdo a los resultados obtenidos se considera utilizar como fuente de materiales el Banco Las Viejitas, debido a que su granulometría, su índice de plasticidad y resistencia (CBR al 95%) se ajusta a lo establecido en la sección II del **Art.1003.23 de la NIC-2000**, en donde se plantean los requisitos que debe cumplir un material utilizado como base granular, después de colocado y compactado.

Tabla N°22: Requisitos que debe cumplir el material de Terracería, para ser utilizado como Base.

Prueba	Requerimiento mínimo NIC-2000	Banco de Préstamo Las Viejitas	Valoración
Graduación	Cuadro 1003-10	Cumple	Cumple
Índice de Plasticidad	Máx. 10%	5%	Cumple
Límite Líquido	Máx. 25%	22%	Cumple
CBR al 95% de AASHTO Modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación	Min. 80%	80%	Cumple

Fuente: Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000

Tabla N°23: CUADRO 1003-10 Requisitos Graduación de Agregados para el Mejoramiento de la Base

Designación del tamiz (mm)	Porcentajes en Peso que pasan por tamices de mallas cuadradas, según AASHTO T 27		
	A	B	C
75	100	---	---
37.5	---	100	---
25	---	---	100
4.75	30-70	30-70	40-80
75 µm	0-15	0-15	5-20

Fuente: Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000

II.4 Cálculo del CBR de Diseño

En el ensayo CBR (California Bearing Ratio): Ensayo de Relación de Soporte de California mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y sirve para poder evaluar la calidad del terreno para sub rasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo las condiciones controladas de humedad y densidad, y esta normado por la ASTM-D1883 y por la AASHTO T-193.

Sub-rasante: Es la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no sea afectada por las cargas de diseño que corresponde al tránsito previsto. En la siguiente tabla se presentan las especificaciones para sub rasante:

Tabla N°24: Especificaciones para terraplenes y materiales para sub rasante

N°	Propiedad	Terraplenes	Capa Sub-Rasante	Metodología
1	% de malla N° 200	40% máx.	30% máx.	AASHTO T-11
2	Límite Líquido	40% máx.	30% máx.	AASHTO T-89
3	Límite Plástico	15% máx.	10% máx.	AASHTO T-90
4	CBR	10% mín.	20% mín.	AASHTO T-193
5	Compactación	95% mín. del peso volumétrico seco máx. obtenido por medio de la prueba proctor modificado AASHTO-99	95% mín. del peso volumétrico seco máx. obtenido por medio de la prueba proctor modificado AASHTO-T-180	AASHTO T-191 y/o T-238 (in situ)

**Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes
NIC-2000**

El método más difundido para calcular el CBR de diseño es el propuesto por el instituto de Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total que el 60%, el 75%, o el 87.5% de los valores individuales obtenidos que sea iguales o mayor que él, de acuerdo con el tránsito que se espera circule por el pavimento, tal y como se indica a continuación:

Tabla N°25: Criterio del Instituto de Asfalto para determinar CBR de Diseño

Cargas Equivalentes Totales (Esal's)	Percentil de Diseño (%)
< de 10,000 ESAL's	60
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL's	75
> de 1,000,000 ESAL's	87,5

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

Tomando en cuenta que el $ESAL's$ o $W_{18} = 1710012$, para nuestro diseño utilizaremos un percentil de **87.5%**.

En la siguiente tabla se muestra la acumulación de los valores de CBR de diseño del material existente en la sub-rasante, la cual se consideró que está a una profundidad de 15 cm por debajo del nivel del terreno natural, ya que es donde se encuentra un estado de suelo más uniforme.

Tabla N°26: CBR Sub-rasante de cada Sondeo realizado en la vía.

Sondeo N°	CBR Sub-rasante
1	23
2	20
3	24
4	19
5	22
6	21
7	20
8	19
9	24
10	25
11	23
12	25
13	23
14	24

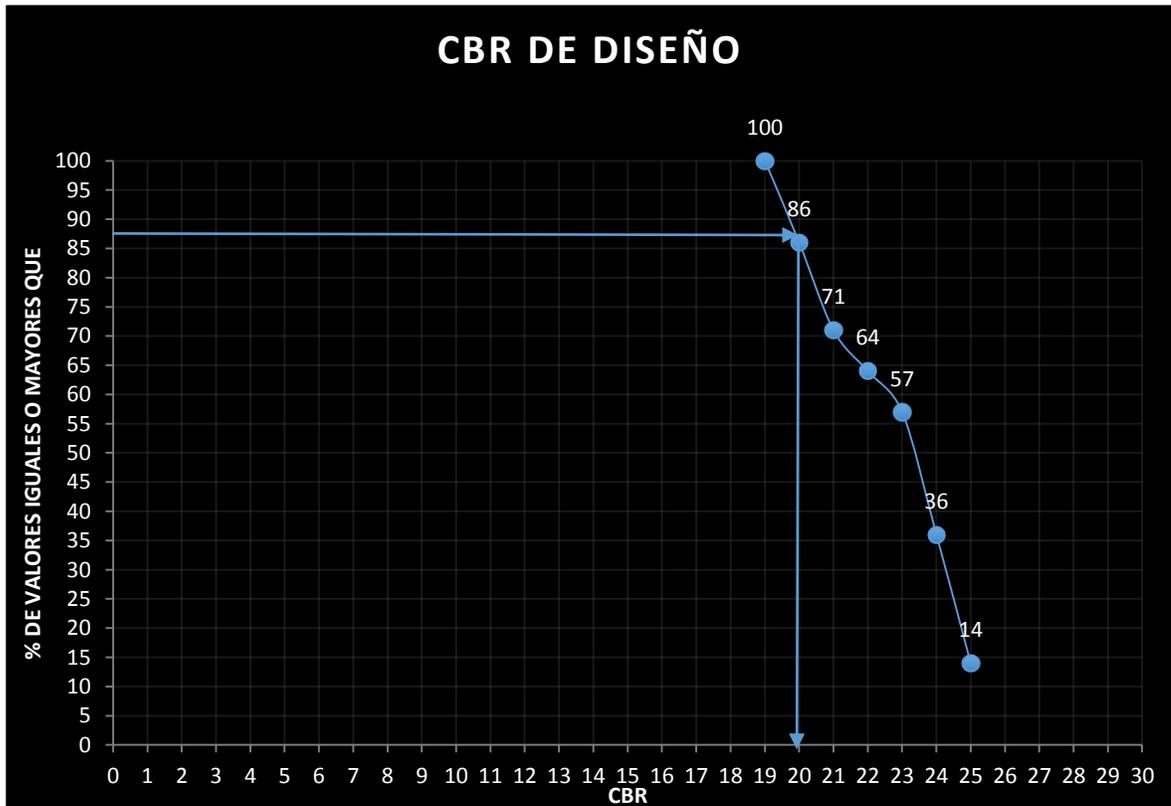
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°27: Acumulación CBR Sub-rasante

CBR	Cantidad de valores iguales o mayores	Porcentaje %	Frecuencia
19	14	100	2
20	12	86	2
21	10	71	1
22	9	64	1
23	8	57	3
24	5	36	3
25	2	14	2

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N°7: CBR de Diseño



Fuente: Elaboración Propia.

Aplicando el método del Instituto del Asfalto que recomienda para un ESAL's > 10^6 un valor de percentil de CBR correspondiente al 87.5% se obtuvo un CBR de diseño para la sub-rasante de **20%**. Se asume que este porcentaje se establece como una muestra representativa de los valores de CBR encontrados en los sondeos de línea y servirá para determinar posteriormente los espesores de la estructura de pavimento semiflexible a través de la AASHTO 93.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE PAVIMENTO



III.1. Generalidades

El método de Diseño utilizado fue la Guía de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 1993. Se ha elegido el método AASHTO, porque a diferencia de otros métodos introduce el concepto de Serviciabilidad en el Diseño de Pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario. Seguidamente se utilizaron los nomogramas de la AASHTO, y criterios de diseño ajustados a la Buena Práctica en Ingeniería (BPI).

El método toma en cuenta el Estudio Geotécnico, el cual tiene la finalidad de proporcionar los insumos necesarios, como conocer las características físico-mecánicas del sub-suelo a lo largo de la ruta, efectuar ensayos de laboratorio (Granulometría, Límites de Atterberg y CBR) y análisis de la información obtenida. Además, toma en cuenta el tráfico, el clima y drenaje en el área del proyecto.

También se incluyó la determinación de las características de Bancos de Materiales, necesarios para la construcción del Proyecto.

La exploración de campo se realizó por medio de sondeos manuales hechos cada 100 metros, alternadas al centro, izquierda y derecha de la carretera. Los resultados del trabajo de campo, métodos de ensayos de laboratorio, como la descripción de los suelos de línea y de Banco de Materiales, se presentan en el Estudio de Suelos hecho para este proyecto, complementario a este Informe de Diseño de Espesores de Pavimento.

III.2. Consideraciones del Diseño AASHTO 93:

III.2.1. Confiabilidad (R)

Es un factor de seguridad que se emplea en el diseño de un pavimento, depende de diversos factores, entre ellos la calidad del estudio de tránsito realizado, la calidad de los materiales, calidad de los estudios de muestreos de suelos y calidad del trabajo de construcción, lo que nos guiará a clasificar de manera funcional la carretera y a la vez el nivel de confiabilidad que presentará esta vía.

El nivel de confiabilidad se obtiene de seleccionar el tipo de camino como colectoras y ubicada en zona rural, el cual se encuentra en un rango entre 75-95%. En este caso se tomará una confiabilidad de 85%.

Tabla N°28: Niveles de Confiabilidad

Tipo de Camino	Nivel de Confiabilidad Recomendada	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas Interestatales y Autopistas	85-99.99	80-99.99
Arterias Principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

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

III.2.2. Desviación Estándar (So)

Este parámetro está directamente ligado al nivel de confiabilidad elegido para la vía. Corresponde a la función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio. Por consiguiente se tomará un valor de $S_o = 0.45$ considerando posibles variaciones en el comportamiento del tránsito.

Tabla N°29: Desvío Estándar según las Condiciones de Diseño

Condiciones de Diseño	Desvío Estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	0.34 (Pavimentos Rígidos)
	0.44 (Pavimentos Flexibles)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0.39 (Pavimentos Rígidos)
	0.49 (Pavimentos Flexibles)

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.

III.2.3. Coeficiente de Drenaje (m)

El drenaje de agua en los pavimentos es un aspecto importante a considerar en el diseño de las carreteras. De lo contrario el exceso de agua combinado con el crecimiento de volúmenes de tránsito y cargas podrían anticipar los daños a la estructura del pavimento.

La calidad del drenaje está expresado en la fórmula del número estructural como (m_i), éste coeficiente depende de la capacidad que tiene el material para drenar el agua y del tiempo que pasa expuesto a la saturación.

En este caso se considera un “m unitario” dado que se asume excelente capacidad para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman el pavimento.

Tabla N°30: Valores de m_i Recomendados

Calidad de Drenaje	Porcentaje de Tiempo al cual está expuesta la Estructura del Pavimento a Niveles de Humedad Próxima a la Saturación			
	Menor del 1%	1-5%	5-25%	Mayor del 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Buena	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy Pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements. Tabla X, pág. 3-39

III.2.4. CBR de Diseño

La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de Soporte” y está normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el número T-193. El CBR de diseño del tramo Estelí-Miraflor, es de 20%. Este se obtuvo con un percentil de 87.5%.

III.2.5. Módulo de Resiliencia (MR)

La base para la caracterización de los materiales de sub-rasante en este método es el Módulo Resiliente, el cual es una medida de la propiedad elástica de los suelos y se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición, por lo tanto se han establecido correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR.

Tabla N°31: Valores de CBR

Valores de CBR	Consideración
CBR < 10 %	MR = 1500*CBR
CBR > 10 %	MR = 4326*Ln (CBR)+241

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

En este caso se obtuvo un CBR de Diseño para la sub rasante de 20%, utilizaremos el segundo criterio para calcular el módulo Resiliente de la sub rasante, por tanto:

$$MR = 4326 * Ln (CBR) + 241$$

$$MR = 4326 * Ln (20) + 241$$

$$MR = 13200.54 \text{ Psi}$$

El Módulo Resiliente de la sub rasante es de 13200.54 Psi.

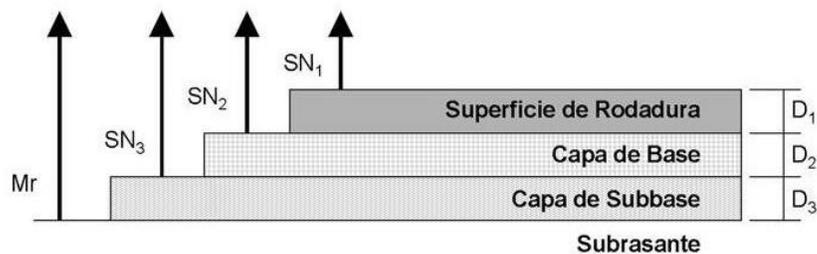
III.2.6 Coeficientes Estructurales

Es una medida de la habilidad relativa de una unidad de espesor de un material/mezcla determinado, para servir como un componente estructural de un pavimento. Los coeficientes estructurales (a_1) que son empleados en el Método AASHTO 93, los cuales utilizaremos en el diseño de la carretera Estelí-Miraflor son los siguientes:

El coeficiente estructural de la capa de rodamiento (Adoquín) a_1 es de 0.45, este es un valor que ya está dado en el Manual Centroamericano Para el Diseño de Pavimentos, Capítulo 7, pág. 107. Ya que el espesor del adoquín siempre será de 10 cm, por tanto $a_1 = 0.45$.

El SN es un número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido por una combinación dada de soporte del suelo (M_R), del tránsito total (W_{18}), de la serviciabilidad final, y de las condiciones ambientales.

Figura N°8: Estructura Típica de Pavimentos



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Para el cálculo del número estructural SN_1 se decidió asumir un espesor de adoquín de 10 cm lo que equivale a 4 pulgadas, entonces:

$$SN_1^* = a_1 * D_1$$

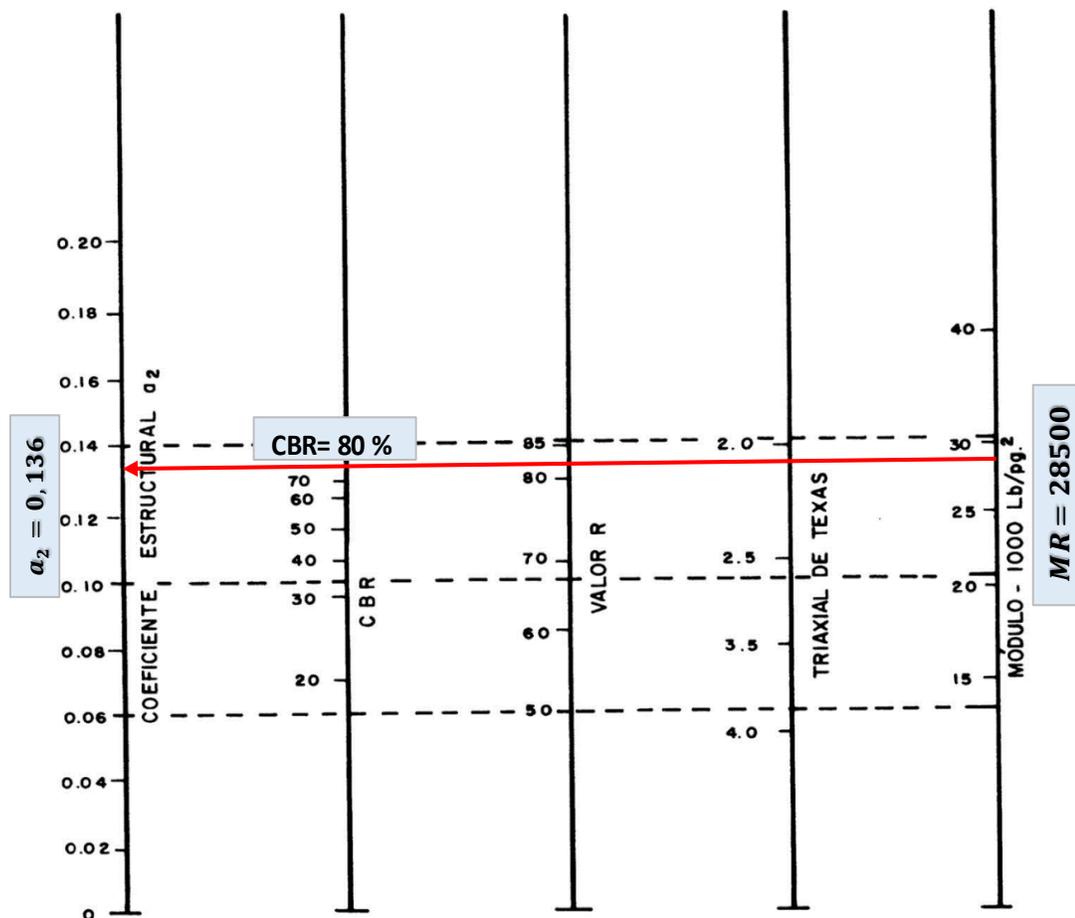
$$SN_1^* = 0.45 * 4"$$

$$SN_1^* = 1.8$$

El valor del coeficiente estructural de capa de base granular a_2 se determina con el uso del nomograma de la guía AASHTO, en el art. 1003.03 de la NIC-2000 se especifica que el CBR del material a utilizar debe ser igual o mayor del 80%; el banco de material "Las Viejitas" cumple con este criterio ya que su CBR es de 80%, por lo tanto no es necesario utilizar base estabilizada con cemento entonces:

$$a_2 = 0.136; MR = 28,500 \text{ Psi}$$

Figura N°9: Coeficiente Estructural a_2 , Módulo Resiliente, para Base Granular



Fuente: AASHTO 93. Figura 8, pág. 3-34

ECUACIÓN DEL NOMOGRAMA

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{ PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{10.94}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.352 * \log_{10} M_R - 8.07$$

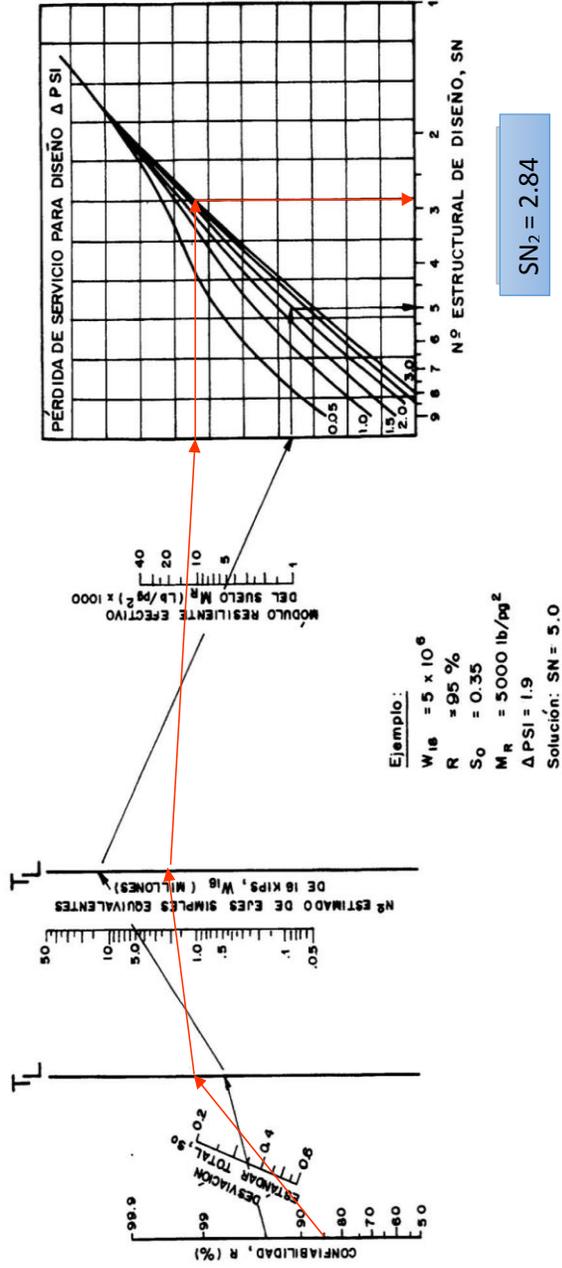


Figura 5.33 – Gráfica de diseño para pavimento flexible basada en valores promedio de los diferentes datos de entrada.

El número estructural requerido según el nomograma es $SN_{req} = 2.84$

Cálculo del Espesor de la Base D_2

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SN_1^*)}{a_2 m_2} = \frac{(2.84 - 1.8)}{0.136 * 1} = 7.7 \approx 8 \text{ pulgadas} \therefore \text{cumple con el espesor mínimo}$$

\therefore el SN_2^* absorbido por la base es $= a_2 * m_2 * D_2 = 0.136 * 1 * 7.7 = 1.05$

$$\text{COMPROBACION: } SN_1^* + SN_2^* \geq SN_{req}$$

$$1.8 + 1.05 \geq 2.84$$

$$2.85 \geq 2.84 \text{ OK!}$$

En este caso las cargas equivalentes está en el intervalo de 500,000 – 2,000,000 por lo tanto el espesor mínimo es de 15 cm según la siguiente tabla:

Tabla N°32: Espesores mínimos para capas de concreto asfáltico y base, en función del tráfico esperado.

Cargas equivalentes (periodo diseño)	Espesor mínimo (cm)	
	Mezcla asfáltica (todas las capas)	Base y/o sub- Base granular
< 50.000	2,5 (*)	10,0
50.000 - 150.000	5,0	10,0
150.000 - 500.000	6,25	10,0
500.000 - 2.000.000	7,5	15,0
2.000.000 - 7.000.000	8,75	15,0
> 7.000.000	10,0	15,0

(*) o tratamiento superficial, según tipo de vía

Fuente: AASHTO-93, Tabla XI, pág. 3-46.

En base al análisis y a los resultados obtenidos, la estructura de pavimento del tramo de carretera Estelí-Miraflor quedará conformada por una Base de 8 pulgadas, colchón de arena de 2 pulgadas y una capa de rodamiento de 4 pulgadas.

Figura N°11: Estructura de pavimento del tramo de carretera Estelí-Miraflor.

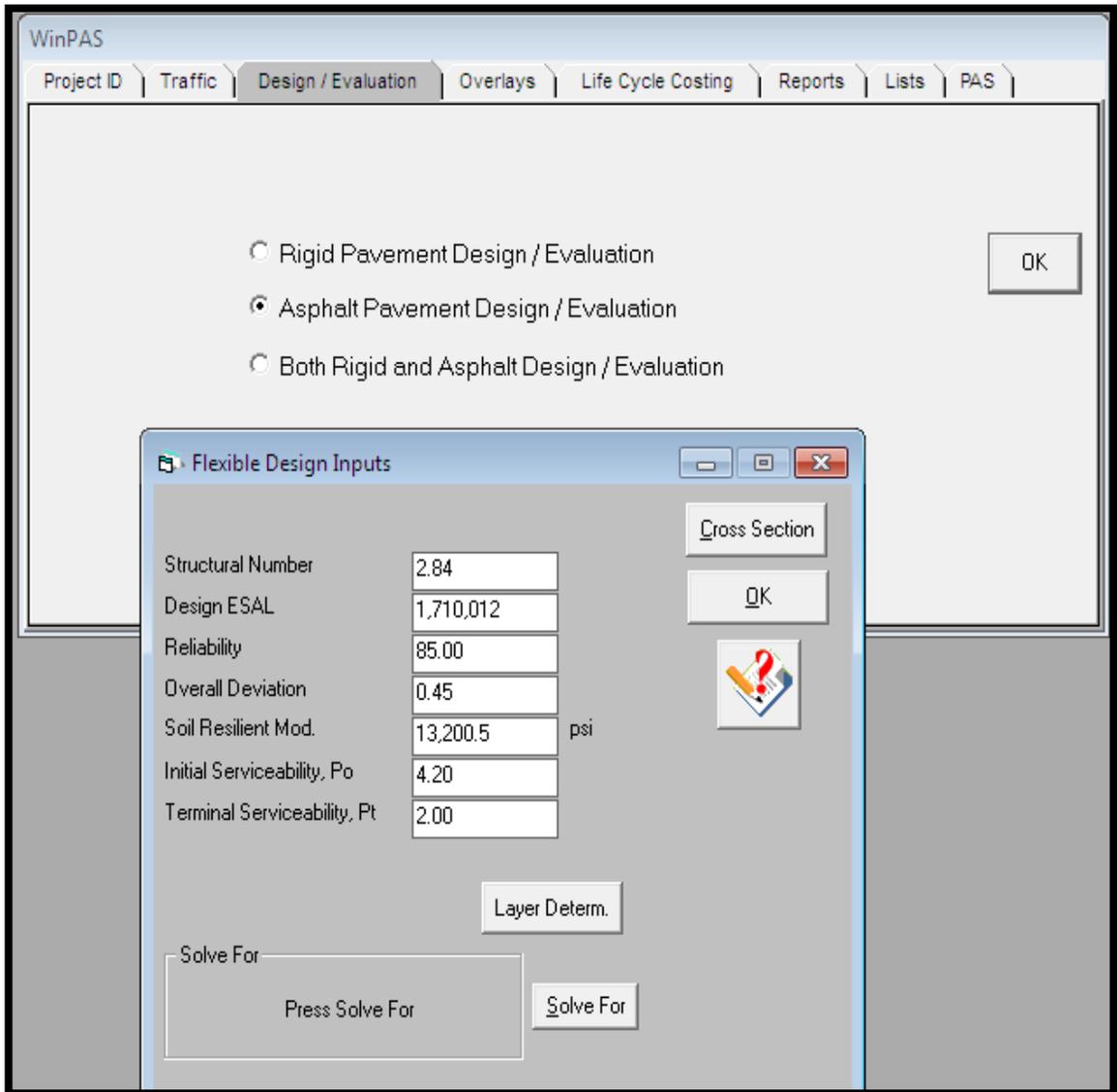


Fuente: Elaboración Propia

III.3 Verificación de resultados con el Programa WinPAS

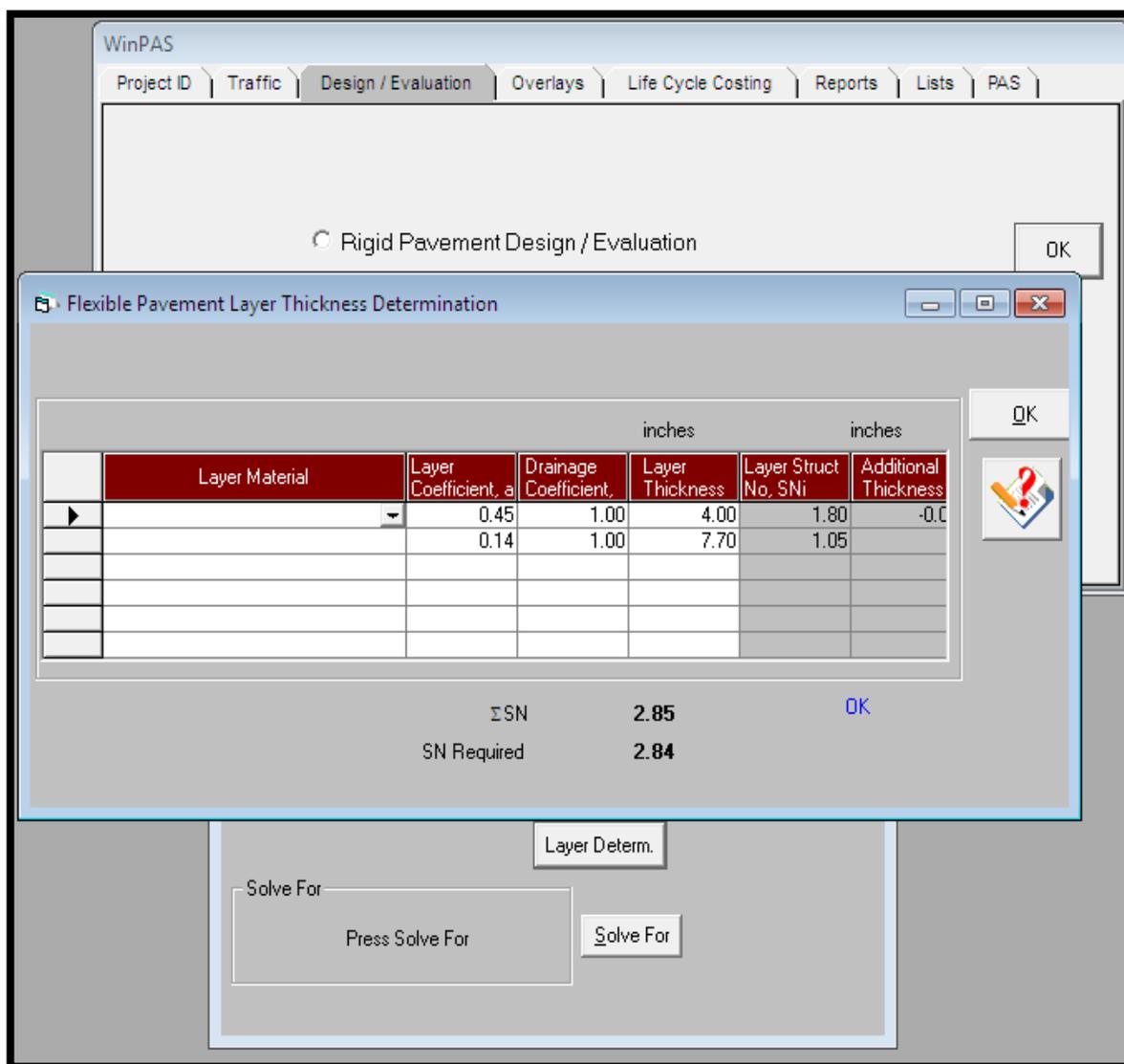
Como alternativa y a manera de verificación, se calculan los valores de los espesores de las capas de la estructura de pavimento empleando el programa WinPAS.

Figura N°12: Inserción de datos en el software WinPAS



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N°13: Verificación de resultados con el software WinPAS



Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

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

- En el Estudio de Tráfico
 - Se obtuvo un TPDA de 721 vehículos/día.
 - Se utilizó una tasa de crecimiento para el Tráfico Liviano del 4.02%, para el Transporte de Carga de 1.75% y para el Transporte de Pasajeros de 3.33%.
 - Se obtuvo el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL's) o $W_{18} = 1,710,012$ y por ende el percentil de diseño de 87.5%.

- En el Estudio Geotécnico
 - Los suelos existentes a lo largo del tramo está compuesta en su mayoría de grava con arenas limosas o arcillosas del tipo A-2-6.
 - Como fuente de materiales se consideró utilizar el Banco Las Viejitas, debido a que cumple su granulometría, su índice de plasticidad y resistencia (CBR al 95% de 80%).
 - Se obtuvo un CBR de diseño para la sub-rasante de 20%.

- En el Diseño de Pavimento
 - Los coeficientes de capa obtenidos fueron: $a_1 = 0.45$ este coeficiente estructural ya está definido para la capa de rodamiento (Adoquín) y $a_2 = 0.136$ haciendo uso del nomograma en función del Módulo Resiliente para base granular.
 - Los espesores resultantes fueron de: 4 pulgadas para la carpeta de rodamiento (adoquín), 5 cm colchón de arena y 8 pulgadas para la base.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe realizar aforos vehiculares de manera continua, con el propósito de obtener un mejor análisis del comportamiento del tránsito y así poder hacer una comparación con el número de cargas estimado en el diseño, para establecer medidas de control para el daño.
- ✓ En la elaboración de la capa base, se debe constatar que el material no este contaminado, que esté libre de cualquier otro material, ya sea bolsas, trozos de árboles o rocas muy grandes, ya que esto disminuirá la resistencia de la estructura.
- ✓ Se recomienda que la arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular, uniforme y no deberá contener más del 3% (en peso) de limo, arcilla o de ambos. Su graduación será tal que pase 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.
- ✓ En la colocación de adoquines se debe realizar con mucho cuidado, no se debe colocar adoquines fisurados y deben de estar libres de cualquier otro material que lo contamine, el tamaño de los adoquines debe ser uniforme nada de irregularidades.
- ✓ Efectuar una debida supervisión durante el período de construcción, primeramente en la estabilización de los materiales y en el cumplimiento de los espesores de diseño de las capas estructurales.

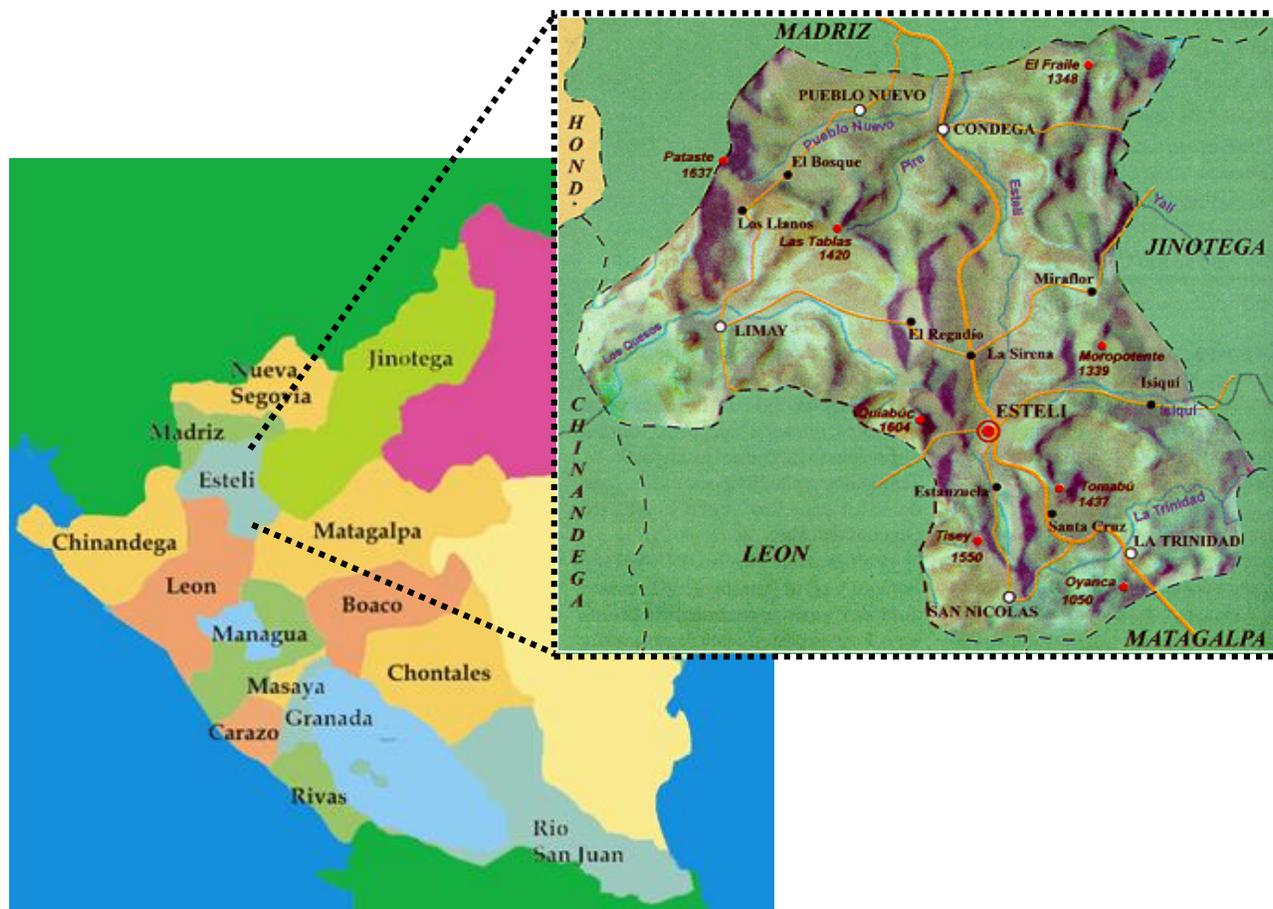
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO, e. a. (93). Diseño de Pavimentos AASHTO 93 (5ta edición). San Juan: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.
- Fonseca, A. M. (2011). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras 2da.
- Hoel, N. J. (2005). Ingeniería de Tránsito y carreteras. México: International Thomson Editores, S.A de C.V.
- Infraestructura, M. d. (2000). Especificaciones Técnicas NIC 2000. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- Infraestructura, M. d. (2010). Anuario de Tráfico. Managua: División de Administración Vial.
- Jorge, Coronado Iturbide. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.
- SIECA. (2002). Manual Centroamericano de Normas 2da. Guatemala: Secretaria de la Integración Económica Centroamericana.
- Villalaz, C. (1976-1980). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Monterrey-México: Limusa Noriega Editores.

ANEXOS



ANEXO I. MACROLOCALIZACIÓN



Departamento de Estelí, Municipio de Estelí, República de Nicaragua.

ANEXO II. MICROLOCALIZACIÓN



Tramo en estudio, iniciando en la gasolinera star mar y culminando en la comunidad las Lajas (Miraflor)

ANEXO III. FOTOGRAFÍAS

Sección transversal del tramo Estelí – Miraflores.



Fuente: Elaboración Propia

Situación actual del tramo y a la derecha la fábrica A J FERNANDEZ CIGARS.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO IV: CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN LA AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6					A-2-7
Porcentaje que pasa: Nº 10 (2mm) Nº 40 (0,425mm) Nº 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx			- - 36 mín				
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40 Límite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx		- NP (1)	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

Fuente: (Crespo Villalaz).

ANEXO V. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO			
SUELOS GRANO GRUESO	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% -> GW, GP, SW, SP. >12% -> GM, GC, SM, SC. 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo.			
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GP Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.				
		Arenas limpias (pocos o sin finos)	GM Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.		
			GC Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.				
	ARENAS Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.		
			SP Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.				
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo.			Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan	
			SC Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.				
		SUELOS GRANO FINO	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50			ML Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plásticidad.	
						CL Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.	
OL Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.							
Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	MH Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.						
	CH Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.						
	OH Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.						
	PT Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.						
Suelos muy orgánicos							

Fuente: (Crespo Villalaz).

ANEXO IX. FACTORES EQUIVALENTES DE CARGAS, EJES SIMPLES.

Tabla 3.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $p_t = 2.0$

Carga por eje (kips) (KN)		SN pulg (mm)					
		1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	17.8	.002	.003	.002	0.002	.002	.002
6	26.7	.009	.012	.011	0.10	.009	.009
8	35.6	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	44.5	.075	.085	.090	.085	0.79	.076
12	53.4	.165	.177	.189	.183	.174	.168
14	62.3	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	71.2	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	89.0	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

INTERPOLACION		
Carga(Kip)	=	ESAL
2	=	0.0002
2.2	=	X
4	=	0.002

$$X = \frac{(2.2 - 2) * (0.002 - 0.0002)}{(4 - 2)} + 0.0002 = 0.00038$$

ANEXO X. FACTORES EQUIVALENTES DE CARGAS, EJES TÁNDEM.

Tabla 3.2. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, $p_t = 2.0$

Carga por eje (kips)	(KN)	SN					
		1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	26.7	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	35.6	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	44.5	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	53.4	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	62.3	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	71.2	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	80.0	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	89.0	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	97.9	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	106.8	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	115.7	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	124.6	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	133.5	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	142.4	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160.0	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178.0	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

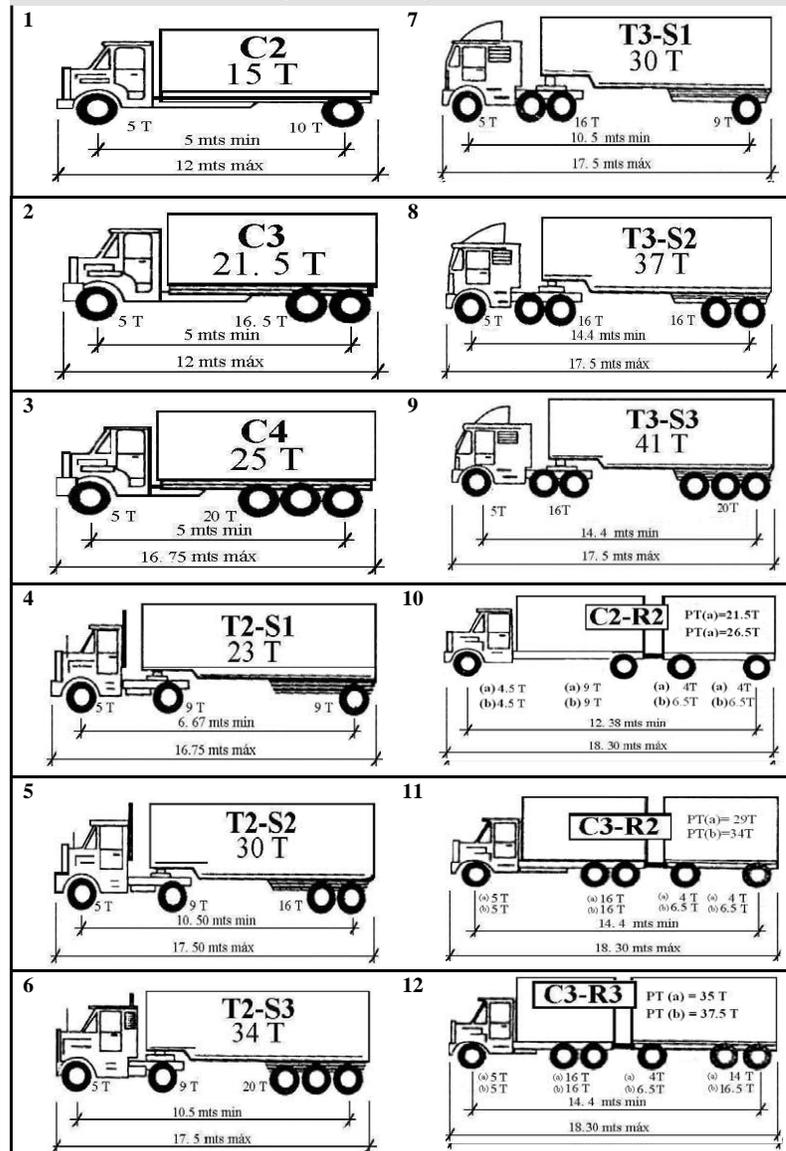
INTERPOLACION		
Carga(Kip)	=	ESAL
34	=	1,08
35,2	=	X
36	=	1,38

$$X = \frac{(35.2 - 34) * (1.38 - 1.08)}{(36 - 34) + (1.08)} = 1.26$$

ANEXO XI. DIAGRAMA DE VEHÍCULOS PESADOS

MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
DIRECCIÓN GENERAL DE VIALIDAD Departamento de Pesos
y Dimensiones

Diagrama de Cargas Permisible



Nota: El Pesos máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.

(a): Eje sencillo, llanta sencilla.

(b): Eje sencillo, llanta doble

* Según vehículo cargado o descargado excederá en: Ancho: 2.60 mts, Alto: 4.15 mts, Largo: 2 ejes 12 mts, 3 ejes 12 mts, semiremolque 17.50 mts, otras combinaciones desde 18.30 mts hasta 23 mts máximo.

* Para los ejes dobles (tandem) y triple la separación de centros comprendidos entre las ruedas es entre 1.0 y 1.30 mts.

Fuente (Ministerio de Transporte e Infraestructura vial (MTI))

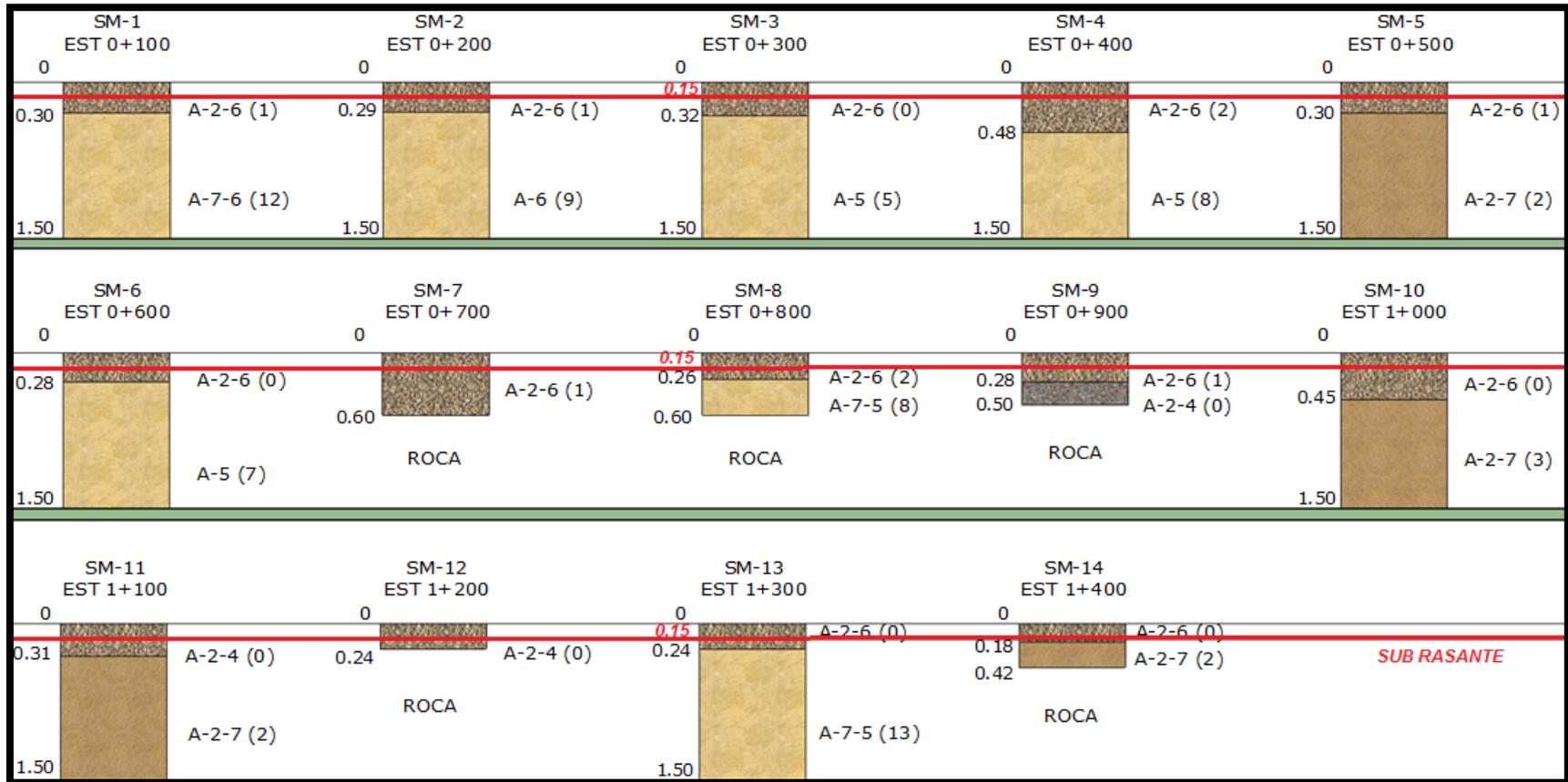
ANEXO VI. RESULTADOS DE ENSAYES DE LABORATORIO.

Sondeo No.	Estaciones	Profundidad (m)	Muestra No.	Porcentaje que pasa el Tamiz						Límite Líquido(%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Clasificación			CBR a Compactación		
				1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200				Color	AASHTO (IG)	S.U.C.S	90%	95%	100%
SM-1	0+100	0.00 - 0.30	1	100	100	100	91	76	26	37	18	19	Café Claro	A-2-6 (1)	GC	10	23	34
		0.30 - 1.50	2	100	100	100	96	82	67	43	21	22	Amarillenta	A-7-6 (12)	CL	3	5	7
SM-2	0+200	0.00 - 0.29	1	100	100	100	93	78	30	39	22	17	Café Claro	A-2-6 (1)	GC	11	20	32
		0.29 - 1.50	2	100	100	100	94	80	70	40	26	14	Amarillenta	A-6 (9)	CL	4	6	8
SM-3	0+300	0.00 - 0.32	1	100	100	100	87	71	34	31	19	12	Café Claro	A-2-6 (0)	GC	8	24	35
		0.32 - 1.50	2	85	75	63	52	35	60	43	38	5	Amarillenta	A-5 (5)	CL	3	10	16
SM-4	0+400	0.00 - 0.48	1	100	100	100	92	77	34	37	19	18	Café Claro	A-2-6 (2)	GC	11	19	36
		0.48 - 1.50	2	87	77	65	50	37	75	41	34	7	Amarillenta	A-5 (8)	CL	8	10	15
SM-5	0+500	0.00-0.30	1	100	100	100	91	75	25	35	14	21	Café Claro	A-2-6 (1)	GC	10	22	32
		0.30-1.50	2	100	100	100	96	82	29	41	15	26	Café Oscuro	A-2-7 (2)	GM	11	15	28
SM-6	0+600	0.00-0.28	1	100	100	100	91	74	27	40	28	12	Café Claro	A-2-6 (0)	GC	9	21	31
		0.28-1.50	2	86	77	65	50	37	69	44	36	8	Amarillenta	A-5 (7)	CL	7	9	14
SM-7	0+700	0.00-0.60	1	98	100	99	93	78	26	39	22	17	Café Claro	A-2-6 (1)	GC	10	20	35
SM-8	0+800	0.00-0.26	1	96	100	96	91	76	35	37	18	19	Café Claro	A-2-6 (2)	GC	11	19	36
		0.26-0.60	2	100	100	100	95	81	69	42	30	12	Amarillenta	A-7-5 (8)	CL	5	7	9
SM-9	0+900	0.00-0.28	1	100	100	99	90	75	24	31	12	19	Café Claro	A-2-6 (1)	GC	8	24	35
		0.28-0.50	2	99	99	94	87	76	28	40	30	10	Café Claro	A-2-4 (0)	GC	21	25	32
SM-10	1+000	0.00-0.45	1	99	98	95	86	70	30	33	22	11	Café Claro	A-2-6 (0)	GC	19	25	31
		0.45-1.50	2	100	100	99	94	80	30	45	25	20	Café Oscuro	A-2-7 (3)	GM	9	17	20
SM-11	1+100	0.00-0.31	1	100	98	96	88	77	29	30	25	5	Café Claro	A-2-4 (0)	GC	20	23	33
		0.31-1.50	2	100	100	100	96	82	26	41	15	26	Café Oscuro	A-2-7 (2)	GM	9	15	27
SM-12	1+200	0.00-0.24	1	100	99	94	52	35	17	27	17	10	Café Claro	A-2-4 (0)	GC	20	25	35
SM-13	1+300	0.00-0.24	1	100	100	99	87	71	20	31	19	12	Café Claro	A-2-6 (0)	GC	10	23	34
		0.24-1.50	2	98	100	100	93	80	71	50	30	20	Amarillenta	A-7-5 (13)	CH	3	5	8
SM-14	1+400	0.00-0.18	1	100	100	100	90	73	19	39	19	20	Café Claro	A-2-6 (0)	GC	8	24	35
		0.18-0.42	2	100	100	98	96	82	25	41	15	26	Café Oscuro	A-2-7 (2)	GM	9	15	20

Las celdas color amarillo son las tomadas para la acumulación del CBR de Diseño.

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO VII. ESTRATIGRAFÍA DE LA VÍA (PROFUNDIDADES EXPRESADAS EN METROS)



Fuente: Elaboración Propia

