UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DE ADOQUÍN DE 875 METROS LINEALES EN LA CALLE PRINCIPAL DE LOS BARRIOS ¨LAS TRINCHERAS, SAN ANTONIO Y ALEJANDRO RAMOS DE LA CIUDAD DE JINOTEGA”.

Para optar al título de ingeniero civil

Presentado por:

Br. Darwing José Reyes Hernández

Tutor:

MSc. Lucas Bernardo Calvo Rojas

Managua, Mayo 2017

Índice

Capítulo I. Generalidades
1.1 Introducción 1
1.2 Antecedentes 2
1.3 Justificación 3
1.4 Objetivos 4
1.4.1 Objetivo General: 4
1.4.2 Objetivos Específicos: 4
Capítulo II. Estudio de Tránsito 5
2.1 Importancia del estudio de tránsito 6
2.2 ¿Qué es un aforo vehicular? 6
2.3 Aforo Vehicular 6
2.4 Volúmenes de Tránsito 7
2.5 Composición vehicular 10
2.6 Periodo de Diseño 11
2.7 Tránsito de Diseño 11
2.8 Factores de Distribución del Tránsito 12
2.8.1 Factor de Distribución por Sentido o Dirección (fs). 12
2.8.2 Factor de Distribución por carril (fc). 12
2.8.3 Factor de Crecimiento (FC). 13
2.9 Desarrollo de las Correlaciones 15
2.9.1 Correlación de las variables 18
2.9.2 Correlación para afectar vehículos livianos de pasajeros. 18
2.9.3 Correlación para afectar vehículos pesados de pasajeros. 19
2.9.4 Correlación para afectar vehiculos de carga y vehiculos pesados. 20
2.10 Determinación de Factores de Ejes Equivalentes 24
2.10.1 Ejes Equivalentes (ESAL'S) 24
Capítulo III. Estudio de Suelo 28
3.1 Los Suelos 29
3.2 Especificaciones de materiales para estructura de pavimento de adoquín. 30
3.4 Sub – rasante. 31
3.5 Sub-Base 31
3.6 Base 32
3.7 Trabajos de campo y ensayos de laboratorio 33

3.7.1 Importancia del conocimiento del suelo 34
3.8 Clasificación de las muestras 35
3.8.1 Bº Las Trincheras 35
3.8.2 Bº San Antonio 36
3.8.3 Bº Alejandro Ramos 38
3.9 Resultados Obtenidos 43
3.9.1 Bº Las Trincheras y San Antonio. 43
3.9.2 Bº Alejandro Ramos 44
3.10 Fuentes de Materiales 44
3.10.1 Fuente de Materiales “Banco Casa Sola”. 44
3.10.2 Fuente de Materiales “Cubalcan” 45
3.10.3 Fuente de Materiales “El Canal” 46
3.10.4 Fuente de Materiales “Diriangen” 46
3.10.5 Fuente de Materiales “Diriangen Borde” 47
3.10.6 Fuente de Materiales “Cisa Agro” 48
4. Calculo del CBR de Diseño 49
Capítulo IV. Diseño de Capa de Rodamiento de adoquín 55
4.1 Diseño de capa de rodamiento de adoquín 56
4.2 Diseño de Capa de Rodamiento con el AASHTO-93: 56
4.2.1 Confiabilidad (R) 57
4.2.2 Desviación Estándar (So). 57
4.2.3 Coeficiente de Drenaje (m). 58
4.2.4 Serviciabilidad (Pt). 59
4.2.5 Módulo de Resiliencia (MR). 60
4.3 Coeficiente de capas 61
4.3.1 Carpeta de rodamiento: (a1) 61
4.3.2 Bases Granulares (a2) 62
4.3.3 Sub-base: (a3) 63
4.4 Cálculo de los Espesores del Pavimento de adoquín. 64
4.4.1 Números estructurales (SN). 64
4.5 Calculo de los Espesores. 66
5. Conclusiones y Recomendaciones 74
6. Bibliografía 78
Anexos

Índice de Tablas

Tabla 1. Tránsito promedio diario (diurno). 7
Tabla 2. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). 9
Tabla 3. Periodo de Diseño..... 11
Tabla 4. Factores de Distribución por Carril. 12
Tabla 5. Producto Interno Bruto (PIB). 13
Tabla 6. Consumo de Combustible. 14
Tabla 7. Crecimiento Poblacional. 14
Tabla 8. Parque vehicular. 14
Tabla 9. Parque vehicular vs Crecimiento poblacional. 18
Tabla 10. Parque vehicular vs Consumo de combustible. 19
Tabla 11. Parque vehicular vs Producto Interno Bruto (PIB). 20
Tabla 12. Tasa Anual de Crecimiento respecto al tiempo. 21
Tabla 13. Tránsito de Diseño 23
Tabla 14. Ejemplo de Interpolaciones lineales. 25
Tabla 15. ESAL'S de Diseño. 27
Tabla 16. Especificaciones para terraplenes y materiales para sub-rasante. 31
Tabla 17. Especificaciones para material base. 32
Tabla 18. Ensayos de laboratorio. 33
Tabla 19. Sondeos Manuales Bo. Las Trincheras. 39
Tabla 20. Sondeos Manuales Bo. San Antonio y Alejandro Ramos. 40
Tabla 21. Fuentes de Materiales. 41
Tabla 22. Fuentes de Materiales. 42
Tabla 23. Límites para la selección de resistencias. 49
Tabla 24. Clasificación del material en base al CBR. 50
Tabla 25. Límites de Resistencia de los sondeos. 52
Tabla 26. Resumen Sm-15 “Bo. Las Trincheras”. 52
Tabla 27. Límites de Resistencia de los sondeos. 53
Tabla 28. Niveles de seguridad para Subrasante. 54
Tabla 29. Niveles de Confiabilidad. 57
Tabla 30. Desviación Estándar. 57
Tabla 31. Coeficientes de Drenaje. 58
Tabla 32. Coeficientes de Drenaje. 58
Tabla 33. Correlaciones de Criterios del Módulo de Resiliencia. 60
Tabla 34. Espesores minimos. 66
Tabla 35. Resumen de Espesores Calculados. 73
Tabla 36. Formato de conteo vehicular del día lunes. IV
Tabla 37. Formato de conteo vehicular del día martes. V
Tabla 38. Formato de conteo vehicular del día miércoles. VI

Tabla 39. Formato de conteo vehicular del día jueves. VII
Tabla 40. Formato de conteo vehicular del día viernes. VIII
Tabla 41. Factores de ajuste para TPDA, MTI 2015. IX
Tabla 42. Est. de Corta Duración No. 315 (El Guayacán-El Naranjo-Jinotega). X
Tabla 43. Tipología y Descripción vehicular de Conteos de Trafico MTI. XI
Tabla 44. Consumo de Combustible. XII
Tabla 45. Crecimiento Poblacional del Departamento de Jinotega. XIII
Tabla 46. Concentración Vehicular del Departamento de Jinotega. XIII
Tabla 47. Producto Interno Bruto (PIB) en Millones de Córdobas. XIV
Tabla 48. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, SN=5, pt= 2.0 XV
Tabla 49. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, SN=5, pt= 2.0 XVI
Tabla 50. Diagrama de vehículos pesados. XVII
Tabla 51. Peso Máximo de Vehículos livianos en Toneladas y Libras. XVIII
Tabla 52. Peso Máximo de Vehículos livianos en Kips y Libras. XVIII
Tabla 53. Clasificación de Suelos según A.S.T.M D-3282/ A.A.S.H.T.O M-145 . XIX

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Composición vehicular. 10
Gráfico 2. Correlación de las variables del tráfico respecto al tiempo. 16
Gráfico 3. Correlación Parque vehicular – Crecimiento poblacional. 18
Gráfico 4. Correlación Parque vehicular – Crecimiento poblacional. 19
Gráfico 5. Correlación Parque vehicular – Producto Interno Bruto (PIB). 20
Gráfico 6. Clasificación de Suelos Relacionado con Parámetros de Resistencia – AASHTO-93. 51
Gráfico 7. CBR de Diseño 53
Gráfico 8. Nomograma para coeficientes de capas de bases granulares. 62
Gráfico 9. Nomograma para coeficientes de capas Subbase granulares. 63
Gráfico 10. Abaco de Diseño AASHTO-93 para pavimentos flexibles. 65
Gráfico 11. Nomograma para coeficientes de capas de bases granulares. 69
Gráfico 12. Nomograma para coeficientes de capas Subbase granulares. 70
Gráfico 13. Sección típica de las capas estructurales para la calzada. 73

Dedicatoria

A Dios

Primeramente a Dios por darnos la oportunidad de vivir y por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestro corazón e iluminar nuestra mente cuando conseguimos el humilde consejo de aquellas grandes personas que pone en nuestro camino que han sido soporte, compañía y finalmente por llenarnos de salud para lograr nuestros objetivos además de su infinita bondad y amor.

A mi familia

A mi madre la Sra. Alma Nubia Espinoza Matamoros y mis tíos el Sr. Donald Francisco Ramírez Espinoza y la Sra. Lineth Azucena Reyes Espinoza, que por su apoyo incondicional, sus consejos y valores enseñados, la motivación y educación constante que me permitieron ser una persona de bien, por los ejemplos de perseverancia que los caracterizan, por el valor mostrado para salir adelante y creer en todo momento en mi persona pero más que todo, por su amor. Gracias por tu esfuerzo y sacrificio madre de poder mandarme a la Universidad Nacional de Ingeniería tan prestigiosa llena de buena educación y formarme en una carrera de gran futuro.

A mi tutor MSc. Bernardo Calvo Rojas

Por su apoyo para llevar a cabo la culminación de mi trabajo de monografía.

Agradecimiento

Primeramente a Dios todo poderoso por bendecirme y por llevarme hasta la meta que me propuse en esta vida de culminar mis estudios satisfactoriamente formándome como un profesional de la Universidad Nacional de Ingeniería.

A mi familia porque me brindaron apoyo tanto moral como económicamente para seguir estudiando y lograr el objetivo de formarme profesional y tener un futuro mejor siendo de gran orgullo para mi familia.

A la Universidad Nacional de Ingeniería por formarme como Ingeniero Civil y todas aquellas personas, profesores y amigos que en algún momento nos brindaron un valioso consejo, una palabra de aliento, de ánimo para poder seguir de pie en el camino de la vida.

"El señor es mi pastor nada me faltara, en verdes pastos el me hace reposar. A las aguas de descanso me conduce y reconforta mi alma. Por el camino del bueno me dirige, por amor de su nombre. Aunque pase por quebradas oscuras, no temo ningún mal, porque tú estás conmigo con tu vara y tu bastón, y al verlas voy sin miedo. La mesa has preparado para mí frente a mis adversarios, con aceites perfumas mi cabeza y rellenas mi copa. Irán conmigo la dicha y tu favor mientras dura mi vida, mi mansión será la casa del Señora por largos, largos días". **Salmo 23**

Resumen del tema

El proyecto consiste básicamente en diseñar una estructura de pavimento de adoquín para un tramo de 875 metros lineales de calle, conformada por tres barrios que son: “Las Trincheras, San Antonio y Alejandro Ramos” del Municipio de Jinotega, Departamento de Jinotega.

En este trabajo se tomaron en cuenta tres etapas fundamentales para llevar a cabo el diseño, que son los siguientes:

Capítulo I. Generalidades: Abarca las generalidades del proyecto, tales como la introducción al uso de pavimentos de adoquín en contribución a la sociedad, los antecedentes, la justificación del uso de un pavimento de adoquín y los objetivos que se plantean para realizar.

Capítulo II. Estudio de Tránsito: Corresponde a todos aquellos estudios que tienen que ver con el tránsito que circula sobre la vía, las proyecciones del mismo en base a las tasas de crecimiento, así como el cálculo de las repeticiones que se esperan de los diferentes tipos de ejes, durante el periodo para el cual se diseñara la vía.

Capítulo III. Análisis del Estudio de Suelos: Encierra los aspectos fundamentales y el estudio de las características físico-mecánicas de los suelos sobre los que se apoyara la capa de rodamiento de adoquín, así también como el análisis de aquellas fuentes de materiales que puedan ser útiles en la etapa constructiva de la calzada.

Capítulo IV. Diseño de Capa de Rodamiento de adoquín: Prácticamente en este capítulo se da la parte complementaria y esencial de la investigación que corresponde al cálculo del diseño de la estructura del pavimento de adoquín, es decir, la determinación de los espesores de cada capa de la estructura.

Capítulo I

Generalidades

1.1 Introducción

Las carreteras y los medios de transporte, representan una contribución decisiva al desarrollo económico y crecimiento de un país, aportando a su vez, muchos beneficios sociales. Ya que, tener buenas carreteras significa tener fácil comunicación entre poblaciones facilitando la movilización de bienes y servicios.

Una red vial en mal estado, obstaculiza la movilidad, eleva de manera significativa los costos de operación vehicular, incrementa las tasas de accidentalidad y sus correspondientes costos humanos y materiales, agrava el aislamiento, la pobreza, mala salud y el analfabetismo en las zonas rurales principalmente. (MTI, Biblioteca Virtual, 2016) http://biblioteca.mti.gob.ni/consecuencias

El trabajo consiste en el diseño de estructura de pavimento de adoquín de 875 metros lineales de la entrada principal norte con acceso directo al centro de la ciudad de Jinotega. Esta calle cuenta con tres barrios que son: Las Trincheras, San Antonio, Alejandro Ramos. Ver Anexos I.2, pág. 1

Este tramo mencionado se encuentra en estado regular ya que parte del barrio de Las Trincheras (0+460) ha permanecido en un estado de caminos de todo tiempo a caminos de estación seca. (Ver anexos I.3, pág. 1); lo cual se ajustan a la topografía del terreno, permitiendo la circulación del tráfico todo el año y la superficie de rodamiento está conformada por suelos estables tratados solamente por procesos de compactación, sin implementar material selecto.

Para el resto del tramo (0+415) que son los barrios San Antonio y Alejandro Ramos de nivel urbanístico para la ciudad igualmente desde el año 2007 no hay una infraestructura de pavimento con diseño apropiado; ya que en las oficinas de obras públicas de la Alcaldía Municipal de Jinotega no se cuenta con un estudio de diseño completo para este tramo que propuso la Alcaldía como tema de investigación.

1.2 Antecedentes

En la calle principal de este acceso a la ciudad del municipio de Jinotega. (Ver Anexos I.3, pág. 2); desafortunadamente nunca se han realizado obras civiles de gran magnitud. El único aporte que esta vía ha recibido es la construcción de cunetas en el año 2007 por la Alcaldía de la ciudad de Jinotega.

El 09 de marzo del año 2008 se aplicó la etapa de corte y relleno con material explotado del sector del banco de préstamo "La Pelota", un cerro de material rocoso que desde los años 2004 se ha utilizado como un banco de extracción de material. Desde entonces esta vía ha sido abandonada en relación a la ejecución de proyectos de infraestructura.

Desde las postrimerías de la década del 50, se puso más énfasis en las propiedades fundamentales de la sub-rasante y se idearon ensayos para caracterizar mejor a estos suelos. Ensayos usando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como el CBR, compresión simple son reemplazados por ensayos dinámicos y de repetición de cargas tales como el ensayo del módulo resiliente, que representan mucho mejor lo que sucede bajo un pavimento en lo concerniente a tensiones y deformaciones. (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos)

En Nicaragua, la utilización de los adoquines en la pavimentación de las vías rurales ha venido incrementándose en los últimos años, retomando la experiencia que inició en 1972, después del terremoto de Managua. Esta modalidad de pavimentos se inicia con el diseño y la construcción de los 31.70 km, de la carretera Empalme Santa Rita – Empalme Masachapa, realizada en el lapso de seis años (1972 – 1977); fue diseñada, construida y supervisada de forma directa por el entonces Ministerio de Obras Públicas, actualmente Ministerio de Transporte e Infraestructura. (MTI, Biblioteca Virtual, 2016). http://biblioteca.mti.gob.ni/

1.3 Justificación

Este proyecto tiene como propósito plantear un estudio de diseño de pavimento de adoquín para los barrios mencionados de la entrada principal norte con acceso directo al centro de la ciudad; ya que no existe un diseño para este tramo que es de suma importancia porque tanto para las dos entradas nortes como las dos entradas de la parte sur de la ciudad con el tiempo en estos accesos se está generando más ampliación y desarrollo de zonas urbanísticas, comerciales, etc. Además aportaría también a la continuidad de la estructura de acera existente desde el año 2007 que se ejecutó en este acceso que es fundamental para la ciudad.

La realización de este trabajo de diseño tiene como fin contribuir a dar solución al problema existente en este tramo de 875 metros lineales. Y poder ayudar a mejorar la red vial ya que el desarrollo de un país depende significativamente de sus carreteras, principalmente cuando el país es inminentemente agropecuario.

El diseño para la capa de rodamiento será de adoquín aplicando el método del manual de diseños de pavimentos AASHTO 93, el cual se basa en variables tales como la confiabilidad, serviciabilidad, el tránsito, características mecánicas del suelo; tales como el CBR, Limite líquido, índice de plasticidad, granulometría.

Sin duda alguna los más beneficiados serán los pobladores cercanos al área de influencia directa del tramo, los transportistas locales (taxistas) ya que se disminuirían tiempos de viaje, desperfectos mecánicos y en general para el desarrollo e imagen de la ciudad de Jinotega.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

- Diseñar estructura de pavimento de adoquín de 875 metros lineales en la calle principal de los barrios “Las Trincheras, San Antonio y Alejandro Ramos” de la ciudad de Jinotega.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Realizar un estudio de tránsito para determinar el número de repeticiones esperadas de ejes equivalentes ESAL'S que transitan por esta vía.

- Interpretar los estudios de suelos realizados por el laboratorio de materiales y suelo de la Universidad Nacional de Ingeniería, con el propósito de conocer las características físico-mecánicas del suelo y obtener el CBR de diseño de la Subrasante.

- Tomar en cuenta las especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes conocida como NIC-2000, para respetar los requerimientos mínimos de Base, Subbase y Subrasante.

- Aplicar el método de diseño de pavimentos AASHTO 93, para determinar los espesores de capas de la estructura de pavimento que soportara las cargas de diseño impuestas por la acción del tránsito.

Capítulo II

Estudio de Tránsito

2.1 Importancia del estudio de tránsito

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.

2.2 ¿Qué es un aforo vehicular?

El aforo es una muestra de los volúmenes. Prácticamente aforo vehicular es el conteo de vehículos, para el periodo en el que se realiza y tienen por objetivo cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o a una intersección.

2.3 Aforo Vehicular

Se realizó un aforo por conteo vehicular durante los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes en la estación donde da inicio el tramo de diseño 0+875. El punto donde se ubicó la estación de aforo es en el barrio "las Trincheras", exactamente a 25 metros donde da inicio el acceso a esta calle principal que atraviesa los barrios las Trincheras, San Antonio y Alejandro Ramos. Este permitirá calcular los volúmenes de tráfico, la capacidad de la vía y los niveles de servicio.

Se utilizaron los anuarios y revistas de tráfico del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), contabilizando el tráfico que recorrió la vía según la clasificación vehicular para vehículos livianos, pesados de pasajeros, pesados de carga y vehículos pesados. El aforo consiste en un tiempo de conteo de doce horas cada día de 5:00 a.m. a 5:00 p.m., para obtener el tránsito promedio diario anual (TPDA). Ver Anexos I.11, pág. 6.

2.4 Volúmenes de Tránsito

La información sobre volúmenes de tránsito es de gran utilidad en la planeación del transporte, diseño vial, operación del tránsito e investigación.

Los conteos realizados en el campo arrojaron los siguientes datos en la Tabla 1, del Tránsito Promedio Diario diurno. En los Anexos I.4 al I.8 de la pág. 7-VIII se puede apreciar el conteo vehicular diurno de 12 horas de los cinco días que se contaron.

Periodo: del 05 al 09 de Septiembre 2016 – **Hora:** (5:00 am – 5:00pm)
Tramo: Las Trincheras, San Antonio y Alejandro Ramos.

$$\boldsymbol{TPDi} = \frac{\boldsymbol{Total\ Vehiculos}}{\mathbf{5}} \qquad \text{(Ecuación № 1)}$$

Tabla 1. Tránsito promedio diario (diurno).

Nº	Grupo	Tipo de vehículo	Total Veh. en el periodo	$TPDi$ (Veh/12hr)
1	Vehículos de pasajeros	Motos	3,986	797
2		Autos	1,119	224
3		Jeep	151	30
4		Camioneta Pick Ups	2,823	565
5		Microbús (Mbus)	100	20
6		Minibús > 15 P	141	28
7		Bus	18	4
8	Vehículos de carga	Liviano de carga	132	26
9		Camión de carga C2	146	29
10		Camión de carga C3	11	2
11		Camión T1-S3<=4	1	1
12	Equipo pesado	Vehículos agrícolas	3	1
13		Vehículos de construcción	7	1
14	Otros	Remolques (coches de equinos)	11	2
Total			**8,649**	**1,730**

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se calcula el valor del TPDA de cada uno de los vehículos según sus características para obtener la sumatoria total del TPDA:

El TPDA se ha tomado como un indicador numérico para diseño, por constituir una medida característica de la circulación de vehículos y por su facilidad de obtención.

Un elemento primario para el diseño de las carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario Anual, conocido como TPDA, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado (días), mayor que un día y menor o igual que un año, divido por el número de días comprendido en ese período de tiempo. (SIECA-2004).

$$\boldsymbol{TPDA} = \frac{\boldsymbol{TA}}{\boldsymbol{365}} \ (\boldsymbol{VPD}) \quad \text{(Ecuación №2)}$$

Para determinar el TPDA del tramo en estudio se realizó el promedio de los datos de los cinco días que se realizó el conteo vehicular. Este promedio de vehículos obtenidos se afectó por el factor día, factor semana y factor expansión de la (Estación de Corta Duración No.315 El Guayacán – El Naranjo – Jinotega). Ver Anexos I.10, pág. 8, estación que está vinculada a la (Estación de Mayor Cobertura No. 300 Sebaco – Quebrada honda).

(Ecuación № 3)

$$\boldsymbol{TPDA = TPD * Factor\ dia * Factor\ semana * Factor\ expansion}$$

Estos valores de los factores de ajustes se encuentran en la Revista de Anuario de Aforos de Tráfico 2015 del Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI. (Ver Anexos I.9, pág. IX), de la Tabla de los Factores de ajuste para TPDA, MTI 2015.

Nota: Con esta nueva metodología el sistema de conteo de tráfico, cuenta con factores diferentes para cada cuatrimestre del año, los que son utilizados de conformidad al periodo de levantamiento de la estación respectiva.

En la siguiente tabla se puede apreciar el Ajuste para el TPDi relacionado con los factores para el cálculo del TPDA:

Tabla 2. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

Tramo: Bo. Las Trincheras - Bo. San Antonio - Bo. Alejandro Ramos															
Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)															
Grupo	**Motos**	**Vehículos de Pasajeros**						**Vehículos de Carga**				**Equipo Pesado**		**Otros**	**Total Vpd**
		Autos	**Jeep**	**Camioneta Pick Ups**	**Microbús (Mbus)**	**Minibús > 15 P**	**Bus**	**C2 Liv**	**C2 > 5 ton**	**C3**	**T1-S3 < = 4e**	**Veh. Const.**	**Veh. Agric.**	**Veh. Trac Animal**	
TPDi	797	224	30	565	20	28	4	26	29	2	1	1	1	2	1,730
Factor día	1.25	1.3	1.32	1.28	1.3	1.07	1.21	1.31	1.51	1.47	1	1	1	1.4	
Factor Semana	0.96	1	0.97	0.93	0.9	0.92	0.99	0.87	0.9	0.9	1	1	1	1.21	
Factor Expansión	0.99	0.95	0.93	0.99	1.01	0.93	1.01	0.91	1.01	0.89	1	1	0.76	0.97	
TPDA	947	277	36	666	24	26	5	27	40	2	1	1	1	3	2,056
Composición T (%)	46.06%	13.47%	1.75%	32.39%	1.16%	1.26%	0.24%	1.31%	1.94%	0.09%	0.04%	0.04%	0.04%	0.14%	100%
	96.35%							**3.40%**				**0.10%**		**0.14%**	
	% Vehículos de Pasajeros							% Vehículos de carga				% E.P		% Otros	

Fuente: Elaboración Propia.

2.5 Composición vehicular

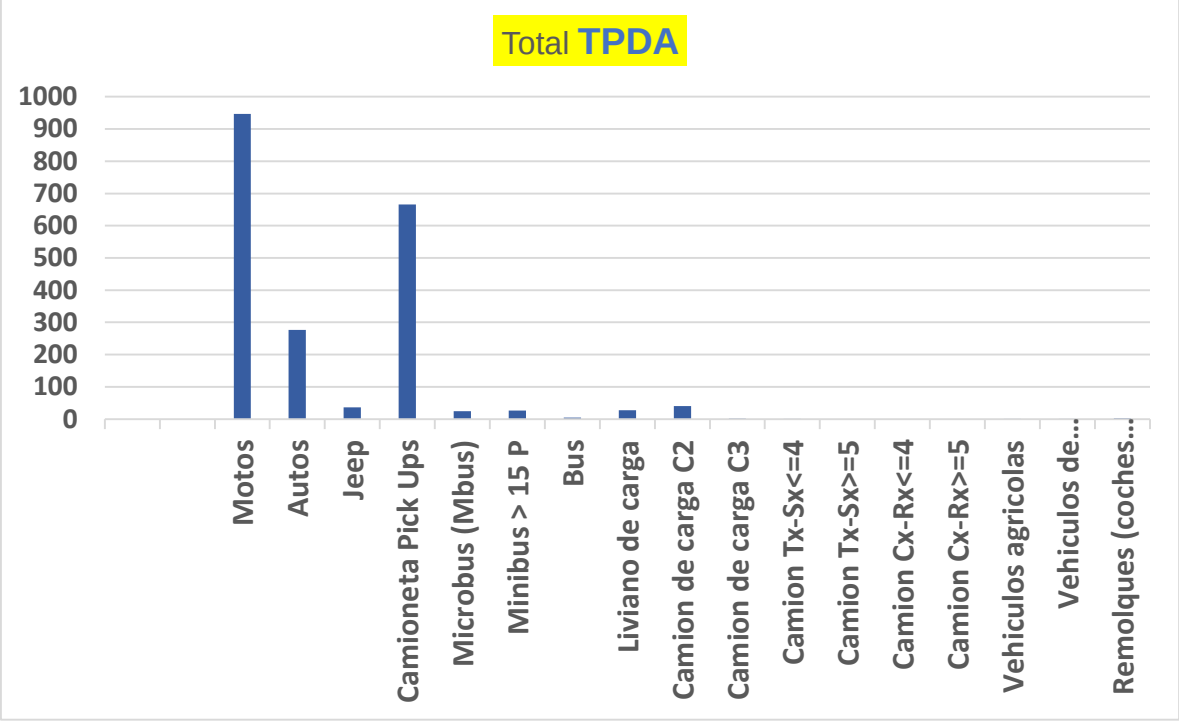
La composición correspondiente al sitio de estudio está clasificada de la siguiente manera:

Vehículos de pasajeros: corresponden al 96.35% del tránsito total que circula por el tramo de estudio, siendo a su vez los de mayor porcentaje las motos con un 46.06% y el segundo tipo de vehículo con porcentaje considerable sería el de las camionetas con un 32.39%.

Vehículos de carga: corresponden al 3.40% del tránsito total que circula por el tramo de estudio, siendo a su vez los de mayor porcentaje los camiones C2 con un porcentaje del 1.94%.

Equipo pesado: Este grupo representa el 0.10%. **Otros:** 0.14%

Gráfico 1. Composición vehicular.



Fuente: Elaboración Propia.

2.6 Periodo de Diseño

Es el tiempo durante el cual la estructura que se diseña deberá funcionar sin requerir de acciones de conservación diferentes a la de un mantenimiento rutinario.

Tabla 3. Periodo de Diseño.

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Autopista Regional	**20 - 40 años**
Troncales Sub-Urbanas	**15 - 30 años**
Troncales Rurales	
Colectoras Sub-Urbanas	**10 - 20 años**
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, (SIECA-2004).

El periodo de diseño recomendado para el tramo en estudio, quedaría clasificada como colectora sub-urbana ya que serviría para velocidades menores en distancias cortas para calles o caminos locales; que va de 10-20 años. Para efectos de este diseño el periodo a utilizar es de 15 años.

2.7 Tránsito de Diseño

El Tránsito de Diseño (TD) se obtiene según el modelo matemático recomendado por la AASTHO y resulta de multiplicar el (TPDA) de cada tipo de vehículo especificado en el conteo vehicular por el Factor de Crecimiento (FC) de cada tipo de vehículo el cual depende de la Tasa de Crecimiento (TC) para cada uno de ellos, y el Periodo de Diseño (n) considerando además Factor de Distribución por Sentido (fS), Factor de Distribución por carril. (FC) y la cantidad de días en el año (365).

$$\boldsymbol{TD} = TPDA * Fc * Fs * fc * 365 \quad \text{(Ecuación № 4)}$$

2.8 Factores de Distribución del Tránsito

Los factores de distribución forman parte de las características de la vía, esta facilita la diferencia de la vía y su serviciabilidad. Para el tránsito de diseño se consideran dos tipos de factores de distribución: Factor de distribución por sentido o dirección (fS) y factor de distribución por carril (fC).

2.8.1 Factor de Distribución por Sentido o Dirección (fs).

Es la relación entre la cantidad de vehículos que viajan en una dirección y la cantidad de vehículos que viajan en la dirección opuesta; en la mayoría de los casos así como en nuestro diseño este valor es de **0.5** ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en dirección opuesta.

2.8.2 Factor de Distribución por carril (fc).

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL'S. Para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para este diseño el factor de distribución por carril (fc) es 1 por tener 1 carril en una sola dirección, como se muestra en la siguiente Tabla 4:

Tabla 4. Factores de Distribución por Carril.

Nº de Carriles en una sola Dirección	Factor LD[11]
1	1
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, (SIECA-2004).

2.8.3 Factor de Crecimiento (FC).

Este se obtiene a partir del periodo de diseño y está en dependencia del grado de importancia de la vía, y la tasa anual de crecimiento del tránsito. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{FC} = \frac{(1+i)^{n}-1}{i} \qquad \text{(Ecuación № 5)}$$

FC: Factor de Crecimiento.

$\boldsymbol{i}$**:** Tasa anual de Crecimiento.

n: Periodo de Diseño.

Es importante mencionar que para el análisis de la tasa de crecimiento se tomaron en cuenta datos históricos de estadística de los últimos cinco años acerca de las variables más representativas y vinculadas al transporte que son: El Producto Interno Bruto (PIB), Consumo de Combustible, Crecimiento Poblacional y Parque Vehicular. Estos registros se pueden apreciar en los Anexos I.12 al 1.14 de la pág. XII - XIV.

- PIB (Producto Interno Bruto), ya que es un indicador macro económico del comportamiento de las inversiones y divisas del país (Bienes y Servicios), que al fin esta demanda de medios físico de cargas para movilizar lo que producen para efectos de consumo interno o de exportación.

Tabla 5. Producto Interno Bruto (PIB).

Producto Interno Bruto (PIB). En miles de millones					
Año	2011	2012	2013	2014	2015
Cantidad	137,638	144,701	151,228	158,340	166,687
Logaritmo natural	**11.83**	**11.88**	**11.93**	**11.97**	**12.02**

Fuente: Banco Central de Nicaragua (BCN).

- Consumo de combustible se toma en cuenta para encontrar la tasa de crecimiento que afecta los vehículos pesados de pasajeros.

Tabla 6. Consumo de Combustible.

Consumo de Combustible. En miles de barriles					
Año	2011	2012	2013	2014	2015
Cantidad	84,450	75,452	51,670	74,121	104,542
Logaritmo natural	**11.34**	**11.23**	**10.85**	**11.21**	**11.55**

Fuente: Instituto Nicaragüense de Energía (INE).

- Crecimiento poblacional es la variable que estará clasificada para afectar a los vehículos livianos de pasajeros.

Tabla 7. Crecimiento Poblacional.

Crecimiento Poblacional					
Año	2011	2012	2013	2014	2015
Cantidad	409,758	417,372	424,281	431,294	438,413
Logaritmo natural	**12.92**	**12.94**	**12.95**	**12.97**	**12.99**

Fuente: Instituto Nicaragüense de Información de Desarrollo (INIDE).

- El parque vehicular o parque automotor es un análisis de crecimiento de vehículos en el departamento de Jinotega, en este caso tomado desde el año 2011 – 2015. Esta variable representa el desarrollo de las correlaciones con las tres variables anteriores para interpretar un nivel de relación y adquirir los diferentes factores de crecimiento.

Tabla 8. Parque vehicular.

Parque Vehicular					
Año	2011	2012	2013	2014	2015
Cantidad	9,345	13,765	14,165	16,148	18,301
Logaritmo natural	**9.14**	**9.52**	**9.55**	**9.68**	**9.81**

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

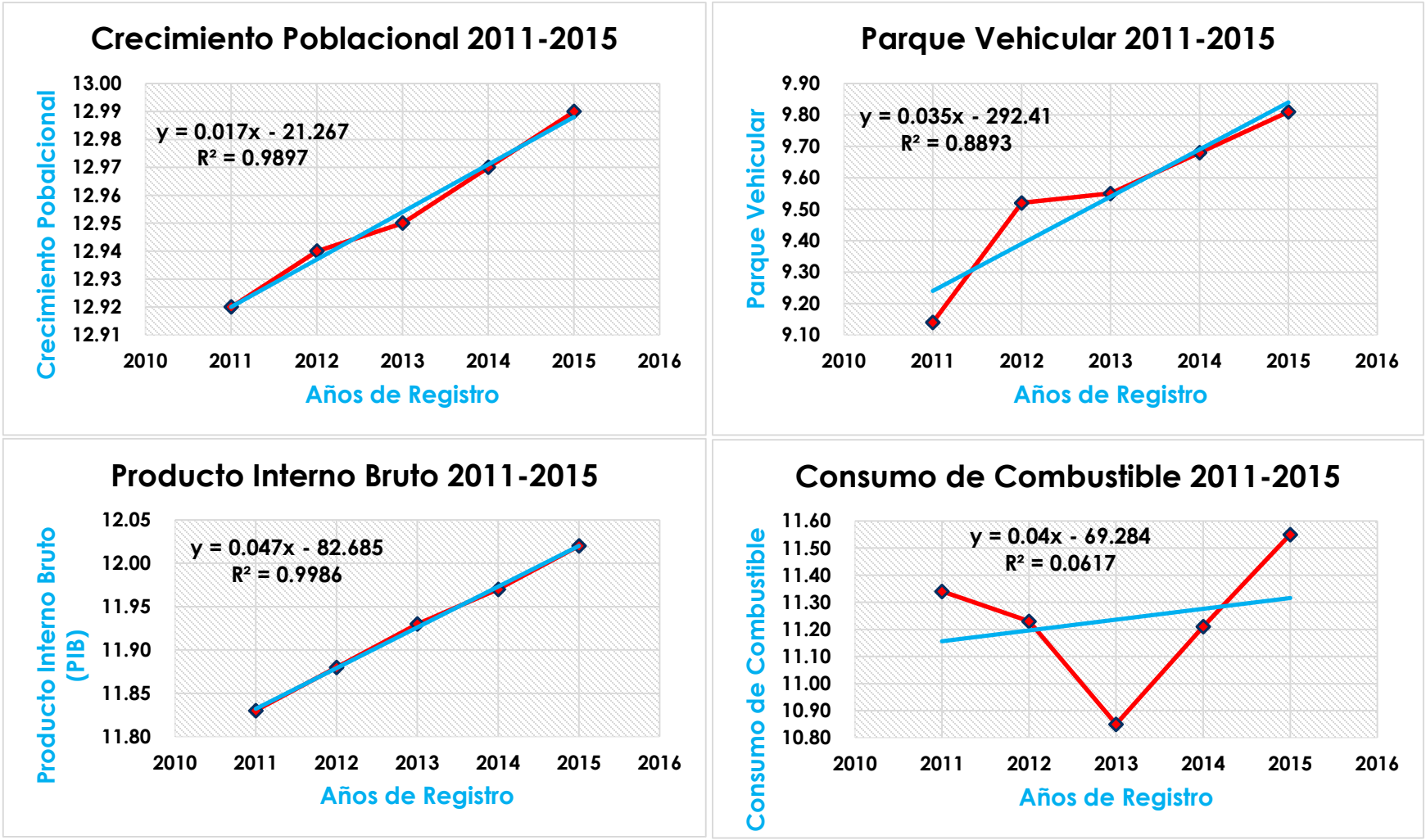
2.9 Desarrollo de las Correlaciones

A continuación el proceso que se va a utilizar para determinar el análisis de correlación corresponde primero en el cálculo del “Logaritmo Natural” de los datos anuales de cada variable vinculada al transporte; el cual consiste en obtener una menor dispersión de los mismos datos insertados en el diagrama de burbuja o dispersión lineal en un plano (X, Y). Permitiendo el resultado de rectas de regresión lineal para calcular así el porcentaje de correlación entre dichas variables, así como determinar su tasa de crecimiento.

Para el cálculo de los logaritmos naturales, se revisara gráficamente la correlación individual de los datos de cada variable, y se analizara la “Línea de Tendencia Lineal” para la serie de datos ordenados, la cual dará como resultado el porcentaje de correlación existente y la tasa de crecimiento en base a la pendiente de la recta formada.

Es importante destacar que el uso de la ecuación **Y= mx+b**, viene siendo la ecuación de una recta, se conoce como ecuación punto pendiente ya que m es la pendiente de la recta y b es la intersección con el eje ¨y¨ (un punto de la recta). Debido a que es un modelo de Grafico de dispersión lanza un **R^2** asumiendo el resultando de índice de correlación de una o más variables.

Gráfico 2. Correlación de las variables relacionadas al tráfico con respecto al tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de la correlación de los datos de cada variable en particular indica lo siguiente:

- El Producto Interno Bruto (PIB), tiene un coeficiente de Correlación R^2= 0.9986, es decir una excelente correlación del 99.86%. Presenta una tasa de crecimiento promedio del 4.7% anual.

- El Consumo de Combustible correspondiente al departamento de Jinotega presenta una mala Correlación R^2= 0.0617, equivalente al 6.17% debido a un coeficiente de decaída en la tendencia anual específicamente en el año 2013 y presenta una tasa de crecimiento del 4%.

- Los datos del Crecimiento Poblacional, presentan una excelente Correlación de R^2= 0.9897 igual a 98.97%. Con una tasa de crecimiento promedio de 1.7%.

- El Parque Vehicular presenta una muy buena Correlación R^2= 0.8893 equivalente al 88.93% y nos indica una tasa de crecimiento del 3.5%.

Una vez que se han certificado que existen valores altos de correlación para cada variable con relación al factor tiempo, analizaremos la combinada de los daos respecto al crecimiento del parque vehicular; de tal forma que nos permita examinar si dichas variables poseen un buen coeficiente de correlación y de esta manera proyectar el transito final en base a la “tasa de crecimiento”.

2.9.1 Correlación de las variables

Para el cálculo del tránsito normal se realizó la correlación de variables similares entre sí con el objetivo de establecer la tendencia de crecimiento que pueda tener este tipo de tránsito.

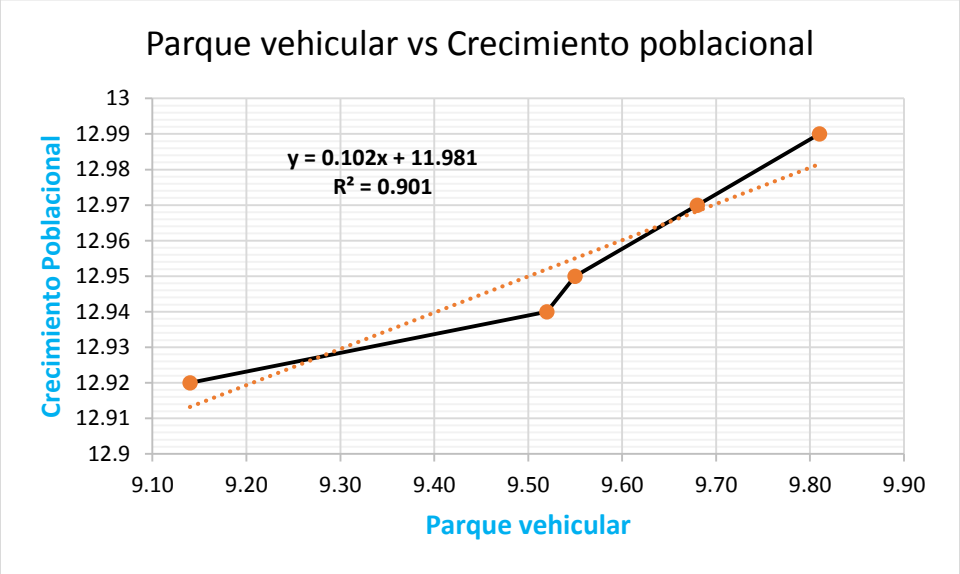
2.9.2 Correlación para afectar el tránsito de vehículos livianos de pasajeros.

Tabla 9. Parque vehicular vs Crecimiento poblacional.

Año	Parque Vehicular (Ln)	Crecimiento Poblacional (Ln)
2015	9.81	12.99
2014	9.68	12.97
2013	9.55	12.95
2012	9.52	12.94
2011	9.14	12.92

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3. Correlación Parque vehicular – Crecimiento poblacional.



Fuente: Elaboración propia.

El resultado de este análisis de correlación Parque vehicular – Crecimiento poblacional nos indica que existe una excelente correlación del 90.10% ($R^2 = 0.901$). Además representa un nivel de tendencia o una tasa de crecimiento del 10.20% en el periodo comprendido del año 2011 al 2015 que concierne en afectar el tránsito de vehículos livianos de pasajeros.

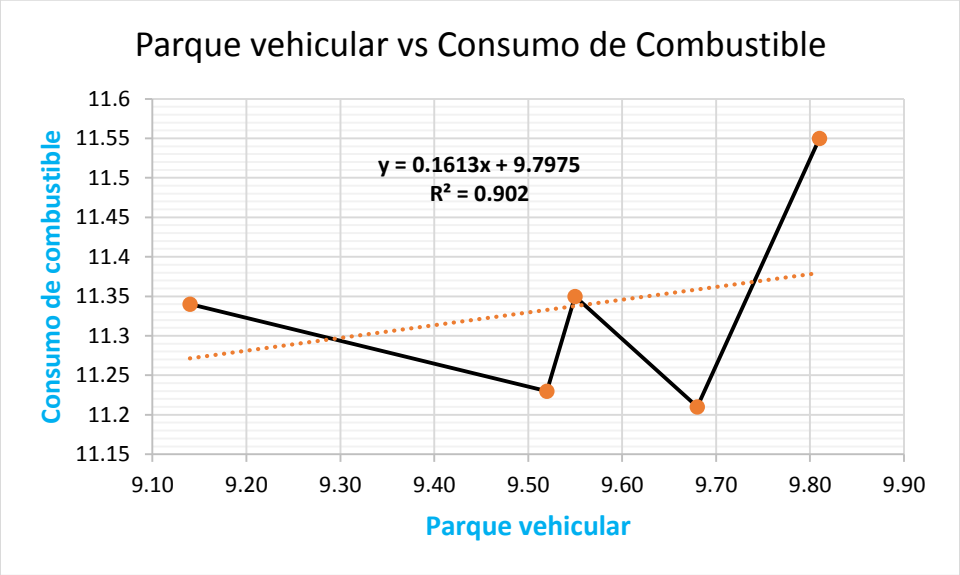
2.9.3 Correlación para afectar el tránsito de vehículos pesados de pasajeros.

Tabla 10. Parque vehicular vs Consumo de combustible.

Año	Parque Vehicular (Ln)	Consumo de Combustible (Ln)
2015	9.81	11.55
2014	9.68	11.21
2013	9.55	11.35
2012	9.52	11.23
2011	9.14	12.92

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4. Correlación Parque vehicular – Crecimiento poblacional.



Fuente: Elaboración propia.

La elasticidad de este análisis de correlación Parque vehicular – Consumo de combustible nos indica que existe una excelente correlación del 90.20% (R^2= 0.902). Además representa un nivel de tendencia o una tasa de crecimiento del 16.13% en el periodo comprendido del año 2011 al 2015 que concierne en afectar el tránsito de vehículos pesados de pasajeros.

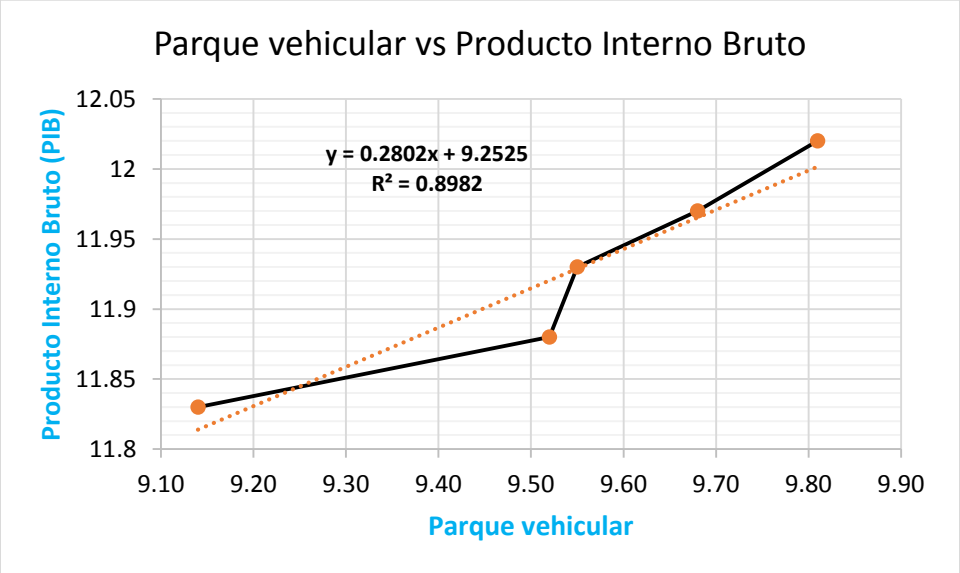
2.9.4 Correlación para afectar el tránsito de Veh. de Carga y Veh. Pesados.

Tabla 11. Parque vehicular vs Producto Interno Bruto (PIB).

Año	Parque Vehicular (Ln)	Producto Interno Bruto PIB (Ln)
2015	9.81	12.02
2014	9.68	11.97
2013	9.55	11.93
2012	9.52	11.88
2011	9.14	11.83

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5. Correlación Parque vehicular – Producto Interno Bruto (PIB).



Fuente: Elaboración propia.

Los datos del análisis de correlación Parque vehicular – Producto Interno Bruto (PIB), nos indica que existe una excelente correlación del 89.82% (R^2= 0.8982). Además nos indica un nivel de tendencia o una tasa de crecimiento del 28.02% en el periodo comprendido del año 2011 al 2015 que concierne en afectar el tránsito de vehículos de carga y vehículos pesados.

Luego de analizar los datos anteriores y ver que se obtuvo buena correlación de las variables donde no fue menor al 75% podemos sacar el factor de crecimiento (FC), pero antes hay que sacar el promedio de tasa de crecimiento anual de las cuatro variables que se relacionan con el tráfico respecto al tiempo.

(Ecuación №6)

$$\boldsymbol{i = \frac{PIB + C.Combustible + C.Poblacional + P.Vehicular}{4}}$$

$$\boldsymbol{i = \frac{4.7\% + 4\% + 1.7\% + 3.5\%}{4} = \frac{13.9}{4} = 3.47\%}$$

Tabla 12. Tasa Anual de Crecimiento respecto al tiempo.

Variable	Coeficiente de Correlación R^2	Tasa de Crecimiento	Tasa de crecimiento Promedio
PIB	0.9986	4.7%	**3.47%**
Consumo de Combustible	0.0617	4%	
Crecimiento Poblacional	0.9897	1.7%	
Parque Vehicular	0.8893	3.5%	

Fuente: Elaboración propia.

Ahora que se obtuvo la tasa anual de crecimiento se puede encontrar el Factor de Crecimiento (FC), para los distintos grupos de clasificación de vehículos que transitan por el tramo de estudio por medio de la (Ecuación №5) presentada anteriormente en la pág. 13

Factor de Crecimiento para las diferentes Clasificaciones Vehiculares del diseño:

$$\boldsymbol{FC} = \frac{(1+i)^{\mathrm{n}} - 1}{i} = \frac{(1+0.0347)^{15} - 1}{0.0347} = \frac{0.6680}{0.0347} = \mathbf{19.25}$$

$$\boldsymbol{FC\ para\ las\ Clasif.Vehiculares\ de\ Diseño} = \mathbf{19.25}$$

Para convertir el volumen de tráfico obtenido de los conteos se usará un tránsito de Diseño (TD) que es un factor fundamental para el diseño estructural de pavimentos. Se calcula mediante la siguiente (Ecuación № 4), presentada anteriormente en la pág.11:

$$\boldsymbol{TD} = TPDA * Fc * Fs * fc * 365$$

TD: Tránsito de Diseño

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual

FC: Factor de Crecimiento

fs: Factor de Distribución por Sentidos

fc: Factor de Distribución por Carril

Tabla 13. Tránsito de Diseño

Nº	Grupo	Tipo de vehículo	TPDA	Factor de crecimiento (FC)	Factor de dirección (fs)	Factor por carril (fc)	* días de un año	Total (TD)
1	Vehículos de pasajeros	Motos	947	19.25	0.5	1	365	3,326,929.37
2		Autos	277	19.25	0.5	1	365	973,135.62
3		Jeep	36	19.25	0.5	1	365	126,472.50
4		Camioneta Pick Ups	666	19.25	0.5	1	365	2,339,741.25
5		Microbús (Mbus)	24	19.25	0.5	1	365	84,315
6		Minibús > 15 P	26	19.25	0.5	1	365	91,341.25
7		Bus	5	19.25	0.5	1	365	17,565.25
8	Vehículos de carga	Liviano de carga	27	19.25	0.5	1	365	94,854.37
9		Camión de carga C2	40	19.25	0.5	1	365	140,525
10		Camión de carga C3	2	19.25	0.5	1	365	7,026.25
11		Camión T1-S3<=4	1	19.25	0.5	1	365	3,513.25
15	Equipo pesado	Vehículos agrícolas	1	19.25	0.5	1	365	3,513.25
16		Vehículos de construcción	1	19.25	0.5	1	365	3,513.25
17	Otros	Remolques (coches de equinos)	3	19.25	0.5	1	365	10,539.37
Total								**7,222,984.98**

Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo: **Para las "Camionetas Pick Ups"**

$$\boldsymbol{TD} = TPDA * Fc * Fs * fc * 365 = (666 * 19.25 * 0.5 * 1 * 365) = 2{,}339{,}741.25$$

$$\boldsymbol{TD}\ camionetas\ pick\ ups = \mathbf{2,339,741.25}$$

2.10 Determinación de Factores de Ejes Equivalentes

2.10.1 Ejes Equivalentes (ESAL'S)

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil.

Para realizar el cálculo del ESAL's de diseño es necesario conocer con anticipación el peso de los vehículos que circularan por el camino durante el período de diseño y el factor de equivalencia de carga, luego con todos los datos recopilados anteriormente se realiza la tabla para obtener el valor de ESAL´S que soportaría la vía durante el periodo de diseño estimado, se debe de asumir un valor inicial de SN.

Para este diseño se asumió un numero estructural SN=5 y un índice de serviciabilidad final Pt=2.0. En los Anexos I.15 al I.16 de la pág. XV – XVI de las Tablas de los Factores equivalentes de carga se pueden apreciar estos intervalos de valores de números estructurales e índices de serviciabilidad final para ejes simples, tándem y tridem.

Para el cálculo del ESAL'S del carril de diseño, para los pesos por eje los datos fueron tomados de Ministerio de Transporte e Infraestructura – Dirección General de Vialidad - Departamento de Pesos y Dimensiones, para vehículos livianos y vehículos pesados. (Ver Anexos I.17 al I.18, pág. XVII – XVIII, de las Tablas de Diagramas de vehículos pesados y Peso Máximo de Vehículos livianos).

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

(Ecuación №7)

$$\boldsymbol{ESAL'S} = TD * Factor\ ESAL´S$$

TD: Tránsito de diseño

Factor ESAL´S (MTI)

Nota: Es importante mencionar que para la selección de Factores equivalentes ESAL'S de los pesos por eje de los vehículos, se hizo una análisis de Interpolación para establecer correctamente los valores de las "Tablas 48 y 49" presentadas en los Anexos I.15 al I.16, pág. XV – XVI, que corresponden a los pesos de los vehículos ya que estas tablas presentan rangos de factores cercanos a los que deberían de plantearse con exactitud.

Por ejemplo: **Para las "Camionetas Pick Ups"**

Tabla 14. Ejemplo de Interpolaciones lineales.

Tipo de Vehículo	№ de Eje	Peso en Kips	Factor ESAL'S, ejes simples. Pt=2.0, SN=5
Camioneta Pick Ups	Eje 1	2.20 kips	2 kips = 0.0002
			2.20 kips = **0.0003**
			4 kips = 0.002
	Eje 2	4.40 kips	4 kips = 0.002
			4.40 kips = **0.003**
			6 kips = 0.009

Fuente: **Elaboración propia.**

Ejemplos del Procedimiento de los cálculos para la Tabla 15, del ESAL'S de Diseño.

Ejemplo #1: **Para las "Camionetas Pick Ups"**

(1er eje: 2.20 kips)

$$\boldsymbol{ESAL'S} = TD * Factor\ ESAL'S = 2{,}339{,}741.25 * 0.0003 = \mathbf{701.92}$$

(2do eje: 4.40 kips)

$$\boldsymbol{ESAL'S} = TD * Factor\ ESAL'S = 2{,}339{,}741.25 * 0.003 = \mathbf{7{,}019.22}$$

Ejemplo #2: **Para los "Camiones de Carga C2"**

(1er eje: 9.90 kips)

$$\boldsymbol{ESAL'S} = TD * Factor\ ESAL'S = 140{,}525 * 0.75 = \mathbf{105{,}393.75}$$

(2do eje: 22.00 kips)

$$\boldsymbol{ESAL'S} = TD * Factor\ ESAL'S = 140{,}525 * 2.35 = \mathbf{330{,}233.75}$$

Ejemplo #3: **Para los "Buses"**

(1er eje: 9.00 kips)

$$\boldsymbol{ESAL'S} = TD * Factor\ ESAL'S = 17{,}565.25 * 0.410 = \mathbf{7{,}201.75}$$

(2do eje: 11.00 kips)

$$\boldsymbol{SAL'S} = TD * Factor\ ESAL'S = 17{,}565.25 * 0.48 = \mathbf{8{,}431}$$

Nota: Los valores marcados en **color rojo** son una parte de los valores que se obtuvieron mediante las interpolaciones correspondientes al peso real del eje de los vehículos que se realizaron.

Tabla 15. ESAL'S de Diseño.

Periodo de Diseño: **15 años** Sn = **5**, Pt = **2.0**

Grupo	Tipo de vehiculo	Peso x eje (Ton)	Peso x eje (Kips)	Tipo de eje	TD	Factor ESAL´S	ESAL´S de Diseño
Vehiculos de pasajeros	Motos	1.00	2.20	Simple	3,326,929.37	0.0003	998.07
	Autos	1.00	2.20	Simple	973,135.62	0.0003	291.94
		1.00	2.20	Simple		0.0003	291.94
	Jeep	1.00	2.20	Simple	126,472.50	0.0003	37.94
		1.00	2.20	Simple		0.0003	37.94
	Camioneta Pick Ups	1.00	2.20	Simple	2,339,741.25	0.0003	701.92
		2.00	4.40	Simple		0.003	7,019.22
	Microbus (Mbus)	2.00	4.40	Simple	84,315	0.003	252.945
		4.00	8.80	Simple		0.334	28,161.21
	Minibus > 15 P	4.00	6.60	Simple	91,341.25	0.015	1,370.11
		8.00	11.00	Simple		0.48	43,843.80
	Bus	4.50	9.00	Simple	17,565.25	0.410	7201.75
		5.00	11.00	Simple		0.48	8,431
Vehiculos de carga	Liviano de carga	4.00	9.90	Simple	94,854.37	0.752	71,330.48
		8.00	12.00	Simple		0.174	16,504.66
	Camion de carga C2	4.50	9.90	Simple	140,525	0.75	105,393.75
		10.00	22.00	Simple		2.35	330,233.75
	Camion de carga C3	5.00	11.00	Simple	7,026.25	0.48	3,372.60
		16.50	36.30	Doble		1.432	10,061.59
	Camion T1-S3<=4	14.00	30.8	Doble	3,513.25	0.627	2,202.80
		16.00	35.2	Doble		1.26	4,426.69
Equipo pesado	Vehiculos agricolas	4.50	9.90	Simple	3,513.25	0.752	2,641.96
		9.50	20.90	Doble		0.133	467.26
	Vehiculos de construccion	4.50	9.90	Simple	3,513.25	0.75	2,634.93
		9.50	20.90	Doble		0.133	467.26
Otros	Remolques (coches de equinos)	1.00	2.2	Simple	10,539.37	0.0003	3.16
		1.00	2.2	Simple		0.0003	3.16
Total ESAL´S de diseño							648,383.83 RE/Carril Diseño

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo III

Estudio de Suelo

3.1 Los Suelos

Suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se sientan. (Juarez Badillo)

En la siguiente etapa se mencionaran los métodos y elementos utilizados para llevar a cabo el estudio de suelos además de los datos que presenta el informe para los barrios que están adentro del tramo a diseñar, por medio del cual se conocen las características tanto físicas como mecánicas del mismo para saber si amerita tratamiento o un cambio de material en las capas que lo requieran, por lo que también se analizarán datos de los bancos de materiales de donde se sustrae material selecto continuamente para las obras de la ciudad. Los datos fueron proporcionados por la Universidad Nacional de Ingeniería “Facultad de Tecnología de la Construcción” – Laboratorio de Materiales y Suelos.

Cabe señalar que el diseño de adoquinado, se hará en base al método de diseño de pavimento flexible de la AASHTO-93, con el objetivo de analizar e interpretar: análisis granulométrico de los suelos, Limite líquido de los suelos, Índice de plasticidad de los suelos, Pesos Unitarios (Banco de Materiales), Ensaye de densidad Próctor Estándar (Banco de Materiales), Ensaye CBR (Banco de Materiales).

Con el propósito de conocer las condiciones y características del sub-suelo se practicaron los siguientes parámetros:

- Sondeos manuales en toda la longitud del tramo con una profundidad máxima de 1.50 metros cada uno, ubicándose de manera alterna a la izquierda y derecha del eje central, a una distancia entre sondeos no mayor de 100 metros.

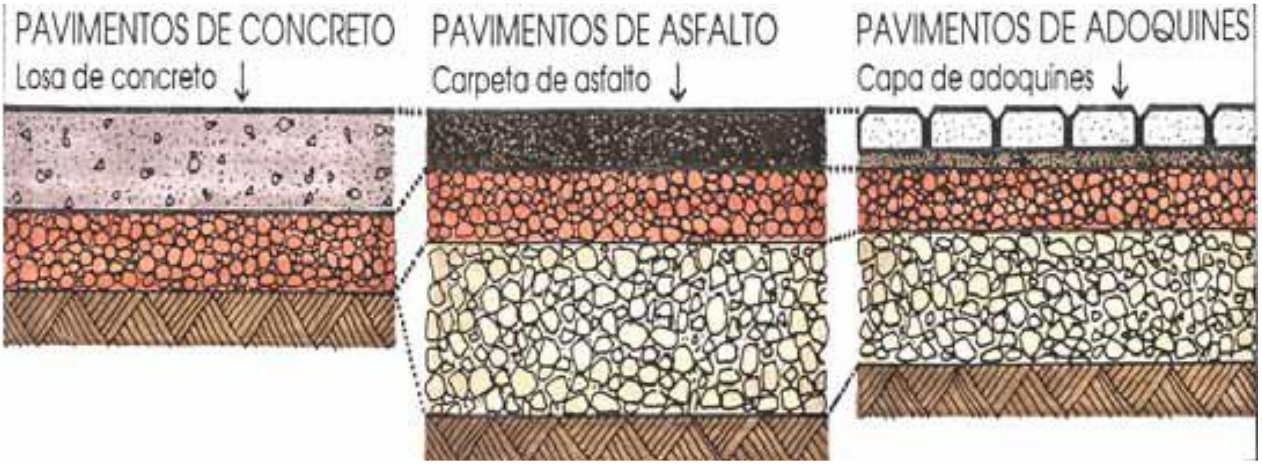
- Sondeos manuales en bancos de materiales, las cuales puedan suplir material de base y/o sub-base de calidad adecuada para los proyectos.

- Ensayos de laboratorio a las muestras provenientes de los sondeos manuales tanto para el tramo de diseño como para el banco de préstamo.

3.2 Especificaciones para los materiales que forman la estructura de pavimento con adoquín.

El pavimento a base de adoquín consta de un conjunto de capas superpuestas una sobre otra de manera que se transmitan las cargas (que sobre este pavimento pasarán o permanecerán) hasta la capa más inferior de suelo natural (sub-rasante) que es donde se disipan en su totalidad las cargas, de modo que cada capa sufra las menores deformaciones posibles al transmitir dichas cargas, todo esto sin omitir la superficie de rodamiento la cual está conformada por piezas de hormigón sólido, independientes una de otra, las cuales tienen una geometría uniforme, ligadas entre sí con arena previamente cribada.

Imagen 1. Estructuras comparativas de Pavimentos.



Fuente: Google Imágenes.

3.4 Sub – rasante.

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Las especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC 2000 sección. 203.11 (b), 1003.21, 1003.24 para el uso de suelo como sub rasante se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 16. Especificaciones para terraplenes y materiales para sub-rasante.

Nº	Propiedad	Terraplenes	Capa Sub-rasante	Metodología
1	$\%\ de\ malla\ Nº\ 200$	40% máx.	30% máx.	AASHTO T-11
2	Limite Liquido	40% máx.	30% máx.	AASHTO T-89
3	Índice Plástico	15% máx.	10% máx.	AASHTO T-90
4	CBR	10% min	20% min	AASHTO T-193
5	Compactación	95 % min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado. (AASHTO-99)	95 % min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado. (AASHTO-T-180)	AASHTO T-191 y/o T- 238 (in situ)

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

3.5 Sub-Base

Es la que se encarga de absorber las variaciones propias del suelo debido a las cargas del tránsito de modo que la Sub-rasante no sea afectada directamente, visto de otra manera la sub-base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad en la sub-rasante, que de no ser retenidos por la sub-base ocasionarían daños serios a la sub-rasante.

La sub-base se utiliza además como capa de drenaje y de control de ascensión capilar de agua, protegiendo así la capa de pavimento, por lo que generalmente se utilizan materiales granulares.

3.6 Base

Es la capa de pavimento que tiene la función primordial de distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la sub – base y por medio de ella a la sub-rasante. Por otra parte esta capa es la que recibe sobre sí misma la carpeta de rodamiento, para este caso los adoquines de hormigón.

Las especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC 2000 Sección: 1003.09 (a y b), 1003.23.II (b) para el uso de material base se aprecian en la siguiente tabla.

Tabla 17. Especificaciones para material base.

Nº	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Limite Liquido	25% máx.	ASSTHO T-89
2	Índice Plástico	15% máx.	ASSTHO T-90
3	CBR	60% min	ASSTHO T-193
4	Desgastes de los Ángeles	50% máx.	ASSTHO T-96
5	Intemperismo Acelerado	12% máx.	ASSTHO T-104
6	Compactación	95 % Min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio del ensaye Proctor modificado	ASSTHO T-191

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

3.7 Trabajos de campo y ensayos de laboratorio

Según datos proporcionados por la Alcaldía Municipal de Jinotega en asociación con el Laboratorio de Materiales y Suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), en la longitud del tramo en estudio se realizaron sondeos en promedio de no mayor de 100 metros y se procedió a la ejecución de 10 sondeos manuales con una profundidad máxima de 1.50 metros cada uno ubicándose de manera alterna a la izquierda y derecha del eje central. Se hizo un recorrido en los alrededores del proyecto con el propósito de identificar, localizar y muestrear 5 (cinco) posibles fuentes de materiales, las cuales puedan suplir material de base y/o sub-base de adecuada calidad al proyecto.

Las muestras obtenidas en el campo, se examinaron y clasificaron In Situ por el personal de campo, tomándose muestras alteradas, correspondiente a cada estrato, las cuales se trasladaron al laboratorio para realizarle los ensayes básicos.

A continuación se indican los tipos de ensayes efectuados y la designación A.A.S.H.T.O. correspondiente: **(*)** Ensaye realizado solo a Banco de Materiales.

Tabla 18. Ensayos de laboratorio.

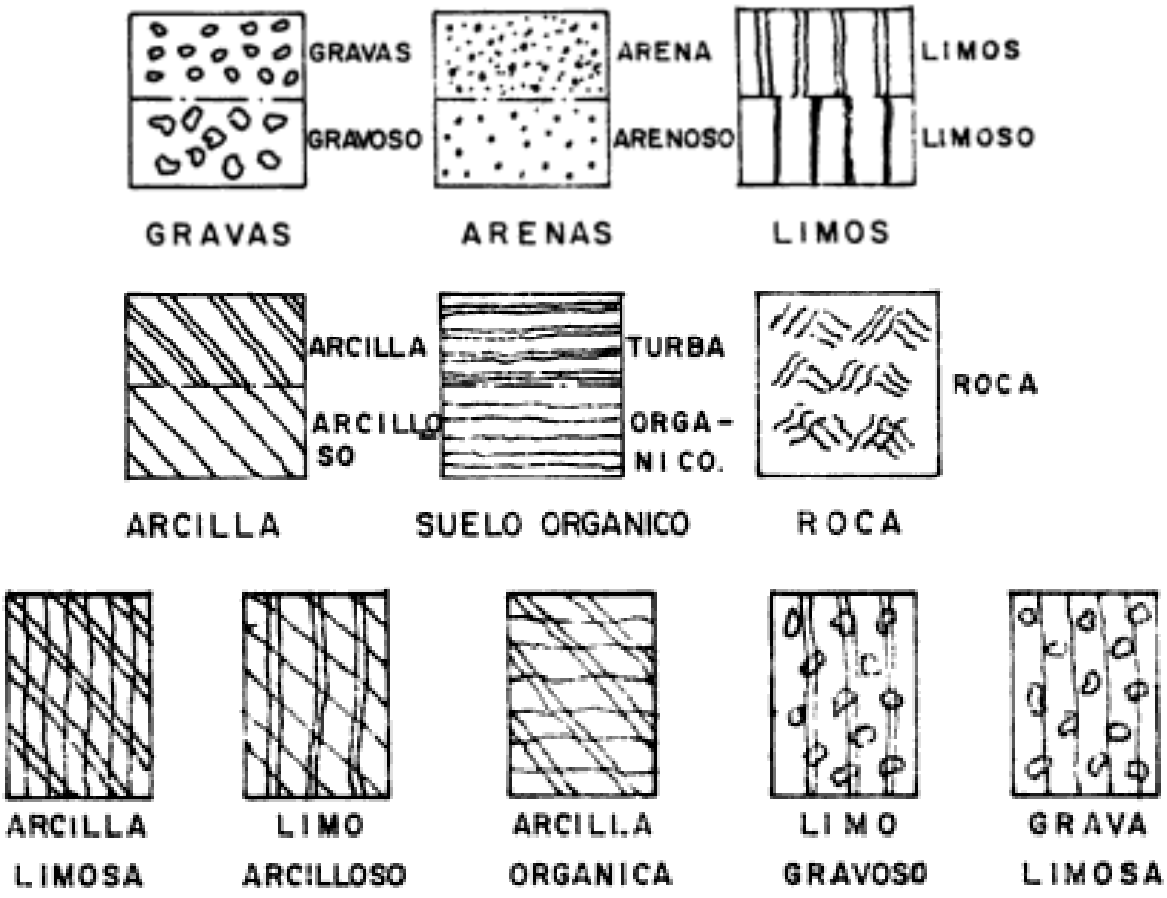
Tipo de Ensaye	Designación A.A.S.H.T.O
Análisis Granulométrico de los Suelos	**T 27 – 88**
Limite Liquido de los Suelos	**T 89 – 90**
Índice de plasticidad de los suelos	**T 90 – 97**
Pesos Unitarios (*)	**T 19 – 88**
Ensaye Próctor Estándar (*)	**T 180 – 90**
Ensaye C.B.R. (*)	**T 193 – 81**

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos – UNI.

La muestra para el ensaye CBR se saturó por un tiempo de cuatro días, antes de ejecutar el ensaye.

Nota: Todos los suelos en estudio se clasificaron por el sistema A.A.S.H.T.O. En su designación M 145-87 y por el sistema S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), según la A.S.T.M., en su designación D 2487.

Imagen 2. Simbología de Suelos



Fuente: Crespo Villalaz – Mecánica de Suelos.

3.7.1 Importancia del conocimiento del suelo

De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos grandes grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, ósea de los suelos inorgánicos, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico. El conocimiento de las principales características físicas de los suelos es de fundamental importancia en el estudio de la mecánica de suelos, pues mediante su atinada interpretación se puede predecir el futuro comportamiento de un terreno

bajo cargas cuando dicho terreno presente diferentes contenidos de humedad. (Crespo Villalaz - Mecanica de Suelos).

3.8 Clasificación de las muestras

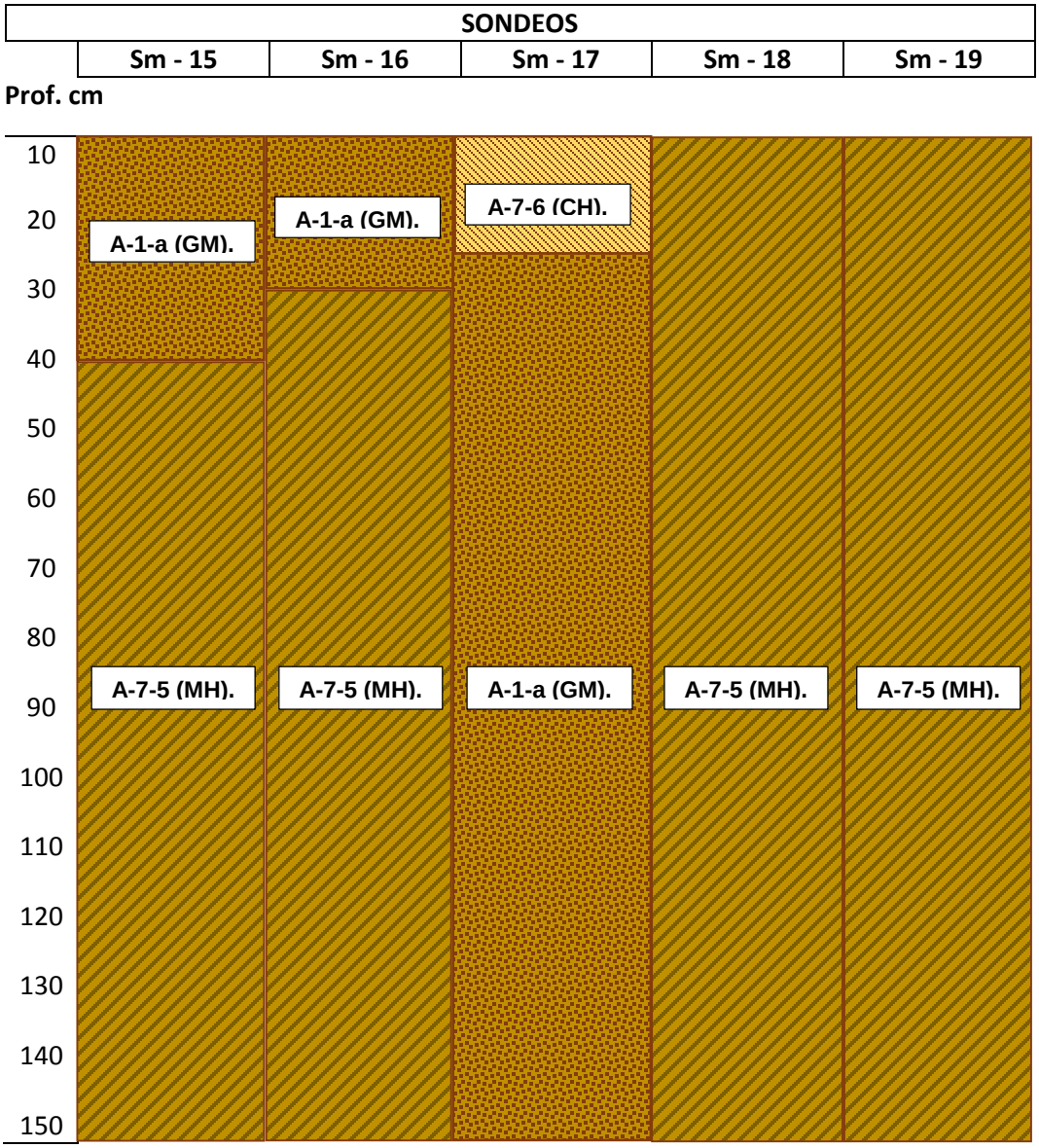
Para la clasificación de las muestras por medio de la AASTHO es necesario conocer el informe granulométrico de las mismas a modo de conocer el porcentaje de retención de partículas por cada tamiz. Además de lo antes mencionado es necesario conocer el índice de grupo y la consistencia del suelo, la cual se conoce a partir de los límites de Atterberg.

3.8.1 Bº Las Trincheras

En los sondeos Sm-15 y Sm-16; se observa un estrato superior, desde la superficie, hasta la profundidad promedio de 0.35 metros, conformado por un material granular, correspondiendo a gravas limosas, de nula plasticidad, la que se clasifica del tipo A-1-a (GM). En el estrato inferior, a partir de la profundidad promedio de 0.35 metros, hasta la profundidad investigada de 1.50 metros, se presenta un material elástico, conformado por un limo arcilloso, de alta compresibilidad, el cual se clasifica del tipo A-7-5 (MH).

En el sondeo Sm-17; se observa un estrato superior, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.25 metros, conformado por un material elástico, correspondiente a una arcilla inorgánica, de alta compresibilidad y se clasifica del tipo A-7-6 (CH). En el estrato inferior, a partir de la profundidad de 0.25 metros, hasta la profundidad investigada de 1.50 metros, se presenta un material granular, correspondiendo a gravas limosas, de nula plasticidad, la que se clasifica del tipo A-1-a (GM). En los sondeos Sm-18 y Sm-19; desde la superficie, hasta la profundidad investigada, se presenta un material elástico, conformado por un limo arcilloso, de alta compresibilidad, el cual se clasifica del tipo A-7-5 (MH).

Imagen 3. Esquematización de los sondeos del barrio Las Trincheras.



Fuente: Elaboración propia.

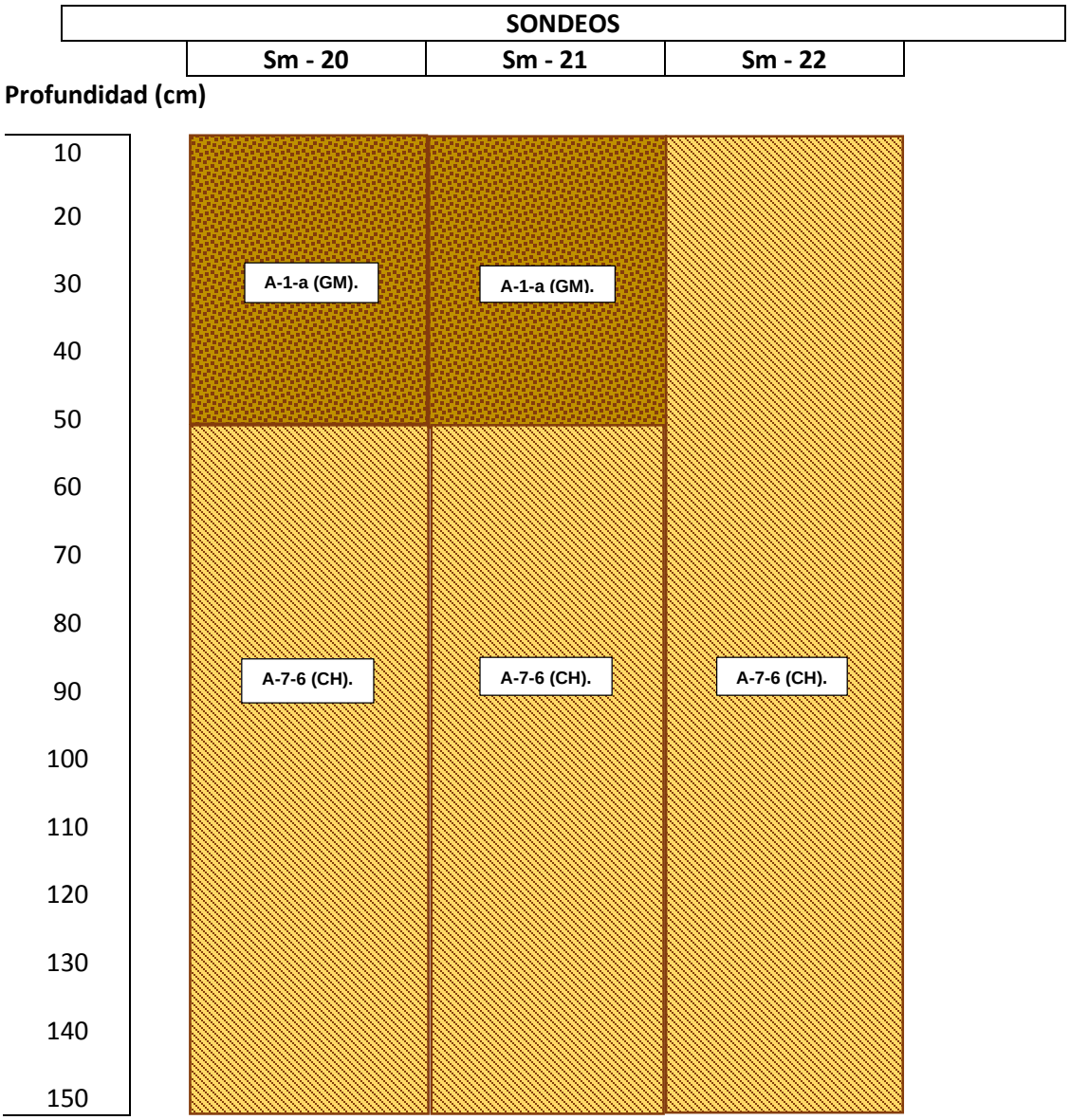
3.8.2 Bº San Antonio

En los sondeos Sm-20 y Sm-21; se observa un estrato superior, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.50 metros, conformado por un material granular, correspondiendo a gravas limosas, de nula plasticidad, la que se clasifica del tipo A-1-a (GM). En el estrato inferior, a partir de la profundidad de 0.50 metros, hasta la profundidad investigada de 1.50 metros, se presenta un material elástico,

conformado por una arcilla inorgánica, de alta compresibilidad, la cual se clasifica del tipo A-7-6 (CH).

En el sondeo Sm-22; desde la superficie, hasta la profundidad investigada, se observa un predominio de material elástico, constituido por una arcilla inorgánica, de alta compresibilidad, la cual se clasifica del tipo A-7-6 (CH).

Imagen 4. Esquematización de los sondeos del barrio San Antonio.

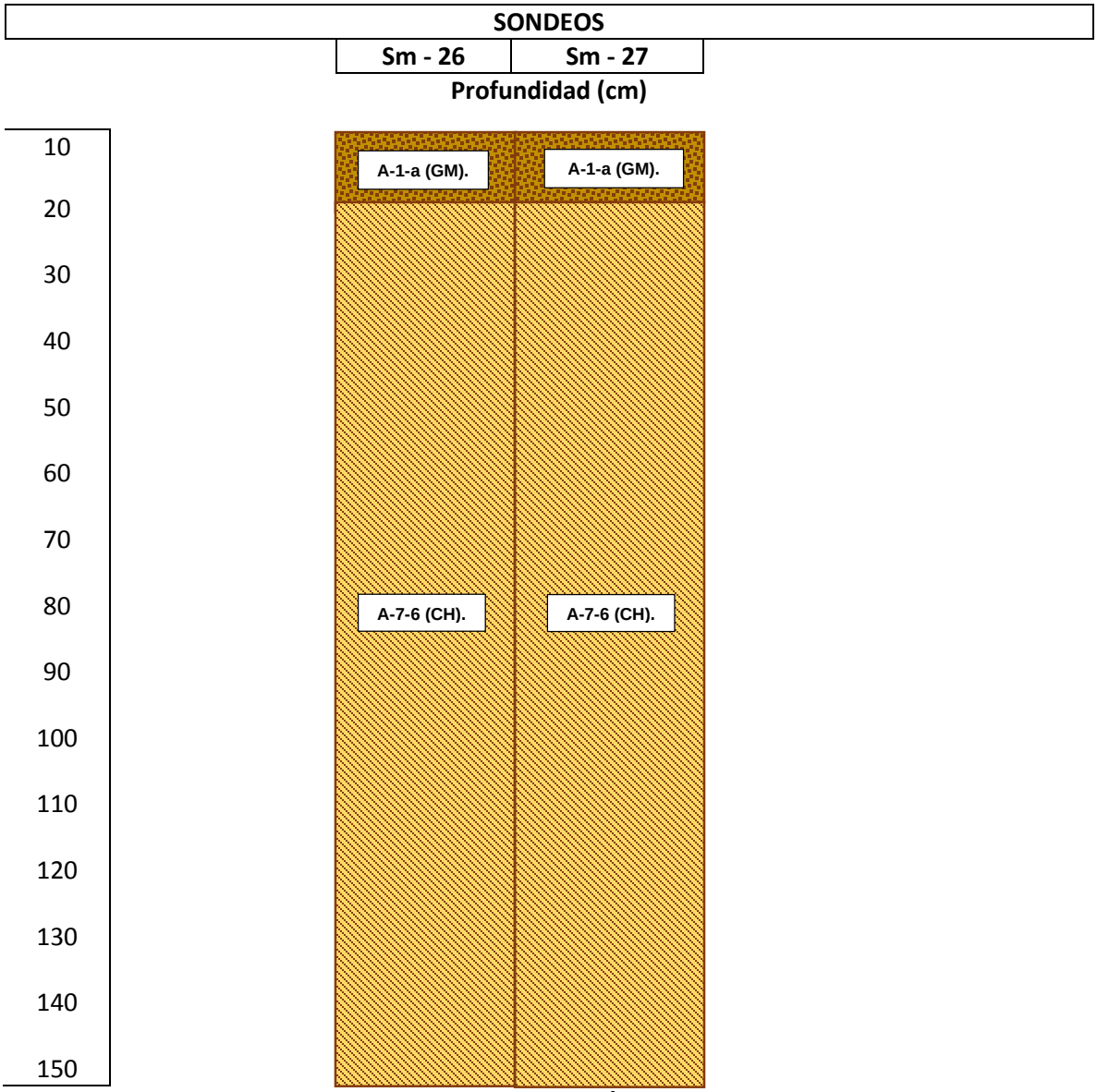


Fuente: Elaboración propia.

3.8.3 Bº Alejandro Ramos

En los sondeos Sm-26 y Sm-27; se observa un estrato superior, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.15 metros, conformado por un material granular, correspondiendo a gravas limosas, de nula plasticidad, la que se clasifica del tipo A-1-a (GM). A partir de la profundidad de 0.15 metros, hasta la profundidad de 1.50 metros, se presenta un material elástico, conformado por una arcilla inorgánica, de alta compresibilidad, la cual se clasifica del tipo A-7-6 (CH).

Imagen 5. Esquematización de los sondeos del barrio Alejandro Ramos.



Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELOS
"ING. JULIO PADILLA M."

Resultados de Ensayes de Suelos
Managua, Noviembre de 2012

Proyecto: **"ESTUDIO DE SUELOS DE LOS BARRIOS DEL CASCO URBANO Y PERIFERICOS DE LA CIUDAD DE JINOTEGA"**

Tabla 19. Sondeos Manuales Bo. Las Trincheras.

Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (metros)	% Que Pasa por el Tamiz										L.L. (%)	I.P. (%)	Clasificación	
			2"	1 ½"	1"	¾"	½ "	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200			SUCS	AASHTO
BO. LAS TRINCHERAS																
			Sm – 15													
Sm – 15	1	0.00 – 0.40				100	80	57	34	28	16	13	--	NP	**GM**	**A – 1 – a (0)**
	2	0.40 – 1.50							100	98	88	75	49.5	15.9	**MH**	**A – 7 – 5 (12)**
			Sm – 16													
Sm – 16	1	0.00 – 0.30				100	80	57	34	28	16	13	--	NP	**GM**	**A – 1 – a (0)**
	2	0.30 – 1.50							100	98	88	75	49.5	15.9	**MH**	**A – 7 – 5 (12)**
			Sm – 17													
Sm – 17	1	0.00 – 0.25							100	94	82	74	56.9	27.5	**CH**	**A – 7 – 6 (18)**
	2	0.25 – 1.50				100	80	57	34	28	16	13	--	NP	**GM**	**A – 1 – a (0)**
			Sm – 18													
Sm – 18	1	0.00 – 1.50							100	94	79	72	49.5	15.9	**MH**	**A – 7 – 5 (15)**
			Sm – 19													
Sm – 19	1	0.00 – 1.50							100	94	79	72	49.5	15.9	**MH**	**A – 7 – 5 (15)**
OBSERVACIONES: **L.L. : Límite Líquido I.P. : Índice Plástico I.G. : Índice de Grupo N.P. : Suelo No Plástico**																

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos – Universidad Nacional de Ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELOS
"ING. JULIO PADILLA M."

Resultados de Ensayes de Suelos Managua, Noviembre de 2012

Proyecto: **"ESTUDIO DE SUELOS DE LOS BARRIOS DEL CASCO URBANO Y PERIFERICOS DE LA CIUDAD DE JINOTEGA"**

Tabla 20. Sondeos Manuales Bo. San Antonio y Alejandro Ramos.

Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (metros)	% Que Pasa por el Tamiz										L.L. (%)	I.P. (%)	Clasificación	
			2"	1 ½"	1"	¾"	½ "	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200			SUCS	AASHTO
BO. SAN ANTONIO																
			Sm – 20													
Sm – 20	1	0.00 – 0.50				100	80	57	34	28	16	13	--	NP	**GM**	**A – 1 – a (0)**
	2	0.50 – 1.50							100	94	82	74	56.9	27.5	**CH**	**A – 7 – 6 (18)**
			Sm – 21													
Sm – 21	1	0.00 – 0.50				100	80	57	34	28	16	13	--	NP	**GM**	**A – 1 – a (0)**
	2	0.50 – 1.50							100	94	82	74	56.9	27.5	**CH**	**A – 7 – 6 (18)**
			Sm – 22													
Sm – 22	1	0.00 – 1.50							100	94	82	74	56.9	27.5	**CH**	**A – 7 – 6 (18)**
BO. ALEJANDRO RAMOS																
			Sm – 26													
Sm – 23	1	0.00 – 0.10		100	71	58	49	43	38	35	22	13	--	NP	**GM**	**A – 1 – b (0)**
	2	0.10 – 1.50							100	94	71	53	56.9	27.5	**CH**	**A – 7 – 6 (12)**
			Sm – 27													
Sm – 24	1	0.00 – 0.20		100	71	58	49	43	38	35	22	13	--	NP	**GM**	**A – 1 – b (0)**
	2	0.20 – 1.50							100	94	71	53	56.9	27.5	**CH**	**A – 7 – 6 (12)**

OBSERVACIONES:
L.L. : Límite Líquido I.P. : Índice Plástico I.G. : Índice de Grupo N.P. : Suelo No Plástico

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos – Universidad Nacional de Ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELOS
"ING. JULIO PADILLA M."

Managua, Noviembre de 2012

Proyecto: **"ESTUDIO DE SUELOS DE LOS BARRIOS DEL CASCO URBANO Y PERIFERICOS DE LA CIUDAD DE JINOTEGA"**

Tabla 21. Fuentes de Materiales.

PVSS Kg/m³	PVSC Kg/m³	Densidad Máxima Kg./m³	Humedad óptima %	C.B.R 100%	% Que Pasa por el Tamiz										L.L. (%)	I.P. (%)	Clasificación	
					2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200			SUCS	AASHTO
Fuente de Materiales : DIRIANGEN KM. 167 → **Banco de Préstamo Seleccionado**																		
1,146	1,358	1,694	8.2	92.2		86	64	49	37	32	17	14	9	7	25.4	4.7	**GP – GC**	**A-1-a (0)**
Fuente de Materiales : DIRIANGEN (BORDE) KM. 167																		
1,352	1,495	1,747	10.3	88.9		88	65	50	35	27	16	12	9	8	51.1	15.4	**GP – GM**	**A-2-7 (0)**
Fuente de Materiales "Banco Cisagro"																		
1,101	1,315	1,599	18.6	36.7		96	87	75	60	49	33	21	10	6	-	NP	**GP - GM**	**A-1-a (0)**
CBR (95%) =																		

Observaciones
PVSS = Peso Volumétrico Seco Suelto **PVSC = Peso Volumétrico Seco Compacto** **L.L. = Límite Líquido I.P. = Índice de Plasticidad**

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos – Universidad Nacional de Ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELOS
"ING. JULIO PADILLA M."

Managua, Noviembre de 2012

Proyecto: **"ESTUDIO DE SUELOS DE LOS BARRIOS DEL CASCO URBANO Y PERIFERICOS DE LA CIUDAD DE JINOTEGA"**

Tabla 22. Fuentes de Materiales.

PVSS Kg/m³	PVSC Kg/m³	Densidad Máxima Kg./m³	Humedad óptima %	C.B.R 100%	% Que Pasa por el Tamiz										L.L. (%)	I.P. (%)	Clasificación	
					2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200			SUCS	AASHTO
Fuente de Materiales : CASA SOLA KM. 167																		
1,365	1,470	1,877	9.3	99.6	98	96	88	81	69	60	45	32	22	17	41.8	13	**GM**	**A-2-7 (0)**
Fuente de Materiales : CUBALCAN																		
1,278	1,502	1,877	11.5	22.2		96	90	84	80	76	64	58	40	23	31.2	6.7	**SM**	**A-2-4 (0)**
Fuente de Materiales : EL CANAL KM. 175																		
1,336	1,254	2,054	9.5	97.8		92	70	58	43	35	20	15	9	4	--	NP	**GP**	**A-1-a (0)**
CBR (95%) =																		

Observaciones
PVSS = Peso Volumétrico Seco Suelto **PVSC = Peso Volumétrico Seco Compacto** **L.L. = Límite Líquido I.P. = Índice de Plasticidad**

Fuente: Laboratorio de Materiales y Suelos – Universidad Nacional de Ingeniería.

3.9 Resultados Obtenidos

En base de los reportes técnicos de campo y los resultados de laboratorio, se puede afirmar que en todas las calles en estudio predominan los tipos de suelo siguientes:

3.9.1 Bº Las Trincheras y San Antonio.

Suelos granulares, los que están conformados por gravas limosas, de color café. En el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), se clasifican del tipo GM. Según el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifican del tipo A-1-a, con índice de grupo de cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de nula plasticidad. Considerando la clasificación de la AASHTO, este material se cataloga de bueno para ser utilizado como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.

Suelos elásticos, los que se encuentran constituidos por limos arcillosos, de color gris oscuro. En el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), se clasifican del tipo MH. En el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-7-5, con índice de grupo de doce. La compresibilidad de este material es alta y su plasticidad es media. Según la clasificación de la AASHTO, este material se cataloga de malo como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.

Suelos elásticos, los que se encuentran constituidos por arcillas inorgánicas, de color gris oscuro. En el sistema unificado de clasificación de suelos, (SUCS), se clasifican del tipo CH. Según el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-7-6, con índice de grupo de dieciocho. La compresibilidad de este material es alta y su plasticidad es alta. Según la clasificación de suelos de la AASHTO, este material se cataloga de malo como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.

3.9.2 Bº Alejandro Ramos

Suelos granulares, los que están conformados por gravas limosas, de color café. En el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), se clasifican del tipo GM. Según el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifican del tipo A-1-b, con índice de grupo de cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de nula plasticidad. Considerando la clasificación de la AASHTO, este material se cataloga de bueno para ser utilizado como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.

Suelos elásticos, los que se encuentran constituidos por arcillas inorgánicas, de color gris oscuro. En el sistema unificado de clasificación de suelos, (SUCS), se clasifican del tipo CH. Según el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-7-6, con índice de grupo de doce. La compresibilidad de este material es alta y su plasticidad es alta. Según la clasificación de suelos de la AASHTO, este material se cataloga de malo como material de cimentación de terracería y/o estructuras de pavimento.

3.10 Fuentes de Materiales

Nota: Con el propósito de suministrar a la obra de materiales adecuados de cimentación, se tomaron muestras de diferentes fuentes de materiales.

3.10.1 Fuente de Materiales “Banco Casa Sola”.

Esta fuente está conformada por materiales granulares, correspondientes a gravas limosas. En el sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS, este material se clasifica del tipo GM. En el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-2-7, su índice de grupo es cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de media plasticidad, su CBR es de 99.6 **%**, su densidad seca máxima es de 1,877 Kg/m³ y su humedad óptima es de 9.3%.

- En base al sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, este material se caracteriza de bueno para ser utilizado en terracería y/o estructuras de pavimento.

- Considerando los resultados de C.B.R. y el ensaye Próctor, este material puede ser utilizado como base y Subbase de buena calidad.

Esta fuente de materiales se localiza, en el sitio conocido como “Casa Sola”, en el Km. 167.

3.10.2 Fuente de Materiales “Cubalcan”

Esta fuente está conformada por materiales granulares, correspondientes a arenas limosas. En el sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS, este material se clasifica del tipo SM. En el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-2-4, su índice de grupo es cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de baja plasticidad, su CBR es de 22.2 **%**, su densidad seca máxima es de 1,877 Kg/m³ y su humedad óptima es de 11.5%.

- En base al sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, este material se caracteriza de bueno para ser utilizado en terracería y/o estructuras de pavimento.

- Considerando los resultados de C.B.R., este material presenta propiedades físico-mecánicas deficientes para ser utilizados como material de base y Subbase de buena calidad.

Esta fuente de materiales se localiza, en el sitio conocido como “Cubalcan” situado en la salida de la parte sur de la ciudad de Jinotega.

3.10.3 Fuente de Materiales “El Canal”

Esta fuente está conformada por materiales granulares, correspondientes a gravas de mala graduación. En el sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS, este material se clasifica del tipo GP. En el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-1-a, su índice de grupo es cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de nula plasticidad, su CBR es de 97.8 %, su densidad seca máxima es de 2,054 Kg/m³ y su humedad óptima es de 9.5%.

- En base al sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, este material se caracteriza de bueno para ser utilizado en terracería y/o estructuras de pavimento.

- Considerando los resultados de C.B.R. y el ensaye Próctor, este material puede ser utilizado como material de base y Subbase de buena calidad.

Esta fuente de materiales se localiza, en el sitio conocido como “El Canal”, en el Km. 175.

3.10.4 Fuente de Materiales “Diriangen”

Esta fuente está conformada por materiales granulares, correspondientes a gravas arcillosas de mala graduación. En el sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS, este material se clasifica del tipo GP-GC. En el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-1-a, su índice de grupo es cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de baja plasticidad, su CBR es de 92.2 %, su densidad seca máxima es de 1,694 Kg/m³ y su humedad óptima es de 8.2%.

- En base al sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, este material se caracteriza de bueno para ser utilizado en terracería y/o estructuras de pavimento.

- Considerando los resultados de C.B.R. y el ensaye Próctor, este material puede ser utilizado como material de base y Subbase de buena calidad.

Esta fuente de materiales se localiza, en el Km. 167.

3.10.5 Fuente de Materiales “Diriangen Borde”

Esta fuente está conformada por materiales granulares, correspondientes a gravas arcillosas de mala graduación. En el sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS, este material se clasifica del tipo GP-GM. En el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-2-7, su índice de grupo es cero. La fracción fina que contiene este material es de alta compresibilidad y de media plasticidad, su CBR es de 88.9 %, su densidad seca máxima es de 1,747 Kg/m³ y su humedad óptima es de 10.3%.

- En base al sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, este material se caracteriza de bueno para ser utilizado en terracería y/o estructuras de pavimento.

- Considerando los resultados de C.B.R. y el ensaye Próctor, este material puede ser utilizado como material de base y Subbase de buena calidad.

Esta fuente de materiales se localiza en el Km. 167.

3.10.6 Fuente de Materiales “Cisa Agro”

La muestra de suelo de esta fuente de materiales corresponde a un material con predominio de fracción granular, el cual está constituido por gravas limosas de mala graduación. En el sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS, se clasifica del tipo GP-GM. Según el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, se clasifica del tipo A-1-a, con índice de grupo de cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de nula plasticidad. El CBR es de 36.7%, el resultado del ensaye de compactación Próctor es de 1,599 Kg/m³.

- En base al sistema de clasificación AASHTO, este material se caracteriza de bueno para ser utilizado como material de terracería.

- Considerando los resultados de su peso volumétrico, densidad seca máxima y el valor relativo soporte California (CBR), este material puede ser utilizado como material de Subbase de buena calidad.

- Antes de colocar el material, deberá eliminarse el sobre tamaño; eliminarse las partículas mayores de 1 ½”.

Esta fuente de materiales se localiza en la ciudad de Jinotega, exactamente del Colegio Divino Niño tres cuadras hacia el Este.

4. Calculo del CBR de Diseño

Para determinar el CBR de Diseño (California Bearing Ratio: Valor de Soporte California), que es la resistencia al corte del suelo expresada en porcentaje y sirve para poder evaluar la calidad del terreno para las capas de la estructura de pavimento (Subrasante, Subbase y Base).

Uno de los métodos más utilizados para calcular el CBR de diseño es el propuesto por el Instituto Chileno 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 transito que se espera que circule sobre el pavimento. Como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 23. Límites para la selección de resistencias.

№ de ejes ESAL'S en el Carril de Diseño	Percentil a seleccionar para hallar el CBR de Diseño
< a 10,000 ESAL'S	60
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL'S	75
> a 1,000,000 ESAL'S	87.5

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO-93.

En la elaboración del estudio de tránsito, se obtiene que el tránsito para el carril de diseño equivale a **648,383.83 Re/Carril de Diseño** siendo evidente que el rango a utilizar es el segundo que esta entre 10,000 y 1,000,000 de ejes equivalentes ESAL'S y por ende el percentil para calcular CBR de Diseño es 75%.

A continuación se calcula el CBR de diseño para la clasificación de suelos que presenta el estudio de suelo realizado:

Tabla 24. Clasificación del material en base al CBR.

№ CBR	Clasificación General	Usos	Sistema Clasificación	
			S.U.C.S	**A.A.S.H.T.O**
0 – 3	Muy Pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
0 – 7	Muy Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 – 20	Regular	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 – 50	Bueno	Subbase y Base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1-b, A2-5, A-3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A-3

Fuente: Mecánica de Suelos y Cimentaciones – Crespo Villalaz.

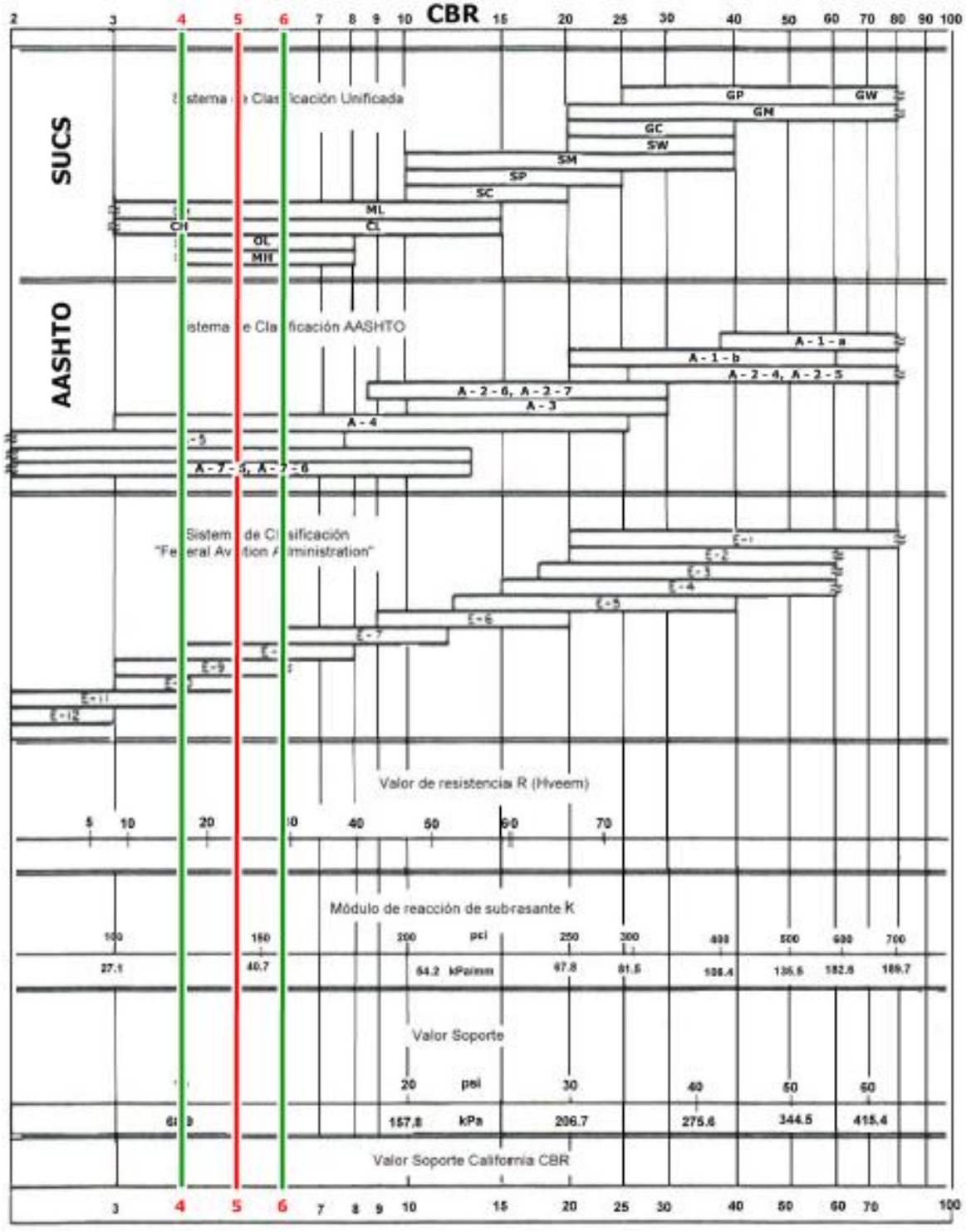
A continuación se muestra el procedimiento para seleccionar el CBR de diseño:

1- En la primera columna de la Tabla 25 pág. 52 se ordenan las muestras de los sondeos manuales que se hicieron en los tres barrios del tramo de diseño.

2- En la segunda columna de la Tabla 25 se ubica el tipo de suelo que se presentó para los tres barrios del tramo de diseño por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y AASHTO-93; análisis que realizo el Laboratorio de Materiales y Suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería.

3- Y para la tercera columna de la Tabla 25 se establecieron los valores de CBR según su tipo de suelo con el uso del Gráfico 6 en la pág. 51 de CBR de clasificación de suelos relacionada con parámetros de resistencia que se desarrolla a continuación:

Gráfico 6. Clasificación de Suelos Relacionada con Parámetros de Resistencia – AASHTO-93.



Fuente: Elaboración propia.

En el grafico anterior №6 utilizado para la clasificación de suelos propuesto por la guía de Diseño de Pavimentos AASHTO-93; consiste en trazar líneas rectas de extremo a extremo preferiblemente por la parte media de la franja que indica el tipo de suelo del cuadro estableciendo los rangos correspondientes de CBR, el cual se interpretan los tipos de suelos clasificados por el (SUCS y AASHTO).

Tabla 25. Límites de Resistencia de los sondeos.

Límites de Resistencia		
Muestra	Tipo de Suelo	Valor CBR encontrado
Bo. Las Trincheras **Sm-15**	**MH**	**5**
Bo. Las Trincheras **Sm-18**	**MH**	**6**
Bo. San Antonio **Sm-20**	**CH**	**4**
Bo. San Antonio **Sm-22**	**CH**	**4**
Bo. Alejandro R. **Sm-26**	**CH**	**4**
Bo. Alejandro R. **Sm-27**	**CH**	**4**

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Es importante mencionar que las profundidades de calicatas para la extracción de muestras del suelo presentan 2 profundidades diferentes y para este se tomó el segundo tipo de suelo encontrado hasta el final de la profundidad investigada de Subrasante de 1.50 metros.

Por Ejemplo:

Tabla 26. Resumen Sm-15 "Bo. Las Trincheras".

Sondeo №	Muestra	Profundidad (metros)	Clasificación	
			SUCS	AASHTO
Sm-15	1	0.00-0.40	GM	A-1-a (0)
	2	0.40-1.50	MH	A-7-5 (12)

Fuente: Elaboración propia.

4- Ahora que se obtuvieron los valores CBR se procede a calcular los valores en porcentaje de estos mismos:

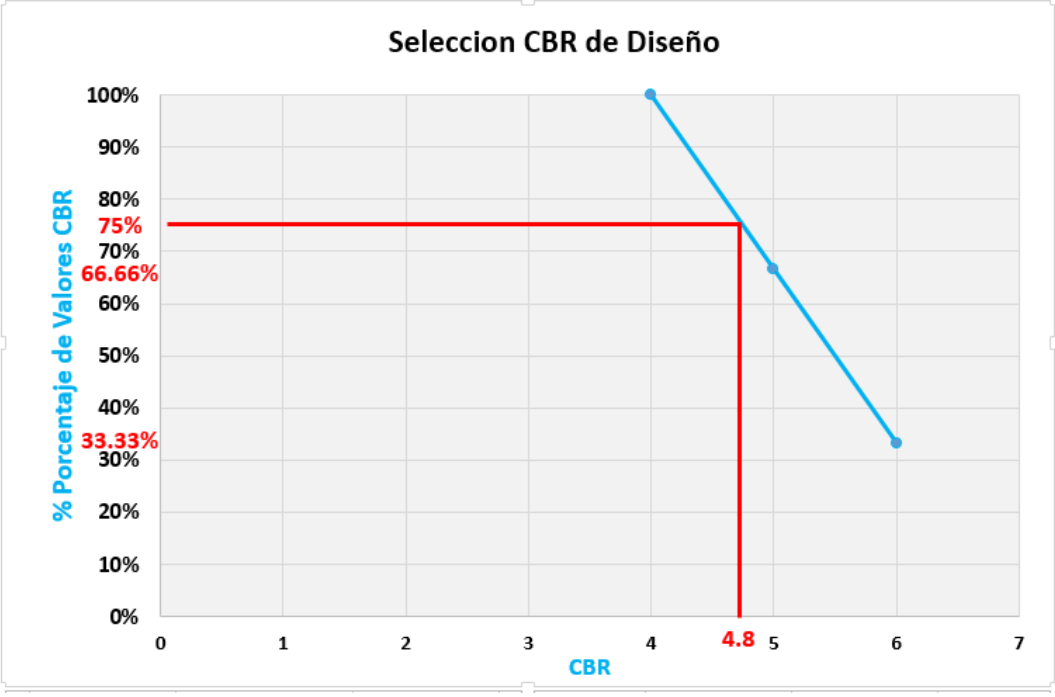
Tabla 27. Límites de Resistencia de los sondeos.

CBR encontrado	№ de valores iguales o mayores.	Porcentaje de Valores
4	3	(3/3)*100 = **100%**
5	2	(2/3)*100 = **66.66%**
6	1	(1/3)*100 = **33.33%**

Fuente: Elaboración propia.

5- Una vez que ya se tienen los porcentajes de CBR encontrados se dibuja un gráfico que relacione los valores de CBR con los porcentajes anteriormente calculados en la Tabla 27 generando una curva para intersectarse con el CBR de diseño respecto al Percentil de Diseño que se estableció.

Gráfico 7. CBR de Diseño



Fuente: Elaboración propia.

Aplicando el método del instituto de Asfalto, se ha elegido un **C.B.R** de diseño para la sub rasante de **4.08%**, siendo este un valor representativo de los valores encontrados en los sondeos manuales.

Los materiales encontrados que predominan en el sub-suelo corresponden a suelos granulares; gravas limosas, gravas limosas de mala graduación, gravas limosas de buena graduación, gravas de mala graduación, de los tipos A-1-a, A-1-b, A-2-5 y A-2-7 (GM, GP-GM, GP-GW Y GP), gravas arcillosas, del tipo A-2-7 (GC), gravas limo arcillosas del tipo A-7-5 (GM) y arenas limosas del tipo A-2-4 y A-2-6 (SM); suelos finos, conformados por limos arcillosos, los que se clasifican del tipo A-6 y A-7-5 (ML y MH) y arcillas inorgánicas, que se clasifican del tipo A-7-6 (CH).

La fuente de materiales están conformadas por materiales granulares, correspondientes a gravas limosas del tipo A-2-7 (GM), gravas de mala graduación del tipo A-1-a (GP), gravas arcillosas de mala graduación del tipo GP-GC (A-1-a y A-2-y) y arenas limosas del tipo A-2-4 (SM). Las fuentes de materiales "Casa Sola", "El Canal", "Diriangen" y "Diriangen Borde", por sus pesos volumétricos, así como su C.B.R. nos indican que pueden ser utilizados como base de buena calidad y Subbase de buena calidad. La fuente de materiales denominada "Cubalcan", no puede ser utilizada como material de base y Subbase.

Nota: Todos los materiales encontrados en la exploración son considerados de regulares a buenos (granulares) y malos (finos) como materiales de cimentación de terraplenes o estructuras de pavimento. Dentro del análisis de ensayes de C.B.R de diseño para niveles de Sub-rasantes corresponde al 4.8%.

Tabla 28. Niveles de seguridad para Subrasante.

C.B.R	Clasificación
0 – 5	**Subrasante de muy mala calidad**
5 – 10	Subrasante mala
11 – 20	Subrasante regular o buena
21 – 30	Subrasante muy buena

Fuente: Mecánica de Suelos y Cimentaciones – Crespo Villalaz.

Capítulo IV

Diseño de Capa de Rodamiento de adoquín

4.1 Diseño de capa de rodamiento de adoquín

Diseño de pavimentos consiste en determinar los espesores de la estructura basada en el nivel de transito así como en las propiedades de los materiales; el período de desempeño de un pavimento está en función de la perdida de serviciabilidad. Uno de los métodos que más se emplea en Centroamérica para el diseño de estructuras de pavimento flexible, es el de la AASHTO; este método también es aplicable en el diseño de carreteras cuya superficie de rodadura está constituida por adoquines de concreto.

El método requiere información basada en las características y propiedades de los materiales que conforman los suelos de cada capa de la estructura, así como la composición vehicular que someterá la estructura de pavimento a las cargas variables de tránsito.

4.2 Diseño de Capa de Rodamiento con el AASHTO-93:

Para el Diseño de la Estructura de Pavimento de adoquín se deben de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Confiabilidad (R).**
- **Desviación Estándar (So).**
- **Coeficiente de Drenaje (m).**
- **Serviciabilidad (Pt).**
- **Módulo de Resiliencia (MR).**

4.2.1 Confiabilidad (R).

Función de la Confiabilidad del diseño o grado de confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

Tabla 29. Niveles de Confiabilidad.

Niveles de Confiabilidad		
Tipo de Camino	**Zona Rural**	**Zona Urbana**
Autopistas, Interestatales	80 - 99.9	85 - 99.9
Carreteras Principales	75 - 99	80 - 99.9
Colectoras	~~75 - 95~~ →	**80 - 95**
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, (SIECA-2004).

Se propone un nivel de confiabilidad de R=95%. Clasificado como Vía Colectora, ya que serviría para velocidades menores en distancias cortas para calles o caminos locales y en este caso se trata del diseño de la avenida principal.

4.2.2 Desviación Estándar (So).

Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida útil. Para este diseño se propone un So=0.45

Tabla 30. Desviación Estándar.

Error Estándar Combinado (So)		
Condición	**Pavimento Rígido**	**Pavimento Flexible**
En Construcción Nueva	~~0.30 – 0.40~~ →	**0.40 – 0.50**
En Sobre Capas	0.39	0.49

Fuente: (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos).

4.2.3 Coeficiente de Drenaje (m).

Es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil, y por lo tanto lo es también en el diseño del mismo. El exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipa con el tiempo para ocasionar daños a las estructuras del pavimento.

Tabla 31. Coeficientes de Drenaje.

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

Fuente: (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos).

Para la estimación de los coeficientes de drenaje tomamos en cuenta el tipo de clima del área donde se localiza el tramo en estudio y el tiempo en que tarda el agua en ser evacuada.

Tabla 32. Coeficientes de Drenaje.

Calidad de drenaje	Porcentaje de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación.			
	$< 1\%$	$1 - 5\ \%$	$5 - 25\ \%$	$> 25\ \%$
Excelente	1.40 *a* 1.35	1.35 *a* 1.30	1.30 *a* 1.20	1.20
Bueno	~~1.35 *a* 1.25~~	~~1.25 *a* 1.15~~	~~1.15 *a* 1.00~~	**1.00**
Regular	1.25 *a* 1.15	1.15 *a* 1.05	1.00 *a* 0.80	0.80
Pobre	1.15 *a* 1.05	1.05 *a* 0.80	0.80 *a* 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 *a* 0.95	0.95 *a* 0.75	0.75 *a* 0.40	0.40

Fuente: (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos).

En la región norte la estación lluviosa se prolonga con respecto al resto del país por tanto es muy probable que la estructura de pavimento una vez construida permanezca en condiciones muy cercanas a la saturación durante periodos de uno o dos días. Por tanto se considera un porcentaje de saturación mayor al 25%.

4.2.4 Serviciabilidad (Pt).

Se define como la manera en que un pavimento cumple su función de ser cómoda, fácil, rápida y segura para la circulación de los vehículos.

4.2.4.1 El Índice de Serviciabilidad Inicial (ρo):

Según el Manual Diseño de Pavimentos AASTHO-93 cap. 8.2.5 pp. 172.

Serviciabilidad inicial:

- ✓ po = 4.5 para pavimentos rígidos
- ✓ po = 4.2 para pavimentos flexibles

4.2.4.2 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt):

Serviciabilidad final:

- ✓ pt = 2.5 o más para caminos muy importantes
- ✓ pt = 2.0 para caminos de menor tránsito

4.2.4.3 Perdida 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:

$$\Delta PSI = Po - Pt \quad \text{(Ecuación №8)}$$

$$\boldsymbol{\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2 \qquad (Pt) = 2.2}$$

4.2.5 Módulo de Resiliencia (MR).

La Resiliencia es una energía potencial de deformación, el módulo resiliente reemplaza al CBR como variable para caracterizar la sub rasante, sub base y base. Es obtenido a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de cada uno de los materiales.

La guía de diseño de la AASTHO, establece las siguientes correlaciones para encontrar el Módulo resiliente de la sub rasante.

Tabla 33. Correlaciones de Criterios del Módulo de Resiliencia.

Valor de CBR	Consideración
$\boldsymbol{CBR < 10\%}$	$\boldsymbol{Mr = 1500 * CBR}$
$10\% < CBR < 20\%$	$Mr = 3000 * CBR^{0{\cdot}65}$
$CBR > 20\%$	$Mr = 4326 * Ln\,(CBR) + 241$

Fuente: (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos).

En este caso los ensayos de laboratorio para el CBR de diseño de la sub rasante corresponde al 4.8%, utilizaremos el primer criterio para calcular el módulo resiliente de la sub rasante, por tanto:

1er Criterio $\approx$ $Mr = 1500 * CBR$ (Ecuacion №9)

$$\boldsymbol{Mr = 1500 * CBR}$$

$$\boldsymbol{Mr = 1500 * 4.8}$$

$$\boldsymbol{Mr = 7,200\ psi}$$

4.3 Coeficiente de capas

Son coeficientes que están relacionados con parámetros resistentes de bases granulares, sub-bases granulares, bases tratadas con asfalto y bases tratadas con cemento. Conforme a estos coeficientes, se puede proceder al diseño de un paquete estructural para un pavimento flexible.

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (ai), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de pavimento con adoquines. 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 de pavimento.

- Carpeta de rodamiento: **(a1)**
- Bases Granulares o Bases tratadas con algún conglomerante de ser necesario: **(a2)**
- Sub-base: **(a3)**

4.3.1 Carpeta de rodamiento: (a1)

Debido a que no se cuenta con nomogramas para el cálculo de coeficiente estructural de la carpeta de rodadura se procede a realizar la estimación de a1 de la siguiente manera:

El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, Capitulo 7 (SIECA-2004), establece un coeficiente estructural para carpeta de rodamiento de adoquín de:

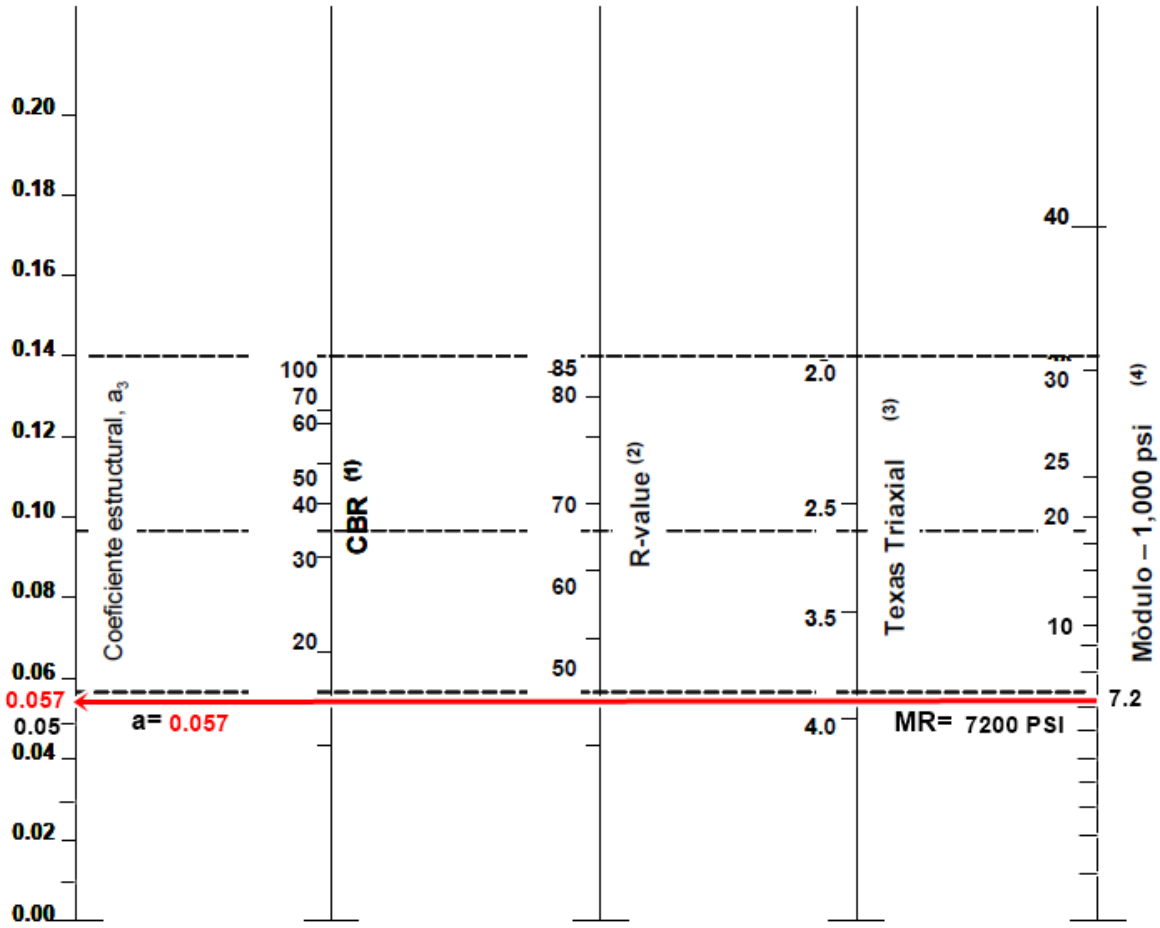
$$\boldsymbol{a1 = 0.45}$$

4.3.2 Bases Granulares o bases tratada con algún conglomerante de ser necesario: (a2)

El valor del coeficiente estructural de capa de bases granulares **(a2)** se determina con el uso del nomograma de la figura 5.17 de la guía A.A.S.T.H.O.

Tomando como parámetro de entrada el valor del Módulo de Resiliencia (MR) encontrado para sustituir el índice de CBR de Diseño, luego se traza una línea horizontal hasta interceptar en la línea vertical izquierda con el valor resultante en el Grafico siguiente del Nomograma. Donde resulta que **a2= 0.057**

Gráfico 8. Nomograma para coeficientes de capas de bases granulares.



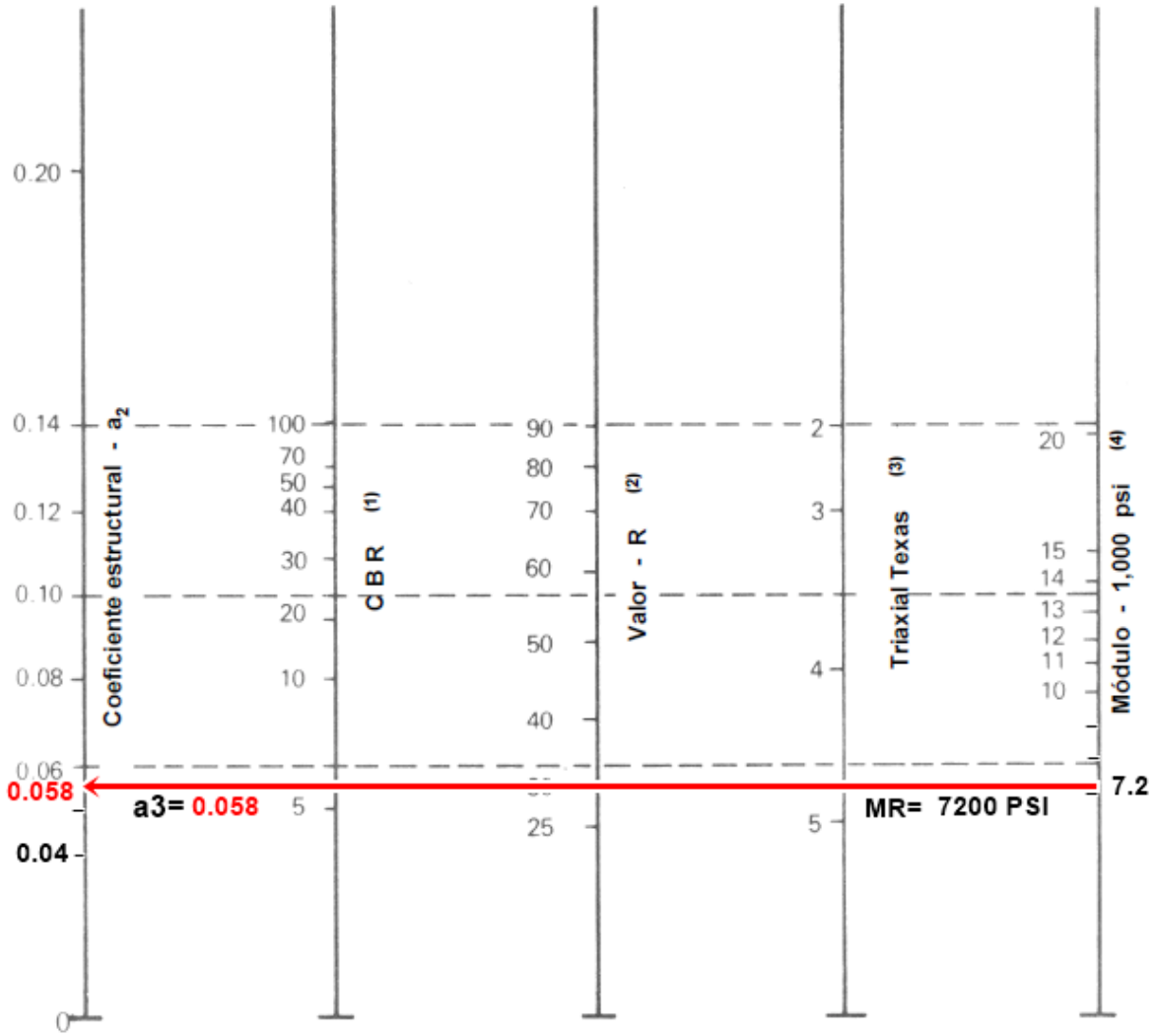
Fuente: (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos).

4.3.3 Sub-base: (a3)

El valor del coeficiente estructural de capa de sub-base **(a3)** se determina con el uso del nomograma de la figura 5.18 de la guía A.A.S.T.H.O

Tomando como parámetro de entrada el valor del Módulo de Resiliencia (MR) encontrado para sustituir el índice de CBR de Diseño, luego se traza una línea horizontal hasta interceptar en la línea vertical izquierda con el valor resultante en el Grafico siguiente del Nomograma. Donde resulta que **a3 = 0.058**

Gráfico 9. Nomograma para coeficientes de capas Subbase granulares.



Fuente: (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos).

4.4 Cálculo de los Espesores del Pavimento de adoquín.

4.4.1 Números estructurales (SN).

También conocido como valor de soporte de suelo, es un número asignado para poder representar la capacidad portante de un pavimento. Este número indica el total de espesores o capas que requiere un pavimento para soportar las cargas a la que será sometido durante su vida útil y se consideran coeficientes relativos a cada capa que dependen del material que conformen estas, por lo tanto, podemos decir que el pavimento tendrá mayor capacidad de soporte mientras mayor sea el numero estructural y viceversa.

Para obtener los números estructurales (SN), se hará uso del ábaco de diseño para pavimentos flexibles propuesto por la A.A.S.T.H.O, donde se deben tener en cuenta ciertas variables como:

Las variables de entrada en este ábaco de diseño son:

- Tránsito estimado por carril**, ESAL'S o W18**, a lo largo de la vida útil del pavimento **= 648,383.83 ≈ 6.4838 x 10^5**

- Confiabilidad **R = 95%.**

- Desviación estándar de todas las variables **So = 0.45**

- Módulo resiliente **MR (Base y Subrasante) = 7,200 psi**

- Pérdida de serviciabilidad **PSI = 2.2**

Gráfico 10. Abaco de Diseño AASHTO-93 para pavimentos flexibles.

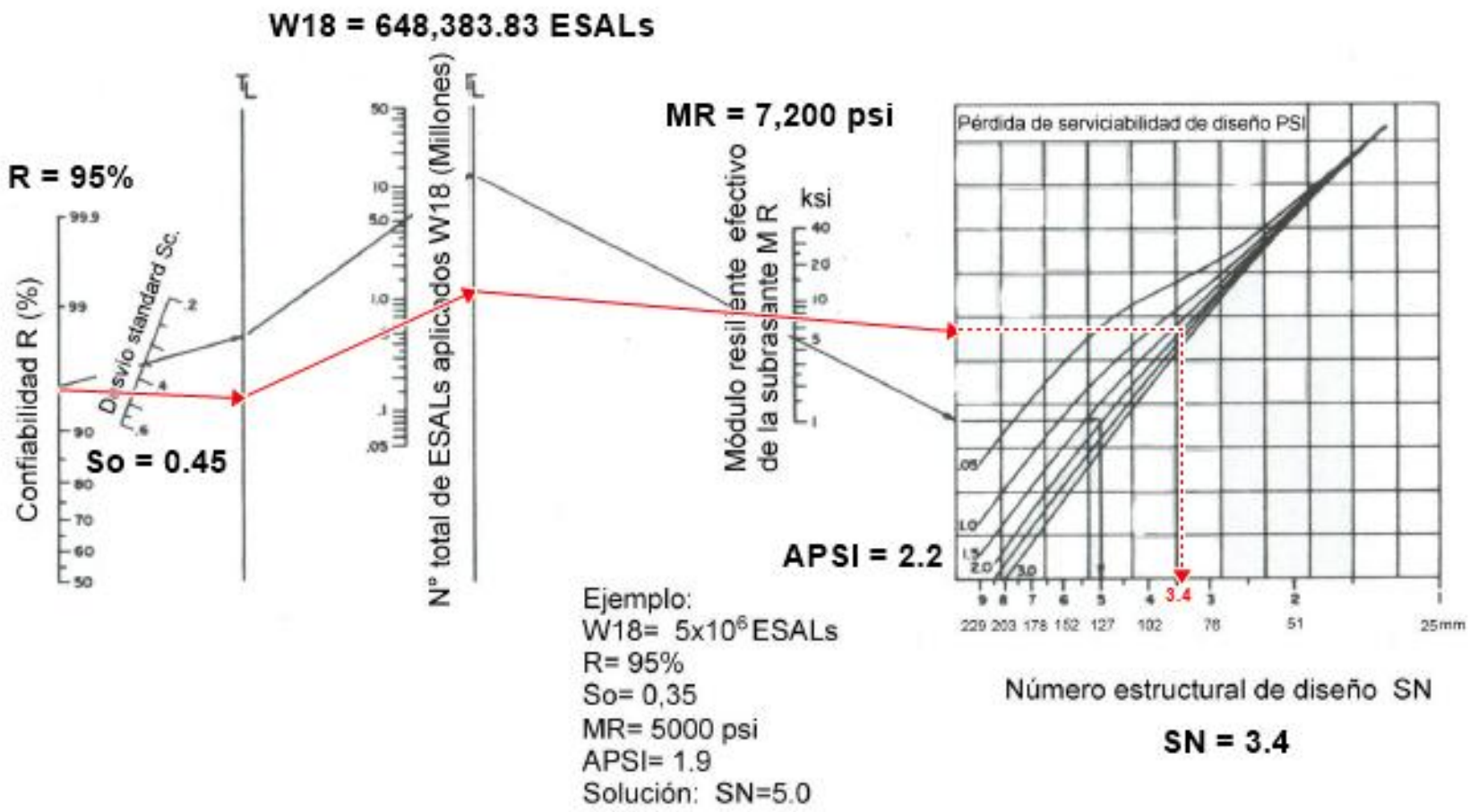


Figura 8.1. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles

Fuente: (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos) – Elaboración propia.

Tabla 34. Espesores mínimos.

Numero de ESAL´S	Concreto Asfaltico	Base Granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 – 150,000	5.0 cm	10 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 – 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos) – Estabilidad y Factibilidad de Construcción.

No es práctico ni económico colocar capas de un espesor menor que el mínimo requerido. Además las capas de un cierto espesor por encima de un mínimo son más estables. Muchas veces se especifica un número de espesor de capas para mantener la estructura del pavimento por encima del nivel de congelamiento o para mitigar los efectos de los suelos expansivos.

4.5 Calculo de los Espesores.

La expresión que liga el número estructural con los espesores de capa es:

$$SN^*_1 + SN^*_2 + SN^*_3 \quad \text{(Ecuación №10)}$$

Datos:

SN: Numero estructural requerido = 3.4

a1: Coeficiente estructural de la Capa de Rodamiento (adoquín) = 0.45

D1: Espesor de la Capa de Rodamiento (adoquín) = 4 pulg / 10 cm

a2: Coeficiente estructural de la Capa Base = 0.057

m2: Coeficiente de drenaje para la base = 1

D2: Espesor de la Capa Base = ?

a3: Coeficiente estructural de la Capa Subbase = 0.058

m3: Coeficiente de drenaje para la Subbase = 1

D3: Espesor de la capa Subbase = ?

Donde:

a1, a2, a3 son los coeficientes estructurales o de capa, adimensionales.

m2, m3 son los coeficientes de drenaje.

D1, D2, D3 son los espesores de capas, en pulg o mm, en este sentido, el número estructural llevará las unidades de los espesores de las capas del pavimento.

Para:

$$\boldsymbol{D1 \geq \frac{SN1}{a1}} \quad \text{(Ecuación №11)}$$

No se va a utilizar esta primera ecuación para encontrar D1, porque se conoce que el espesor (D1) de la Capa de Rodamiento de Adoquín equivale a **4 pulg ≈ 10cm.**
SN*$_1$ Número estructural absorbido de la carpeta:

$$\mathbf{SN^*_1 = a1 * D1} \quad \text{(Ecuación №12)}$$

$$\mathbf{SN^*_1 = 0.45 * 4\ pulg = 1.80}$$

Para determinar el espesor mínimo de la base, se entra al ábaco con el MR de Subbase y entonces se obtiene el SN2 a ser absorbido por la Base. Así:

$$\boldsymbol{D2 \geq SN2 - SN^*_1 / a2 * m2} \quad \text{(Ecuación №13)}$$

$$\boldsymbol{D2 \geq \frac{3.4 - 1.80}{0.057 * 1} = \frac{1.6}{0.057} = 28.07\ pulg \approx 70.17\ cm}$$

Se adopta un espesor ligeramente mayor, D2*, y el SN*$_2$ absorbido será:

SN*$_2$ absorbido de la Base

$$\mathbf{SN^*_2 = a2 * m2 * D2} \quad \text{(Ecuación №14)}$$

$$\mathbf{SN^*_2 = a2 * m2 * D2 = 0.057 * 1 * 28.07 = 1.59}$$

Por último, el espesor de la Capa Subbase se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D3 \geq \text{SN} - (\text{SN}^*_1 + \text{SN}^*_2)/a3 * m3 \quad \text{(Ecuación №15)}$$

$$D3 \geq \frac{3.4 - (1.80 + 1.59)}{0.058 * 1} = \frac{3.4 - 3.39}{0.058} = \frac{0.010}{0.058} = 0.17$$

$$D3 = 0.17\ pulg \approx 0.42\ cm\ de\ Capa\ Subbase$$

$$Nota: \textit{no es necesario capa Subbase.}$$

SN^*_3 absorbido de la Base

$$\text{SN}^*_3 = a3 * m3 * D3 \quad \text{(Ecuación №16)}$$

$$\text{SN}^*_3 = a3 * m3 * D3 = 0.058 * 1 * 0.17 = 0.009$$

Calculo del Numero Estructural (SN)

Habiendo obtenido el SN requerido por medio del ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles se aplica la formula siguiente para obtener un SN corregido.

(Ecuación №17)

SN = (a1*D1)+ (a2*D2*m2)+ (a3*m3*D3) se procede al cálculo de los espesores de las base y sub-base.

$$SN = (0.45 * 4) + (0.057 * 28.07 * 1) + (0.058 * 1 * 0.17)$$

$$SN = 1.80 + 1.59 + 0.009 = 3.39$$

$$SN = 3.39$$

Verificación:

$$SN^*_1 + SN^*_2 + SN^*_3 \geq SN \quad \text{(Ecuación №18)}$$

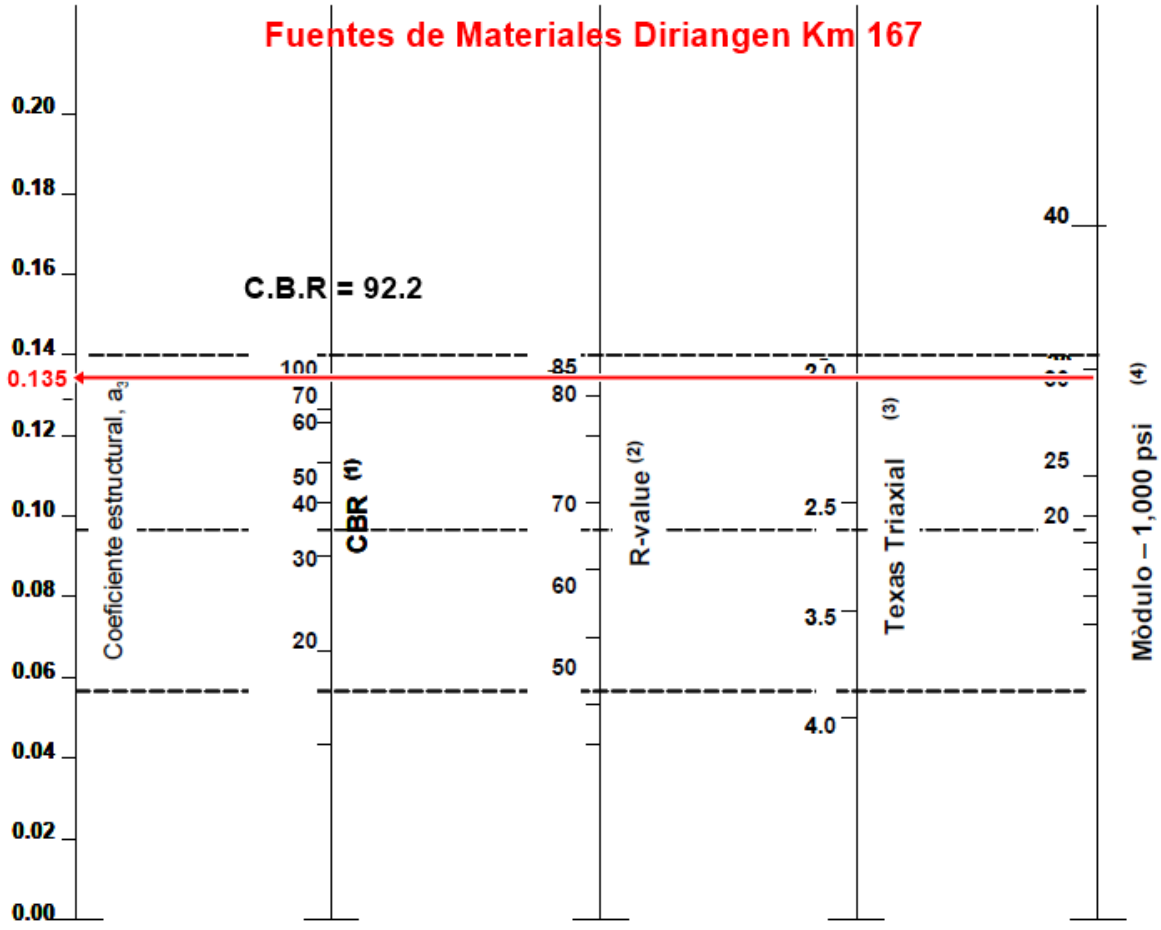
$$SN^*_1 + SN^*_2 + SN^*_3 \geq SN$$

$$1.80 + 1.59 + 0.009 \geq 3.39$$

$$3.39 \geq 3.39$$

Aplicando el Banco de Material seleccionado “Diriangen Km 167” con CBR = 92.2, se procede a calcular los coeficientes de capas correspondientes para capa Base (a2) y Subbase (a3). En este nomograma se tiene un coeficiente **a2=0.135**

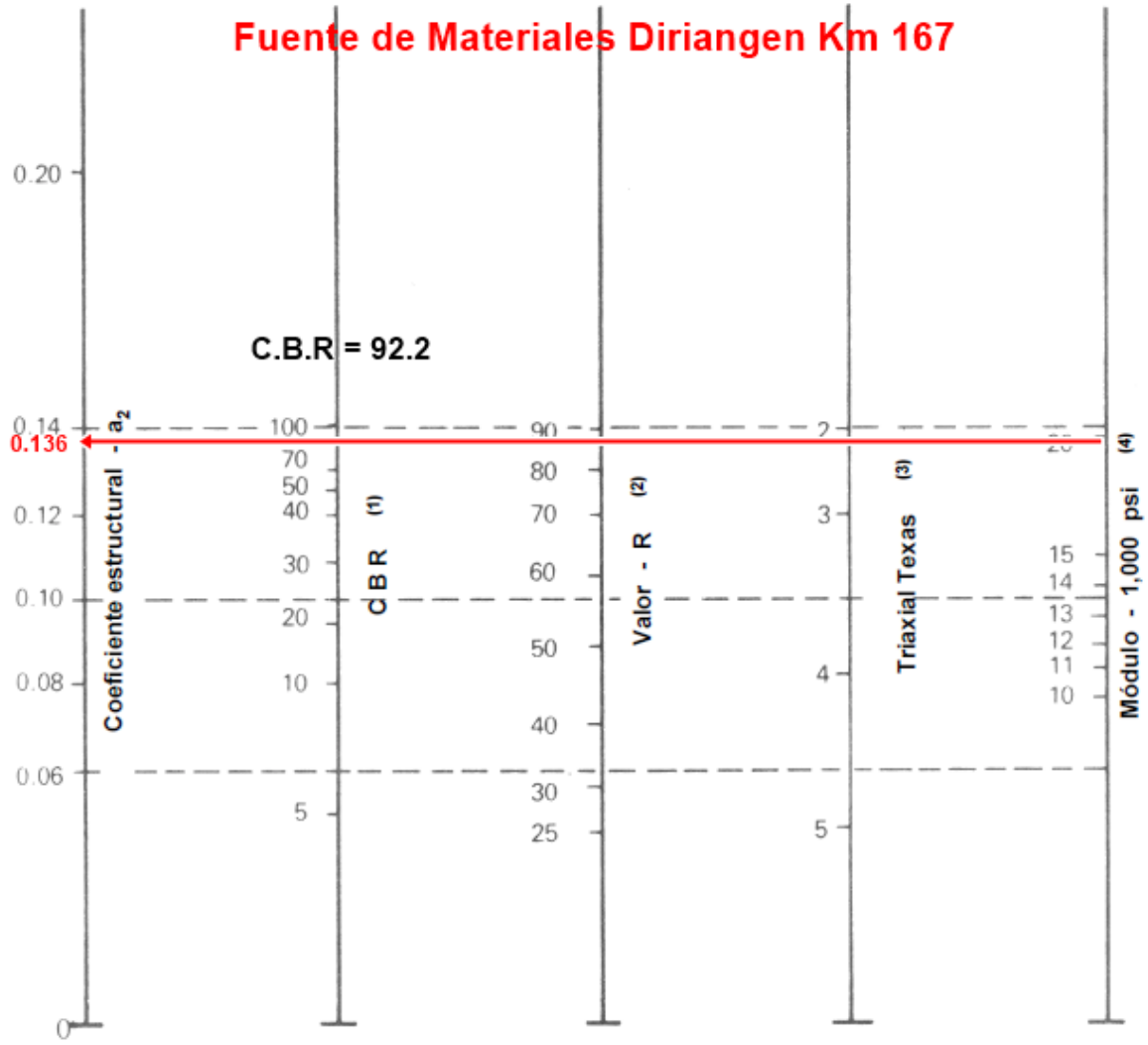
Gráfico 11. Nomograma para coeficientes de capas de bases granulares.



Fuente: (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos).

Ahora calculamos el coeficiente (a3) de capa Subbase tomando en cuenta siempre como parámetro de entrada el CBR del Banco de Material seleccionado, resultando para esta Nomograma un coeficiente **a3 = 0.136**

Gráfico 12. Nomograma para coeficientes de capas Subbase granulares.



Fuente: (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos).

Una vez que se obtienen los coeficientes de estructura vinculados con el parámetro de entrada de CBR del Banco de Material en los Nomogramas correspondientes se pueden calcular los espesores finales correspondientes para el paquete estructural con el mismo procedimiento anterior de ecuaciones para espesores de capas y numero estructural.

Ahora se calcula un nuevo (**SN*$_1$**) Número estructural absorbido de la carpeta haciendo uso de la (Ecuación anterior №12) de la pág. 68:

$$SN^*_1 = a1 * D1$$

$$SN^*_1 = 0.45 * 4\ pulg = 1.80$$

Para determinar el espesor mínimo de la base, se sustituye el valor de (a2) mediante la (Ecuación anterior №13), de la pág. 68 Así:

$$D2 \geq SN2 - SN^*_1 / a2 * m2$$

$$D2 \geq \frac{3.4 - 1.80}{0.135 * 1} = \frac{1.6}{0.135} = 11.85\ pulg \approx 29.62\ cm$$

$$D2 = 11.85 \approx 30.00\ cm$$

Por medio de la (Ecuación № 14), de la pág. 68 y se adopta un espesor ligeramente mayor, D2*, y el SN^*_2 absorbido será:

SN^*_2 absorbido de la Base

$$SN^*_2 = a2 * m2 * D2$$

$$SN^*_2 = a2 * m2 * D2 = 0.135 * 1 * 11.85 = 1.59$$

Por último, el espesor de la Capa Subbase se calcula mediante la siguiente expresión de la (Ecuación anterior № 15), de la pág. 69:

$$D3 \geq SN - (SN^*_1 + SN^*_2)/a3 * m3$$

$$D3 \geq \frac{3.4 - (1.80 + 1.59)}{0.136 * 1} = \frac{3.4 - 3.39}{0.136} = \frac{0.010}{0.136} = 0.07$$

$$D3 = 0.07\ pulg \approx 0.18\ cm\ de\ Capa\ Subbase$$

Nota*: *no es necesario capa Subbase.

Por medio de la (Ecuación №16), pág. 69 se calcula el $\mathbf{SN^*_3}$ **absorbido de la Base**

$$\mathbf{SN^*_3 = a3 * m3 * D3}$$

$$\mathbf{SN^*_3 = a3 * m3 * D3 = 0.136 * 1 * 0.07 = 0.009}$$

Calculo del nuevo Numero Estructural (SN)

Habiendo obtenido el SN requerido por medio del ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles se aplica la (Ecuación anterior №17) del SN.

SN = (a1*D1)+ (a2*D2*m2)+ (a3*m3*D3) se procede al cálculo de los espesores de las base y sub-base.

$$\boldsymbol{SN = (0.45 * 4) + (0.135 * 11.85 * 1) + (0.136 * 1 * 0.07)}$$

$$\boldsymbol{SN = 1.80 + 1.59 + 0.009 = 3.39}$$

$$\boldsymbol{SN = 3.39}$$

Por último se hace una **Verificación** con la (Ecuación anterior № 1), pág. 70:

$$\mathbf{SN^*_1 + SN^*_2 + SN^*_3 \geq SN}$$

$$\mathbf{SN^*_1 + SN^*_2 + SN^*_3 \geq SN}$$

$$\mathbf{1.80 + 1.59 + 0.009 \geq 3.39}$$

$$\mathbf{3.39 \geq 3.39}$$

Este método se conoce también como “Diseño con Verificación por Capas”, puesto que para cada una de las capas se verifica que existe el suficiente espesor por encima de la misma para prevenir ahuellamientos y daños estructurales.

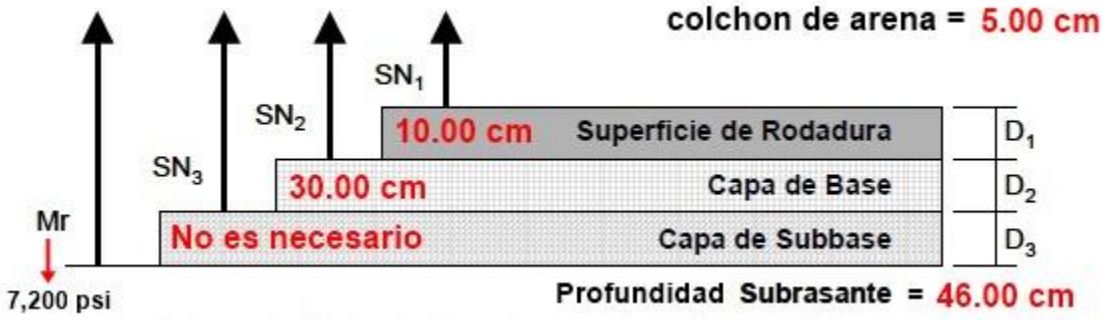
Tabla 35. Resumen de Espesores Calculados.

Capa	Espesores	
	Pulgadas	Centímetros
Carpeta de Rodamiento (Adoquín)	4″	10 cm
Arena	2″	5 cm
Base	11.85″	30.00 cm
Subbase	0.07″	0.18 cm
Nivel de Profundidad Subrasante	19″	46.00 cm

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El Banco de Préstamo seleccionado es el ″Diriangen Km 167″ y el nivel de profundidad de la Subrasante con el que se propone para levantar adoquinado es un aproximado de 19” ≈ 46.00 cm.

Gráfico 13. Sección típica de las capas estructurales para la calzada.



Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

De acuerdo a los objetivos planteados se ha concluido lo siguiente:

En el estudio de tránsito.

El aforo realizado durante la semana del 05 Septiembre 2016 – 09 de Septiembre 2016, genero un TPDA de 2,056 vehículos/día.

En base al TPDA se obtuvo una composición vehicular de: Vehículos livianos de pasajeros correspondiente al 96.35%, siendo a su vez los de mayor porcentaje las motos con un 46.06% y el segundo tipo de vehículo con porcentaje considerable sería el de las camionetas con un 32.39%. Y con menos afluencia los Vehículos de carga: con un 3.40% del tránsito total que circula por el tramo de estudio.

La tasa anual de crecimiento utilizada para el Factor de Crecimiento de la proyección del tránsito fue de 3.47% respecto al tiempo de los últimos cinco años, de cada una de las cuatro variables: Parque vehicular, Crecimiento poblacional, Consumo de combustible y Producto interno bruto.

Las Repeticiones Totales esperadas en el Carril de Diseño (ESAL'S o W18), son de: 648,383.83 ≈ 6.4838×10^5

Para el análisis del estudio de suelos.

Después de analizar mediante perfiles estratigráficos todas las muestras típicas y estudiar los resultados se determinó que no es posible utilizar la capa de rodadura actual como soporte de la estructura de pavimento de adoquín, por lo que es necesario la colocación de una base granular que cumpla con las especificaciones técnicas contenidas en la NIC-2000, la cual nos permitirá aumentar la resistencia del suelo cuando se le transmitan las cargas impuestas por el tráfico.

El CBR de diseño de Subrasante se determinó a partir del método propuesto por el Instituto Chileno de Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total que el 60%, el 75%, o el 87.5% según el número de Repeticiones esperadas en el Carril de diseño. Resultando un CBR para Subrasante de 4.08%.

De las seis fuentes de materiales estudiadas. La fuente de material seleccionada para el diseño es el “Diriangen Km 167”, porque cumple con los requerimientos mínimos en cuanto a índices de CBR, Limite líquido e Índice de plasticidad y no requieren de un proceso de estabilización con cemento según las normativas respetadas del manual NIC-2000. También se toma en cuenta distancias de acarreo con respecto a otras fuentes que también son aptas para capa Base del diseño como lo es; “El Canal Km 175”, pero quedan más extraviadas del sitio de trabajo.

En todos los sitios explorados no se detectó la presencia del nivel freático a las profundidades investigadas de 1.50 metros.

Diseño de estructura de pavimento de adoquín.

En el diseño de la estructura de pavimento de adoquín se utilizó el método AASTHO-93, método también conocido como “Diseño con Verificación por Capas” y se propuso un adoquín de 4” de espesor.

El espesor propuesto de la base granular es de 11.85 pulgadas, valor con el cual la Resistencia Portante del suelo y el Módulo de Reacción de la Subrasante se incrementan lo suficiente como para resistir las cargas dinámicas transferidas desde la capa de rodamiento de adoquín.

No es necesario utilizar capa subbase en el diseño, ya que es evidente que en los cálculos se demuestra por doble confirmación llevando a cabo el uso del método de diseño de verificación por capas del manual de Diseño de Pavimentos AASHTO-93.

5.2 Recomendaciones

Es evidente que el estudio de suelo realizado por el laboratorio de Materiales y Suelo de la Universidad Nacional de Ingeniería clasifica como regulares las características del subsuelo de los tres barrios que conforman la vía de estudio de diseño, motivo por el cual se tomó la decisión del movimiento de tierra natural del sitio para la implementación de materiales selectos con el cumplimiento de las especificaciones requeridas por el Manual NIC-2000.

El banco de material seleccionado para las llenas de espesores requeridos según resultados obtenidos del diseño es la Fuente de Materiales Diriangen Km 167 ″Específicamente para la capa Base ya que cumple con las Especificaciones requeridas por la NIC-2000” y no es necesario que sean estabilizadas por algún conglomerante.

El adoquín a usarse, incluyendo las “cuchillas”, será el denominado TIPO 1, cuya Resistencia a la compresión no deberá ser menor que 247kg/cm2 que equivalen a 3513 psi según la norma técnica Nicaragüense NTON 12 009-10 para adoquines de concreto.

Durante la construcción de la obra se recomienda que sean respetados los espesores obtenidos según el diseño, la calidad de los materiales utilizados deberán cumplir con los parámetros utilizados al momento de diseñar garantizando así que la estructura cumpla su función de manera satisfactoria.

6. Bibliografía

Anuario de Aforos de Trafico - MTI, año 2015.

Diseño de Pavimentos. AASHTO-93, 3era Edicion, año 1993.

Mecanica de Suelos. - Crespo Villalaz .5ta Edicion, año 2004.

Mecanica de Suelos Tomo 1. - Juarez Badillo, 2da Edicion, año 1973.

Especificaciones Generales para la construccion de caminos, calles y puentes. NIC-2000.

Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense Adoquines de Concreto Requisitos (NTON 12 009 - 10).

Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales. (SIECA-2004).

Estudio de Suelos de los Barrios del Casco Urbano de Jinotega, Laboratorio de Materiales y Suelos de la (UNI) - Alcaldía Municipal de Jinotega 2012.

Documentos de internet

Estadísticas Macroeconómicas - Banco Central de Nicaragua (BCN).
http://www.bcn.gob.ni/

El Manteimiento Vial y su Importancia. Fondo de Mantenimiento Vial (FOMAV). (2016).
http://fomav.gob.ni/

Anuarios Estadísticos Población y Hechos Vitales. Instituto Nicaragüense de Información de Desarrollo (INIDE).
http://www.inide.gob.ni/Anuarios

Dirección General de Hidrocarburos - Instituto Nicaragüense de Energía (INE).
http://www.ine.gob.ni/estadisticasdgh.html

Caract. Geometricas de los Pavimentos de Adoquin). Lubina Cantarero Zeas (MTI) 2003.
http://biblioteca.mti.gob.ni/

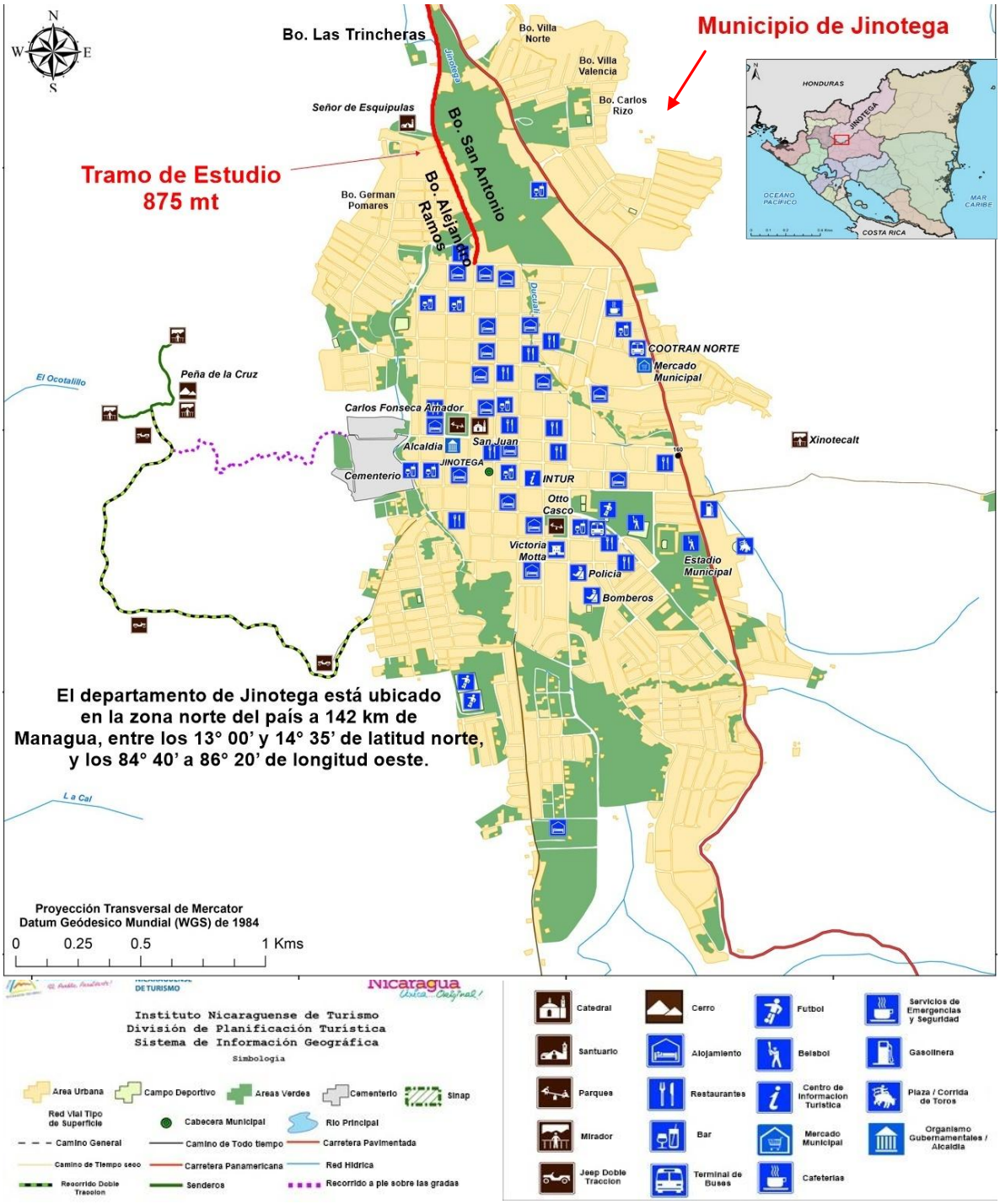
Revistas de Conteos Volumetricos de Tránsito (MTI). Biblioteca Virtual.
http://biblioteca.mti.gob.ni/

Anexos

Anexo I.1

Macro localización

Imagen 6. Departamento de Jinotega – Municipio de Jinotega.



Fuente: Google Mapas.

Anexo I.2

Micro localización

A continuación se aprecia la localización de los tres barrios que se conectan en el tramo de diseño que se estudia:

Imagen 7. Longitud del tramo de estudio.



Fuente: Google Mapas.

Anexo I.3

Estado actual de la vía

Imagen 8. "Las trincheras"



Fuente: Levantamiento por sustentante.

Anexo I.4

Tabla 36. Formato de conteo vehicular de ambos sentidos del día lunes.

Estación: Bo. Las Trincheras a 25 metros del acceso de la calle principal. **Sentido:** Ambos sentidos.

Aforador: Darwing José Reyes Hernández. **Fecha de Conteo:** Lunes 05 - Septiembre - 2016

Hora	Moto	Vehiculos de Pasajeros						Vehiculos de Carga									Equi. Pesado		Veh. Trac. Animal	Total veh/12 hrs
		Autos	Jeep	Camionetas Pick Ups	Mbus	MB > 15P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C4	C2R2	C2R3	TxSx <= 4e	T3S2	T3S3	Veh. Const	Veh. Agric		
05:00 - 06:00	23	3	-	23	-	-	1	3	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59
06:00 - 07:00	38	10	-	19	-	2	1	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	78
07:00 - 08:00	96	15	2	81	3	3	1	-	6	1	-	-	-	-	-	-	1	-	2	211
08:00 - 09:00	88	11	1	58	1	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	162
09:00 - 10:00	75	17	5	51	3	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	155
10:00 - 11:00	50	28	-	72	-	4	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	156
11:00 - 12:00	71	28	3	69	1	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	177
12:00 - 01:00	82	30	1	48	5	3	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	173
01:00 - 02:00	78	18	-	64	3	6	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	172
02:00 - 03:00	106	38	3	66	1	5	-	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	225
03:00 - 04:00	98	23	10	53	5	3	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	199
04:00 - 05:00	36	31	3	74	-	-	1	3	13	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	163
∑ Total	841	252	28	678	23	29	4	26	39	3	-	-	-	-	-	-	3	-	5	1,930

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo I.5

Tabla 37. Formato de conteo vehicular de ambos sentidos del día martes.

Estación: Bo. Las Trincheras a 25 metros del acceso de la calle principal. **Sentido:** Ambos sentidos.

Aforador: Darwing José Reyes Hernández. **Fecha de Conteo:** Martes 06 - Septiembre - 2016

Hora	Moto	Vehiculos de Pasajeros						Vehiculos de Carga									Equi. Pesado		Veh. Trac. Animal	Total veh/12 hrs
		Autos	Jeep	Camionetas Pick Ups	Mbus	MB > 15P	Bus	C2 Liv	C2 >5 ton	C3	C4	C2R2	C2R3	TxSx <=4e	T3S2	T3S3	Veh. Const	Veh. Agric		
05:00 - 06:00	26	2	-	18	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50
06:00 - 07:00	45	8	1	23	1	1	-	2	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	89
07:00 - 08:00	94	16	-	30	2	2	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	151
08:00 - 09:00	79	10	1	52	-	3	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	148
09:00 - 10:00	85	16	3	46	-	3	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	155
10:00 - 11:00	48	20	2	45	-	6	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	126
11:00 - 12:00	81	27	1	35	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	147
12:00 - 01:00	80	29	1	36	2	5	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	156
01:00 - 02:00	81	15	3	38	1	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143
02:00 - 03:00	80	32	3	68	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	190
03:00 - 04:00	101	20	-	61	5	5	1	-	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	201
04:00 - 05:00	58	22	1	74	-	-	-	2	3	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	161
∑ Total	859	217	16	526	15	31	1	22	23	1	-	-	-	-	-	-	2	1	4	1,717

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I.6

Tabla 38. Formato de conteo vehicular de ambos sentidos del día miércoles.

Estación: Bo. Las Trincheras a 25 metros del acceso de la calle principal. **Sentido:** Ambos sentidos.

Aforador: Darwing José Reyes Hernández. **Fecha de Conteo:** Miércoles 07 - Septiembre - 2016

Hora	Moto	Vehiculos de Pasajeros						Vehiculos de Carga									Equi. Pesado		Veh. Trac. Animal	Total veh/12 hrs
		Autos	Jeep	Camionetas Pick Ups	Mbus	MB > 15P	Bus	C2 Liv	C2 >5 ton	C3	C4	C2R2	C2R3	TxSx <=4e	T3S2	T3S3	Veh. Const	Veh. Agric		
05:00 - 06:00	16	3	2	16	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38
06:00 - 07:00	15	10	-	29	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56
07:00 - 08:00	34	12	3	28	3	-	-	2	6	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	89
08:00 - 09:00	46	13	3	48	-	3	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	117
09:00 - 10:00	42	15	1	45	1	-	-	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112
10:00 - 11:00	75	16	2	47	-	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	147
11:00 - 12:00	95	20	2	33	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	155
12:00 - 01:00	79	28	-	35	-	6	-	2	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	159
01:00 - 02:00	77	16	4	45	3	-	-	4	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	156
02:00 - 03:00	63	30	3	65	3	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169
03:00 - 04:00	83	15	2	68	3	3	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	178
04:00 - 05:00	95	20	3	79	-	-	-	1	16	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	215
∑ Total	720	198	25	538	13	23	2	25	44	1	-	-	-	-	-	-	1	-	1	1,591

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I.7

Tabla 39. Formato de conteo vehicular de ambos sentidos del día jueves.

Estación: Bo. Las Trincheras a 25 metros del acceso de la calle principal. **Sentido:** Ambos sentidos.

Aforador: Darwing José Reyes Hernández. **Fecha de Conteo:** Jueves 08 - Septiembre - 2016

Hora	Moto	Vehiculos de Pasajeros						Pesados de Carga									Veh. Pesados		Veh. Trac. Anima.	Total veh/12 hrs
		Autos	Jeep	Camionetas Pick Ups	Mbus	MB > 15P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C4	C2R2	C2R3	TxSx <= 4e	T3S2	T3S3	Veh. Const	Veh. Agric		
05:00 - 06:00	16	2	1	9	1	-	-	2	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35
06:00 - 07:00	27	7	2	17	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	56
07:00 - 08:00	71	13	5	51	-	1	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	144
08:00 - 09:00	69	15	6	52	1	-	1	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150
09:00 - 10:00	96	16	4	55	5	2	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	183
10:00 - 11:00	57	22	2	60	2	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	146
11:00 - 12:00	68	27	1	52	2	2	1	6	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	161
12:00 - 01:00	79	33	6	41	10	4	1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	181
01:00 - 02:00	70	16	5	44	-	2	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140
02:00 - 03:00	93	30	9	52	1	1	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	189
03:00 - 04:00	60	16	11	38	6	4	-	2	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	140
04:00 - 05:00	26	29	2	50	2	2	2	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	118
∑ Total	732	226	52	521	31	31	7	30	18	3	-	-	-	1	-	-	1	1	-	1,643

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I.8

Tabla 40. Formato de conteo vehicular de ambos sentidos del día viernes.

Estación: Bo. Las Trincheras a 25 metros del acceso de la calle principal. **Sentido:** Ambos sentidos.

Aforador: Darwing José Reyes Hernández. **Fecha de Conteo:** viernes 09 - Septiembre - 2016

Hora	Moto	Vehiculos de Pasajeros						Pesados de Carga									Equi. Pesado		Veh. Trac. Animal	Total veh/12 hrs
		Autos	Jeep	Camionetas Pick Ups	Mbus	MB > 15P	Bus	C2 Liv	C2 >5 ton	C3	C4	C2R2	C2R3	TxSx <=4e	T3S2	T3S3	Veh. Const	Veh. Agric		
05:00 - 06:00	16	-	-	12	2	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33
06:00 - 07:00	27	15	3	12	-	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	62
07:00 - 08:00	43	18	-	36	-	3	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	102
08:00 - 09:00	57	10	-	45	-	1	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	118
09:00 - 10:00	36	28	-	42	-	1	-	3		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110
10:00 - 11:00	39	13	3	53	4	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	119
11:00 - 12:00	85	19	2	49	3	4	-	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	167
12:00 - 01:00	83	16	2	55	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	166
01:00 - 02:00	98	29	6	61	2	2	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	203
02:00 - 03:00	91	31	10	58	-	3	-	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	201
03:00 - 04:00	116	36	-	52	1	3	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	212
04:00 - 05:00	143	11	4	85	1	-	1	3	13	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	262
∑ Total	834	226	30	560	18	27	4	29	22	3	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1,755

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I.9

MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION
DIVISION ADMINISTRACION VIAL
OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS

Estación de Mayor Cobertura 300
Sebaco – Quebrada Honda
Factores – 2015

Tabla 41. Factores de ajuste para TPDA, MTI 2015.

Factores del tercer cuatrimestre del año septiembre - Diciembre

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>5	Cx-Rx=<4	Cx-Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.25	1.30	1.32	1.28	1.30	1.07	1.21	1.31	1.51	1.47	1.00	1.64	1.71	1.00	1.00	1.00	1.40
Factor Semana	0.96	1.00	0.97	0.93	0.90	0.92	0.99	0.87	0.90	0.90	1.00	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.21
Factor Fin de Semana	1.12	0.99	1.07	1.25	1.38	1.27	1.02	1.58	1.36	1.37	1.00	1.55	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70
Factor Expansión a TPDA	0.99	0.95	0.93	0.99	1.01	0.93	1.01	0.91	1.01	0.89	1.00	0.98	1.00	1.00	0.76	1.00	0.97

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico - MTI 2015.

Anexo I.10

Tabla 42. Est. de Corta Duración No. 315 (El Guayacán-El Naranjo-Jinotega).

MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION
DIVISION ADMINISTRACION VIAL
OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS

DEPENDENCIA DE ESTACIONES

2015

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	Pkm	NOMBRE DEL TRAMO
300 Sébaco - Quebrada Honda	NN-38	3207	ECS	170.0	El Regadio - Los Encuentros (Sn Juan Limay)
	NN-66	518	ECS	193.9	Emp. Peñas Blancas - Emp. El Portillo
	NN-73	2113	ECS	558.0	Santa Marta - Waspam
	NN-74	315	ECD	120.0	El Guayacán - El Naranjo - Jinotega ←
	NN-112	727	ECS	161.8	La Palma - Pikin Guerrero - La Plazuela
	NN-114	725	ECS	235.0	Empalme Pájaro Negro - El Almendro
	NN-114	721	ECS	260.2	El Almendro - El Triunfo
	NN-117	2507	ECS	309.0	Melchora - La Azucena
	NN-119	2511A	ECS	335.0	San Antonio - Marlon Zelaya
	NN-134	7107	ECS	293.0	Colonia Río Plata - Los Pinitos - San Antonio
	NN-151	102	ECD	15.0	La Garita (Rotonda) - Tipitapa

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico - MTI 2015.

Anexo I.11

Tabla 43. Tipología y Descripción vehicular de Conteos de Trafico MTI.

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 ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. Tambien se incluyen las fugonetas de carga liviana.
	CAMIÓN 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 Compactadoras.**
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: Anuario de Aforos de Trafico - MTI 2015.

Anexo I.12

Instituto Nicaragüense de Energía
Dirección General de Hidrocarburos

Consumo Mensual Comparativo de los Derivados del Petróleo por Departamentos

Tabla 44. Consumo de Combustible.

	ENERO-DICIEMBRE		
	2011	2012	VAR %
	59,586	63,463	6,5
	110,776	145,096	31,0
	1 968,467	1 540,796	(21,7)
	263,003	244,567	(7,0)
	208,237	179,880	(13,6)
	185,496	197,230	6,3
Jinotega	84,450	75,452	(10,7)
	739,351	1 774,573	140,0
	6 094,114	5 508,616	(9,6)
	18,908	26,872	42,1
	370,477	309,946	(16,3)
	237,927	244,578	2,8
	57,929	55,114	(4,9)
	9,567	11,648	21,8
	119,870	151,603	26,5
	353,383	341,953	(3,2)
	10 881,541	10 871,388	(0,1)

ENERO-DICIEMBRE		
2012	2013	VAR %
63,463	38,920	(38,7)
145,096	140,978	(2,8)
1 540,796	1 481,538	(3,8)
244,567	236,554	(3,3)
179,880	149,204	(17,1)
197,230	201,256	2,0
75,452	51,570	(31,7)
1 774,573	1 322,061	(25,5)
5 508,616	5 796,326	5,2
26,872	22,622	(15,8)
309,946	310,681	0,2
244,578	220,223	(10,0)
55,114	45,560	(17,3)
11,648	10,919	(6,3)
151,603	163,019	7,5
341,953	297,574	(13,0)
10 871,388	10 489,005	(3,5)

	ENERO-DICIEMBRE		
	2013	2014	VAR %
	38,920	29,359	(24,6)
	140,978	163,856	16,2
	1 481,538	1 341,975	(9,4)
	236,554	254,691	7,7
	149,204	207,938	39,4
	201,256	207,902	3,3
Jinotega	51,570	74,121	43,7
	1 322,061	1 931,438	46,1
	5 796,326	5 324,613	(8,1)
	22,622	26,044	15,1
	310,681	389,549	25,4
	220,223	314,894	43,0
	45,560	48,258	5,9
	10,919	18,265	67,3
	163,019	190,504	16,9
	297,574	424,020	42,5
	10 489,005	10 947,428	4,37

ENERO-DICIEMBRE		
2014	2015	VAR %
29,359	50,941	73,5
163,856	185,146	13,0
1 341,975	1 331,536	(0,8)
254,691	281,862	10,7
207,938	211,032	1,5
207,902	210,439	1,2
74,121	104,542	41,0
1 931,438	2 216,047	14,7
5 324,613	6 099,417	14,6
26,044	26,995	3,6
389,549	475,694	22,1
314,894	351,869	11,7
48,258	53,439	10,7
18,265	9,528	(47,8)
190,504	187,959	(1,3)
424,020	470,895	11,1
10 947,428	12 267,342	12,1

Fuente: Instituto Nicaragüense de Energía (*INE*).

Anexo I.13

Instituto Nicaragüense de Información de Desarrollo – Anuarios Estadísticos Departamentales.

Tabla 45. Crecimiento Poblacional del Departamento de Jinotega.

Departamento y Grupo de edades	Año	Total			Urbana			Rural		
		Ambos sexos	Hombres	Mujeres	Ambos sexos	Hombres	Mujeres	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
Jinotega Anuarios Estadísticos	2011	409,758	207,359	202,399	91,787	43,694	48,093	317,971	163,665	154,306
	2012	417,372	210,944	206,428	94,620	45,056	49,564	322,752	165,888	156,864
	2013	424,281	214,193	210,088	97,315	46,360	50,955	326,966	167,833	159,133
	2014	431,294	217,042	214,252	100,243	47,954	52,289	331,051	169,088	161,963
	2015	438,413	220,879	217,534	103,392	48,876	54,516	335,021	172,003	163,018

Fuente: Instituto Nicaragüense de Información de Desarrollo (INIDE).

Tabla 46. Concentración Vehicular del Departamento de Jinotega.

Año	Departamento	Parque Vehicular	% representación	Total a Nivel Nacional
2011	Jinotega	9,345	2.33%	400,959
2012	Jinotega	13,765	2.67%	513,725
2013	Jinotega	14,165	2.64%	534,931
2014	Jinotega	16,148	2.65%	608,923
2015	Jinotega	18,301	2.83%	646,935

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) – Policía Nacional.

Anexo I.14

Banco Central de Nicaragua – Estadísticas y Estudios Sector Real de Producción (PIB).

Tabla 47. Producto Interno Bruto (PIB) en Millones de Córdobas.

Concepto	**2011**	**2012**	**Tasa de Crecimiento (%) 2012/2011**
Producto Interno Bruto (PIB).	**137,638.3**	**144,701.6**	5.1
Concepto	**2012**	**2013**	Tasa de Crecimiento (%) 2013/2012
Producto Interno Bruto (PIB).	**144,701.6**	**151,228.4**	4.5
Concepto	**2013**	**2014**	Tasa de Crecimiento (%) 2014/2013
Producto Interno Bruto (PIB).	**151,228.4**	**158,340.3**	4.7
Concepto	**2014**	**2015**	Tasa de Crecimiento (%) 2015/2014
Producto Interno Bruto (PIB).	**158,340.3**	**166,687.20**	4.9

Fuente: Banco Central de Nicaragua - Estadísticas y Estudios Sector Real de Producción (PIB).

Anexo I.15

Tabla 48. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, SN=5, pt= 2.0

Carga por eje			SN	Pulg	(mm)		
(Kips)	(KN)	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	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
2.20						**0.0003**	
4	17.8	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
4.40						**0.003**	
6	26.7	0.009	0.012	0.011	0.10	0.009	0.009
6.60						**0.015**	
8	35.6	0.030	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
8.80						**0.334**	
9						**0.410**	
9.90						**0.752**	
10	44.5	0.075	0.085	0.090	0.085	0.79	0.076
11						**0.482**	
12	53.4	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	62.3	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	71.2	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
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
28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	133.5	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	142.4	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	151.3	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	160.0	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
36.3						**1.432**	
38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	178.0	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	186.9	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	204.7	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	213.6	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	222.5	113	108	97	86	81	82

Fuente: (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos).

Anexo I.16

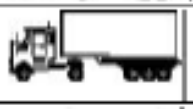
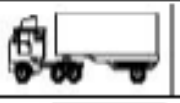
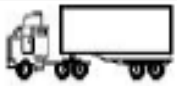
Tabla 49. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, SN=5, pt= 2.0

Carga por eje			SN	Pulg	(mm)		
(Kips)	(KN)	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	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	17.8	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	26.7	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	35.6	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	44.5	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	53.4	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	62.3	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	71.2	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	80.0	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	89.0	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
20.90						**0.133**	
22	97.9	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	106.8	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	115.7	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	124.6	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	133.5	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
30.8						**0.707**	
32	142.4	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
35.2						**1.260**	
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
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	267.0	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6

Fuente: (AASHTO-93, Diseño de Pavimentos).

Anexo I.17

Tabla 50. Diagrama de vehículos pesados.

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
C2 I1		5.00	10.00					15.00
C3 I2		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4 Tx-Sx<4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1 Tx-Sx<4		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2 Tx-Sx<4		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3 Tx-Sx>5		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1 Tx-Sx<4		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2 Cx-Rx<4		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2 Cx-Rx<4		4.50 4.50	9.00 9.00	4.0 a 6.5 b	4.0 a 6.5 b			21.50 26.50
C3-R2 Cx-Rx>5		5.00 5.00	16.00 8.00	8.00	4.0 a 6.5 b	4.0 a 6.5 b		29.00 34.00
C3-R3 Cx-Rx>5		5.00 5.00	16.00 8.0 b	8.0 b	4.0 a 6.5 b	5.0 a 5.0 b	5.0 a 5.0 b	35.00 37.50

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), Dirección General de Vialidad – Departamento de Pesos y Dimensiones.

Anexo I.18

Tabla 51. Peso Máximo de Vehículos livianos en Toneladas y Libras.

Tipo de Vehículo	Peso por eje en Ton	Peso por eje en Lbs
Autos	1/1	2200/2200
Jeep	1/1	2200/2200
Camioneta Pick Ups	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC – 12-30	4/8	8800/17600
C2 Liv	4/8	8800/17600

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), Departamento de Pesos y Dimensiones - Dirección General de Vialidad.

Tabla 52. Peso Máximo de Vehículos livianos en Kips y Libras.

Tipo de Vehículo	Peso por eje en Kips	Peso por eje en Lbs
Autos	2.20/2.20	2200/2200
Jeep	2.20/2.20	2200/2200
Camioneta Pick Ups	2.20/4.40	2200/4400
MC-15	4.40/8.80	4400/8800
MC – 12-30	6.60/11	8800/17600
C2 Liv	9.90/12	8800/17600

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), Departamento de Pesos y Dimensiones - Dirección General de Vialidad.

Anexo II.1

Tabla 53. Clasificación de Suelos según A.S.T.M D-3282/ A.A.S.H.T.O M-145

CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasan la malla Nº 200)							MATERIALES LIMO-ARCILLA (Más del 35% pasan la malla Nº 200)			
Clasificación por Grupos o Sub-grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Análisis de mallas.(%) que pasa por la:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	50 máx.	50 máx.	51 máx.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 máx.	36 máx.	36 máx.	36 máx.
Características de la fracción que pasa la malla Nº 40.	6 máx.		N.P								
Límite Líquido (%)				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plásticidad (%)				10 máx.	10 máx.	11 mím.	11 mím.	10 máx.	10 máx.	11 mím.	11 mím.
Índice de Grupo.	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos usuales de materiales constituyentes significativos	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena Fina	Grava y Arena limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Clasificación general como sub-rasante	Exelente a Bueno					Regular a Pobre					

PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACION: Con los datos requeridos y disponibles de prueba, procédase de izquierda a derecha en la carta y, por proceso de eliminación, se encontrará el grupo correcto. El primer grupo de la izquierda, en el cual coinciden los datos de las pruebas, será la clasificación correcta.
El I.P del sub-grupo A-7-5 es igual o menor que el LL menos 30.
El I.P del sub-grupo A-7-6 es mayor que el LL menos 30.

$$IG = (F-35)\,[0.2 + 0.005\,(LL-40)] + 0.01\,(F-15)(IP-10)$$

Fuente: (Crespo Villalaz - Mecanica de Suelos).