



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**TESINA**

**Diseño de 1.5 km de pavimento articulado, por el método AASHTO 93,  
en los barrios Hermanos Casco y El Progreso, del municipio de El  
Júcaro, departamento de Nueva Segovia.**

**Para optar al título de Ingeniero Civil.**

**Elaborada por:**

Br. Alvin Josué Moreno Delgadillo.

Br. Juan Carlos Martínez Vílchez.

Br. Luis Boanerges Salgado García.

**Tutor:**

Msc. Ing. José Fernando Bustamante Arteaga.

**Managua - Nicaragua**

**Noviembre- 2015**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION**  
**COORDINACION DE NORMATIVAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS**

**HOJA DE CONCLUSION DE TESINA**

<b>NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES:</b> 1) Br. Alvin Josué Moreno Delgadillo 2) Br. Juan Carlos Martínez Vílchez 3) Br. Luis Boanerges Salgado García
<b>NOMBRE DEL CURSO:</b> Obras Horizontales
<b>NOMBRE DE LA TESINA:</b> Diseño de 1.5 km de pavimento articulado, por el método AASHTO 93, en los barrios Hermanos Casco y El Progreso, del municipio de El Jícaro, departamento de Nueva Segovia.
<b>ESPECIFIQUE AL MENOS DOS AREAS DE CONOCIMIENTO QUE ABORDARAN EN LA TESINA:</b> 1) Estudio de Suelo. 2) Estudio de tránsito. 3) Diseño de estructura de pavimento articulado. 4) Estudio de Impacto Ambiental.
<b>FECHA DE DEFENSA:</b>
<b>VALORACION DEL TUTOR SOBRE LA TESINA</b>
<b>JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA</b> 1) 2) 3)
<b>FIRMA COORDINADOR:</b> _____ <b>Msc. Ing. José Fernando Bustamante Arteaga</b>

## DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo primeramente **A Dios:** por ser el rey de reyes, creador del universo, por regalarnos la vida, paz, salud, inteligencia, fuerzas físicas y espirituales para seguir luchando día a día y vencer todos los obstáculos que se nos han presentado, para alcanzar nuestros sueños.

**A nuestras familias.** Por su apoyo incondicional durante nuestra formación personal y profesional ya que nos inspiraron para seguir adelante sin temor a los retos y que siempre nos enseñaron que todo logro cosechado es gracias a la unión familiar.

*"La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar".*

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios.** Sobre todas las cosas por estar en cada momento de nuestras vidas, por fortalecer nuestros corazones e iluminar nuestras mentes por darnos la paz, salud, inteligencia, fuerzas físicas y espirituales para culminar nuestros estudios y seguir adelante en nuestras vidas.

**A nuestras familias.** De manera especial a nuestras familias, pilar esencial en nuestro desarrollo moral y educativo.

**A nuestro tutor.** Msc. Ing. José Fernando Bustamante Arteaga por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, paciencia y su motivación ha logrado que nosotros terminemos nuestro trabajo final.

**A nuestros Maestros.** Por darnos el pan de la enseñanza y transmitirnos sus conocimientos a través de su trabajo que nos han llevado a ser buenos profesionales.

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio denominado **“Diseño de 1.5 km de pavimento articulado, por el método AASHTO 93, en los barrios Hermanos Casco y El Progreso, del municipio de El Júcaro, departamento de Nueva Segovia”**; presenta la información básica y los criterios necesarios para el diseño de la estructura de pavimento con adoquín aplicando el método AASHTO - 93.

En este trabajo se abordaron cinco capítulos; donde cada uno está constituido por un tema específico.

**Capítulo I:** Este capítulo aborda las generalidades del tema; tales como: introducción, antecedentes, justificación y objetivos.

**Capítulo II:** Aquí se presenta la información sobre el estudio de suelo; donde se analizaron las características físico-mecánicas de los suelos para la determinación de su utilidad en la vía como base, que soportará las cargas a las que será sometida, e inducida por la cantidad de ejes equivalentes de diseño, el análisis granulométrico y su respectiva clasificación.

**Capítulo III:** En este se realizó un aforo vehicular en el cual se presenta el estudio y análisis del tránsito, necesario para determinar el número ESALs. Describe la recopilación de datos, clasificación de vehículos, clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes, procesamiento de la información, tasas de crecimiento, período de diseño, proyección del tránsito, tránsito Inicial en el año cero, factor de crecimiento, factor de distribución direccional, factor carril, tránsito en el año n y número de año en el período de diseño.

**Capítulo IV:** Este comprende el diseño de pavimento articulado; de forma manual, haciendo uso del manual o Normas AASHTO - 93, en el cual se realizó el cálculo de los espesores de cada capa que conforman el pavimento. A la vez se detalla el procedimiento para seleccionar los parámetros de diseño tales como: Ejes equivalentes de diseño, confiabilidad, serviciabilidad, desviación

estándar y el CBR de diseño; el cual sirvió como base para determinar el módulo de resiliente y el valor de los coeficientes estructurales.

Posteriormente se determinaron los espesores requeridos en la estructura de pavimento; para lo cual se implementó la comprobación con el programa Pavement Analysis Software Pavement Desing.

**Capítulo V:** En el presente estudio se identificaron los impactos ambientales positivos y negativos que traerá el adoquinado del tramo. Este proyecto tiene impactos ambientales positivos especialmente en el ámbito social, donde se esperan futuros beneficios de mayor facilidad de acceso a los servicios públicos; mejora en los servicios de transporte reduciendo los costos de viaje y aumento en la seguridad del viaje.

Se identificaron impactos ambientales negativos, sin embargo con la implementación de las medidas de mitigación, propuestas en el plan de manejo, estos impactos serán prevenidos, mitigables y compensables.

Conclusiones y Recomendaciones. Producto del presente trabajo con el objetivo que sea de utilidad para la construcción del tramo en estudio.

Anexos. Se complementa toda la información utilizada en el desarrollo del proyecto.

## INDICE GENERAL

### CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES

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
1.5 Ubicación y localización del proyecto .....	5
1.5.1 Macro localización .....	5
1.5.2 Micro localización .....	6
1.6 Clima .....	6

### CAPÍTULO II ESTUDIO DE SUELOS

2.1 Estudio de suelo .....	8
2.1.1 Suelo .....	8
2.1.2 Meteorización .....	8
2.1.3 Propiedades físico-mecánicas.....	8
2.1.4 Trabajo de campo.....	9
2.1.4.1 Sondeos de línea.....	10
2.1.5 Actividades de laboratorio .....	10
2.1.6 Características de los suelos.....	11
2.1.6.1 Ensayo CBR .....	16
2.1.7 Investigación de la fuente de materiales .....	17
2.1.7.1 Sondeos de materiales banco de préstamo “Monte Grande” .....	17
2.2 Especificaciones técnicas de las diferentes capas que constituyen la estructura de pavimento .....	18
2.2.1 Superficie de rodamiento.....	18
2.2.2 Base .....	19
2.2.3 Sub – base .....	20
2.2.4 Sub – rasante .....	21

## **CAPÍTULO III ESTUDIO DE TRÁNSITO**

3.1 Estudio de tránsito.....	23
3.1.1 Volumen de tránsito.....	23
3.1.2 Aforos vehiculares.....	23
3.1.3 Análisis de cargas equivalentes.....	24
3.1.4 El tránsito.....	24
3.1.5 Recopilación de datos.....	24
3.1.5.1 Clasificación vehicular.....	24
3.1.5.1.1 Vehículos de pasajeros.....	25
3.1.5.1.2 Vehículos de carga.....	25
3.1.5.1.3 Equipo pesado.....	25
3.2 Estudios de campo.....	25
3.2.1 Volumen de tránsito.....	25
3.2.2 Expansión a 24.0 Horas.....	28
3.3 Tránsito promedio diurno.....	30
3.4 Tránsito promedio diario anual (TPDA).....	30
3.5 Proyección del tránsito.....	32
3.5.1 Tasa de crecimiento vehicular (Tc).....	32
3.5.2 Crecimiento poblacional.....	32
3.5.3 Crecimiento vehicular.....	33
3.5.4 Producto interno bruto (PIB).....	34
3.6 Tránsito de diseño.....	35
3.6.1 Período de diseño (N).....	35
3.6.2 Factor direccional (FD).....	36
3.6.3 Factor de crecimiento (FC).....	37
3.6.4 Factor de distribución por carril.....	37
3.6.5 Determinación del tránsito de diseño.....	38

## **CAPÍTULO IV DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO**

4.1 Introducción.....	42
4.2 Índice de serviciabilidad.....	42
4.2.1 Serviciabilidad inicial:.....	43

4.2.2	Serviciabilidad final:.....	43
4.2.3	Pérdida de serviciabilidad ( $\Delta$ PSI) .....	43
4.3	Análisis de cargas y ejes equivalentes para el diseño de pavimento .....	44
4.4	Confiabilidad (R).....	47
4.5	Desviación estándar ( $S_0$ ).....	47
4.6	Coeficiente de drenaje.....	48
4.7	Propiedades de los materiales .....	49
4.7.1	Determinación del CBR de diseño.....	49
4.8	Propiedades de los materiales .....	51
4.8.1	Módulo Resiliente (MR) .....	51
4.8.2	Coeficientes estructurales de capa.....	52
4.8.3	Coeficiente estructural de la carpeta (Adoquín) a1 .....	53
4.8.4	Coeficiente estructural para base granular a2 .....	53
4.9	Calculo de espesores .....	54
4.9.1	Cálculo del número estructural (SN) y espesores de capas (D) .....	54
4.10	Criterios de estabilidad y posibilidad de construcción .....	55
4.11	Cálculo de espesores de capas mediante el programa computarizado: Pavement Analysis Software”, Pavement Desingend Analysis, versión 3.3. .	58

## **CAPÍTULO V ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

5.1	Descripción del Proyecto.....	60
5.2	Legislación vigente .....	60
5.3	Metodología del análisis ambiental.....	62
5.4	Evaluación de emplazamiento.....	63
5.5	Análisis de la calidad ambiental del área de influencia del proyecto .....	65
5.6	Posibles impactos esperados con el proyecto.....	66
5.6.1	Durante la etapa de construcción .....	66
5.6.2	Durante la etapa de funcionamiento .....	66
5.7	Medidas de mitigación .....	69
	Conclusiones .....	72
	Recomendaciones.....	73
	Bibliografía .....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Sondeos efectuados .....	10
Tabla N° 2. Ensayos de laboratorios .....	11
Tabla N° 3. Sondeos efectuados y resultados de ensayos.....	12
Tabla N° 4. Estratigrafía del suelo .....	16
Tabla N° 5. Valores de CBR .....	16
Tabla N° 6. Características del banco de materiales.....	17
Tabla N° 7. Especificaciones de materiales para base granular.....	19
Tabla N° 8. Granulometría para base .....	20
Tabla N° 9. Especificaciones de materiales para sub-base.....	20
Tabla N° 10. Granulometría para sub-base .....	21
Tabla N°11. Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de Sub-rasante .....	21
Tabla N° 12. Aforo vehicular en ambos sentidos, del 15 al 21 de diciembre, 2014 .....	26
Tabla N° 13. Factores de ajustes de la estación 5501 del tramo: El Jícaro – Murra – El Rosario.....	28
Tabla N° 14. Conteo Vehicular expandido a 24.0 Hrs, del lunes 15 al domingo 21 de diciembre del año 2014 .....	29
Tabla N° 15. TPDiurno para cada tipo de vehículo del lunes 15 al domingo 21 de diciembre, año 2014 .....	30
Tabla N° 16. Cálculo del tránsito promedio diario anual .....	31
Tabla N° 17. Tasa de Crecimiento Poblacional (2005- 2020).....	33
Tabla N° 18. Datos históricos del TPDA .....	34
Tabla N° 19. Producto interno bruto (PIB) .....	35
Tabla N° 20. Período de diseño (N).....	36
Tabla N° 21. Factor de distribución por dirección (FD) .....	36
Tabla N° 22. Factor de distribución por carril.....	38
Tabla N° 23. Tránsito proyectado, al año 2034 .....	39
Tabla N° 24. Tránsito de diseño .....	40
Tabla N° 25. Valor de la serviciabilidad final.....	43
Tabla N° 26. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton) .....	46

Tabla N° 27. Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes.....	47
Tabla N° 28. Desviación estándar para pavimentos rígidos y flexibles .....	48
Tabla N° 29. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.....	49
Tabla N° 30. Valores de CBR para diseño .....	50
Tabla N° 31. Criterio del Instituto de Asfalto para determinar el CBR de diseño.....	50
Tabla N° 32. Cálculo para determinar el CBR de diseño.....	51
Tabla N° 33. Nota: Según la AASHTO-93 los espesores mínimos sugeridos para capas de concreto asfáltico y base en función del tránsito .....	56
Tabla N° 34. Datos usados para calcular espesores en el programa Pavement Analysis Software versión 3.3.....	57
Tabla N° 35. Resultados del análisis de emplazamiento en el componente Geología.....	63
Tabla N° 36. Resultados de la evaluación de emplazamiento en el componente Ecosistema .....	64
Tabla N° 37. Resultados de la evaluación de emplazamiento en el componente institucional social.....	64
Tabla N° 38. Análisis de los principales problemas ambientales.....	65
Tabla N° 39. Principales impactos ambientales que genera el proyecto .....	67
Tabla N° 40. Principales impactos ambientales que genera el proyecto .....	68
Tabla N° 41. Medidas de mitigación .....	70
Tabla N° 42. Medidas de mitigación .....	71

## ÍNDICE DE ANEXOS

### **ANEXOS CAPÍTULO I**

Anexo 1. Fotografía N° 1. Tramo de calle a adoquinar, casco urbano municipio de El Jícaro.....	II
Anexo 2. Fotografía N° 2. Calle a adoquinar, casco urbano municipio de El Jícaro .....	III
Anexo 3 Fotografía N° 3. Banco de materiales “Monte Grande” .....	IV

## **ANEXOS CAPÍTULO II**

Anexo 1. Clasificación de suelos, según AASHTO.....	VI
Anexo 2. Clasificación unificada de suelos, según SUCS .....	VII
Anexo 3. Correlación entre el tipo de material, CBR y K .....	VIII

## **ANEXOS CAPÍTULO III**

Anexo 1. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos .....	X
Anexo 2. Diagrama de cargas permisibles aplicadas en los puntos de control.....	XI
Anexo 3. Diagrama de cargas permisibles .....	XI

## **ANEXO CAPÍTULO IV**

Anexo 1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $\rho_t = 2$ , $SN = 5$ .....	XIII
Anexo 2. Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Tándem, $\rho_t = 2$ , $SN = 5$ .....	XIV
Anexo 3. Número Estructural SN para Sub-rasante y Base. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles .....	XV
Anexo 4. Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Base Granular y distintos Parámetros Resistentes. ....	XVI

# **CAPÍTULO I**

## **ASPECTOS GENERALES**

## 1.1 Introducción

El municipio de El Jícaro, se encuentra situado en el sector central del departamento de Nueva Segovia. El municipio limita: Al norte, con el municipio de Jalapa; al sur, con el municipio de Quilalí y los municipios de San Juan de Río Coco y Telpaneca; al este, con el municipio de Murra y al oeste, con los municipios de Ciudad Antigua y San Fernando (ver macro localización página 5).

Por su extensión territorial el municipio de El Jícaro ocupa el tercer lugar entre los doce que conforman el departamento, ubicado a 278 Km. de la capital, Managua, se encuentra a una distancia de 56 kms de la cabecera Ocotal, localizado entre las coordenadas de acuerdo a su posición geográfica en la 13°43' latitud Norte 86°08' longitud Oeste.

Su población total es de 30,448 habitantes (al 30 de junio del año 2012) de los cuales 8,507 se encuentran en la zona urbana y 21,941 zona rural, equivalente a un 27.93 % y 72.07 % respectivamente. La densidad poblacional de 60 ha/kms<sup>2</sup>.

El tramo en estudio comprende, de la entrada principal sur del casco urbano de El Jícaro, cruzando la terminal de buses hasta la salida norte en el puente del río El Jícaro, carretera hacia el municipio de Murra.

La alcaldía de este municipio no cuenta con el presupuesto para la formulación de este proyecto, aportaremos a este municipio el diseño de la estructura del pavimento articulado utilizando el método AASHTO -93.

El estudio de suelo será suministrado por la alcaldía el cual nos ayudará a conocer las características geotécnicas del tramo en estudio y se realizará un estudio de tránsito que permitirá caracterizar la composición vehicular.

## **1.2 Antecedentes**

El nombre del municipio no proviene del árbol que da frutos de jícaros, sino de la tribu de Xicaros que habitaba este lugar a la llegada de los españoles y al instituirse como distrito lo llamaron Jícaro.

La fundación como municipio data desde el año 1874 con fecha de creación a la llegada de los primeros españoles a las Segovias.

De acuerdo a relatos de personalidades del municipio, la población experimenta un aumento drástico a partir del año 1972 a causa de los yacimientos de oro y plata descubiertos en la región, donde hubo personas que emigraron de la República de Honduras y otras partes de la región.

El municipio de El Jícaro presenta una red vial aproximadamente de 107 kms de longitud de carretera intracomunitarios que conecta a los municipios vecinos siendo solamente el 30% de pavimento articulado (adoquín), y el 70% restante es de macadán.

Estas infraestructuras viales necesitan del constante mantenimiento año con año para que su estado se encuentre bueno y sea más fácil el acceso a las zonas productivas de los distintos puntos productivos del municipio ya que el principal problema son los suelos de textura arcillosa y franco arenoso que se vuelven mayormente erosionables durante el período lluvioso producto de la topografía presente en el municipio que varía en zonas regulares a zonas irregulares, entre 20, 30 y hasta 40% de pendiente.

La rehabilitación, mejoramiento, ampliación y mantenimiento de la red vial del municipio debe ser considerada una tarea de primer orden para el despegue socio – económico del municipio. En ese sentido la alcaldía municipal gestiona ante organismos de cooperación externa, así como ante las instancias del gobierno central, acciones concretas para rehabilitar, mejorar, ampliar y mantener en óptimas condiciones la red vial del municipio.

### **1.3 Justificación**

El tramo vial en estudio se encuentra ubicado en el municipio de El Jícaro, en el casco urbano y es una calle transitada por buses y camiones para movilizar personas y mercaderías hacia comunidades y municipios vecinos.

A fin de evitar accidentes y hechos lamentables se hace imprescindible el mejoramiento de esta vía.

En el aspecto económico, los productores serán beneficiados dado que los costos productivos no se verán notablemente alterados y siendo competitivos en el mercado.

El diseño de la estructura de pavimento articulado permitirá realizar la construcción del adoquinado, beneficiando directamente a los habitantes del municipio de El Jícaro e indirectamente a la población en general, ya que teniendo en buen estado las vías de comunicación se reducen los costos de mantenimiento del transporte público, privado y el tiempo de traslado vehicular.

Indudablemente que el mejoramiento de esta calle vendrá a reducir los costos de transporte en un porcentaje importante, lo que se consideraría como un ahorro sustantivo para los pobladores del municipio y un mejor ingreso.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar 1.5 km de pavimento articulado, por el método AASHTO 93, en los barrios Hermanos Casco y El Progreso en el municipio de El Júcaro, departamento de Nueva Segovia.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

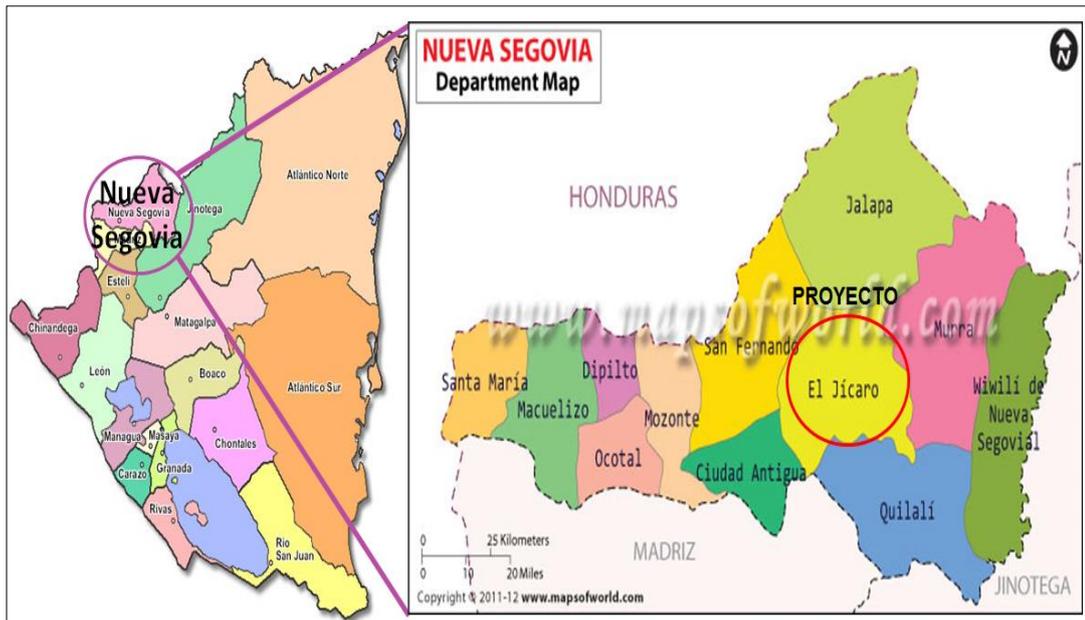
- Analizar las características físico mecánicas del suelo del sitio y del banco de materiales, para así garantizar el material adecuado a utilizar en las vías de acceso al municipio de El Júcaro.
- Realizar los estudios de tránsito por medio de aforos vehiculares que nos muestre los tipos de vehículos que circulan por el tramo a adoquinar, para determinar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y la capacidad de carga que debe tener el pavimento para su diseño.
- Diseñar la estructura de pavimento articulado empleando el método de la AASHTO 93.
- Identificar posibles impactos ambientales positivos y negativos que puedan ocasionarse con la implementación del proyecto en las etapas de construcción y mantenimiento del mismo.

## 1.5 Ubicación y localización del proyecto

El municipio de El Jícaro, está ubicado a 278 Km. de la capital, Managua, localizado entre las coordenadas 13°43' latitud Norte 86° 08' longitud Oeste.

El proyecto se encuentra ubicado en los barrios Hermanos Casco y El Progreso del municipio de El Jícaro.

### 1.5.1 Macro localización



Fuente: Alcaldía Municipal El Jícaro, Nueva Segovia.

### 1.5.2 Micro localización



### 1.6 Clima

El clima del municipio, es de sabana tropical con temperaturas que oscilan entre los 23 y 24°C, con una precipitación pluvial que varía desde los 1,200 a los 1,400 mm anuales.

# **CAPÍTULO II**

## **ESTUDIO DE SUELOS**

## **2.1 Estudio de suelo**

El estudio de suelos nos aporta algunos de los parámetros de diseño necesarios para la estructuración adecuada de una vía de comunicación terrestre. Este nos proporciona las características de los materiales existentes en la vía y los bancos de materiales a utilizarse, por lo que se convierte en una de las referencias más importantes en la determinación de los espesores de pavimento.

### **2.1.1 Suelo**

Es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos (Meteorización).

### **2.1.2 Meteorización**

Consiste en la alteración que experimentan las rocas en contacto con el agua, el aire y los seres vivos.

### **2.1.3 Propiedades físico-mecánicas**

Son características que se utilizan para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y el control de calidad.

Estas propiedades de los suelos que constituyen la sub-rasante, son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento.

Para conocer las propiedades de los suelos, es necesario tomar muestras; posteriormente en el laboratorio se determinarán sus propiedades: Granulometría, Límite de Atterberg (líquido e índice plástico), Valor Soporte (CBR), Densidad (próctor), Humedad.

Un suelo conforme a su granulometría se clasifica así<sup>1</sup>:

- Grava: de un tamaño menor a 76.2 mm (3”) hasta tamiz No. 10 (2mm)
- Arena gruesa: de un tamaño menor a 2 mm hasta tamiz No. 40 (0.425 mm)
- Arena fina: de un tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz NO. 200 (0.075 mm)
- Limos y arcillas: tamaños menores de 0.075 mm.

Las propiedades de plasticidad se analizan conforme las pruebas de límites de Atterberg, las cuales son:

- Límite líquido o LL: Es el estado de un suelo, cuando pasa de un estado plástico a un estado semilíquido
- Límite plástico o LP: Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo
- Índice plástico o IP: es la diferencia entre LL y LP, que nos indica la plasticidad del material.

En este capítulo se plasman los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en el estudio de suelo en el proyecto de **“Adoquinado de 1.5 km en los barrios Hermanos Casco y El Progreso, del municipio de El Jícaro”**. Dicho estudio se realizó con el propósito de obtener las características principales del sub-suelo para realizar el diseño de estructuras de pavimento requeridas; a partir de la entrada principal sur del casco urbano de El Jícaro, estación 0 + 000, cruzando la terminal de buses hasta la salida norte en el puente del río El Jícaro, estación 1 + 500, carretera hacia el municipio de Murra.

#### **2.1.4 Trabajo de campo**

Los sondeos tomados por el laboratorio (INGENICA) Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica; contratado por la alcaldía municipal de El

---

<sup>1</sup> Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. (SIECA). Capítulo 4. Página 3

Jícaro, se ubicaron de forma alterna en el centro, derecha e izquierda de la línea central y dentro de la plataforma de las calles y avenidas.

Los sondeos consistieron en perforaciones manuales, con dimensiones aproximadas de 1 m x 1 m x 1.50 m, de profundidad, con un espaciado aproximado entre sondeos de 250 m y habiéndose realizado siete (7) sondeos con la recuperación de quince (15) muestras representativas de las diferentes capas de materiales encontradas.

**Tabla N° 1. Sondeos efectuados**

Localización	Sondeo N°	Estación
Entrada principal sur de El Jícaro – Terminal de buses – Salida norte de El Jícaro, carretera hacia el municipio de Murra	S - 1	0 + 000
	S - 2	0 + 250
	S - 3	0 + 500
	S - 4	0 + 750
	S - 5	1 + 000
	S - 6	1 + 250
	S - 7	1 + 500

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

#### **2.1.4.1 Sondeos de línea**

De acuerdo a los ensayos de laboratorio, se puede determinar en general, que se encontraron desde una hasta tres capas de materiales en el rango de profundidad explorada desde la superficie hasta 1.50 m máximo.

#### **2.1.5 Actividades de laboratorio**

Las muestras obtenidas en el campo, en los sondeos de línea, se trasladaron al laboratorio INGENICA, Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica, para practicar en ellas los ensayos requeridos para conocer y determinar sus propiedades físico – mecánicas, clasificar las mismas y conocer su capacidad de soporte.

De esta manera, a cada muestra obtenida en los sondeos se les practicaron

los siguientes ensayos:

**Tabla N° 2. Ensayos de laboratorios**

Ensayo	Designación	
	ASTM	AASHTO
Granulometría	D - 422	T - 88
Límite Líquido	D - 424	T - 89
Límite plástico e índice de plasticidad	D - 424	T - 90
CBR	D - 1883	T - 193
Humedad Natural	D - 2216	

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

### **2.1.6 Características de los suelos**

En este apartado se describen los resultados que se obtuvieron de las pruebas practicadas en el laboratorio (ver tabla N° 3), a los tipos de suelos encontrados en el camino del proyecto, cada uno a profundidades que varían según el lugar donde se efectuó el sondeo siendo predominantes los siguientes:

- A-1-a (0) (Fragmentos De Piedra Grava y Arena)
- A-7-5 (11) (Suelos Arcillosos)
- A-1-b (0) (Fragmentos De Piedra Grava y Arena)
- GW-GM (Grava Bien Graduada, Grava Fina a Gruesa)
- MH (limo de alta plasticidad limo elástico)
- SM (Arena limosa)
- GM (Grava Limosa)

**Tabla N° 3. Sondeos efectuados y resultados de ensayos**

Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad en	% QUE PASA POR TAMIZ										L. L	I. P	Clasificación	
			2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200			SUCS	AASHTO
<b>Estación 0 + 000</b>																
Sm - 1	1	0.00 - 0.50	100	79	69	66	60	56	48	38	20	8	N.P	--	GW	A-1-a (0)
	2	0.50 - 1.50							100	93	78	63	50.3	19	MH	A-7-5 (11)
<b>Estación 0 + 250</b>																
Sm - 2	1	0.00 - 0.30	100	79	69	66	60	56	48	38	20	8	N.P	--	GW	A-1-a (0)
	2	0.30 - 1.50			100	87	82	74	66	49	28	18	N.P	--	SM	A-1-b (0)
<b>Estación 0 + 500</b>																
Sm - 3	1	0.00 - 0.50			100	96	93	91	76	61	39	19	N.P	--	SM	A-1-b (0)
	2	0.50 - 0.90				100	88	73	55	43	29	18	N.P	--	GM	A-1-b (0)
	3	0.90 - 1.50							100	95	81	59	50.9	18	MH	A-7-5 (11)
<b>Estación 0 + 750</b>																
Sm - 4	1	0.00 - 0.30	100	79	69	66	60	56	48	38	20	8	N.P	--	GW	A-1-a (0)
	2	0.30 - 1.50			100	87	83	74	65	49	28	18	N.P	--	SM	A-1-b (0)
<b>Estación 1 + 000</b>																
Sm - 5	1	0.00 - 0.45			100	96	93	91	76	61	39	19	N.P	--	SM	A-1-b (0)
	2	0.45 - 1.50						100	93	79	66	69	19.7	--	MH	A-7-5 (0)
<b>Estación 1 + 250</b>																
Sm - 6	1	0.00 - 0.35	100	79	69	66	60	56	48	38	20	8	N.P	--	SM	A-1-b (0)
	2	0.35 - 1.50				100	88	73	55	43	29	18	N.P	--	GM	A-1-b (0)
<b>Estación 1 + 500</b>																
Sm - 7	1	0.00 - 0.50			100	96	93	91	76	61	39	19	N.P	--	SM	A-1-b (0)
	2	0.50 - 1.50				100	89	74	55	43	29	18	N.P	--	GM	A-1-b (0)

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

### Sondeo Sm-1

- En el estrato superior, desde la superficie hasta la profundidad promedio de 0.50 metros, se observa un material granular, correspondiente a una grava limosa de buena graduación, la que se clasifica según la SUCS del tipo GW y según la AASHTO se clasifica como (A-1-a), cuya fracción fina es de nula plasticidad. En este suelo se observa un predominio de partículas gruesas alcanzando el 52% de gravas, el 40% de arena, y un 8% de partículas finas.
  
- En el estrato inferior, a partir de la profundidad promedio de 0.50 metros, hasta la profundidad investigada de 1.50 metros, se observa un material con predominio de partículas finas con un 63% de partículas que pasan el tamiz N° 200, correspondiente a un limo de alta plasticidad que se clasifica del tipo MH, según la SUCS y según la AASHTO se clasifica como A-7-5 (11).

### **Sondeo Sm-2**

- En el estrato superior, desde la superficie hasta la profundidad promedio de 0.30 metros, se observa un material granular, correspondiente a una grava limosa de buena graduación, la que se clasifica de tipo GW, según la SUCS y según la AASHTO se clasifica como (A-1-a), cuya fracción fina es de nula plasticidad, se observa un predominio de partículas gruesas alcanzando el 52% de gravas, el 40% de arena, y un 8% de partículas finas.
- En el estrato inferior encontrado a partir de 0.30 m de profundidad, se encontró un material granular correspondiente a una arena de nula plasticidad clasificada como un suelo SM según la SUCS y la AASHTO lo clasifica como A-1-b (0), con una granulometría correspondiente a un 48% de arena, un 34% de gravas y un 18% de partículas finas.

### **Sondeo Sm-3**

- En el estrato superior, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.50 metros, se observa un material granular, correspondiente a una arena limosa que se clasifica del tipo SM, según la SUCS y la AASHTO lo clasifica como (A-1-b), cuya fracción fina es de nula plasticidad. Con granulometría formada por un 24% de gravas, 57% de arenas, y un 19% de partículas finas.
- En el estrato intermedio a partir de la profundidad de 0.50 metros, hasta la profundidad de 0.90 metros, se presenta un material granular, correspondiente a una grava limosa, que se clasifica según la SUCS del tipo GM y la AASHTO lo clasifica como (A-1-b). Con una granulometría formada por un 45% de gravas, 37% de arenas, y un 18% de partículas finas.

➤ En estrato inferior, a partir de la profundidad de 0.90 metros, hasta la profundidad investigada de 1.50 metros, se presenta un material plástico, correspondiente a un limo arcilloso inorgánico, que se clasifica según la SUCS del tipo MH y la AASHTO lo clasifica como (A-7-5). Con una granulometría con predominio de partículas finas con un 59% y un 41% de arenas.

#### **Sondeo Sm-4**

➤ En el estrato superior, desde la superficie hasta la profundidad promedio de 0.30 metros, se observa un material granular, correspondiente a una grava limosa de buena graduación, la que se clasifica, según la SUCS del tipo GW y según la AASHTO se clasifica como (A-1-a), cuya fracción fina es de nula plasticidad, En este suelo se observa un predominio de partículas gruesas alcanzando el 52% de gravas, el 40% de arena, y un 8% de partículas finas.

➤ En el estrato inferior, a partir de la profundidad de 0.30 metros, hasta la profundidad investigada de 1.5 metros, se observa un material granular, correspondiente a una arena limosa que se clasifica, según la SUCS del tipo SM y según la AASHTO se clasifica como (A-1-b), cuya fracción fina es de nula plasticidad, con una granulometría correspondiente a un 48% de arena, un 34% de gravas y un 18% de partículas finas.

#### **Sondeo Sm-5**

➤ En el estrato superior, desde la superficie hasta la profundidad de 0.45 metros, se observa un material granular, correspondiente a una arena limosa que se clasifica, según la SUCS del tipo SM, y según la AASHTO se clasifica como (A-1-b), cuya fracción fina es de nula plasticidad, con una granulometría correspondiente a un 48% de arena, un 34% de gravas y un 18% de partículas finas.

➤ En el estrato inferior, a partir de la profundidad de 0.45 metros, hasta la profundidad investigada de 1.5 metros, se presenta un material plástico, correspondiente a un limo arcilloso inorgánico, que se clasifica, según la SUCS

del tipo MH y según la AASHTO se clasifica como (A-7-5). Con una granulometría con predominio de partículas finas con un 69% y un 24% de arenas, y un 7% de gravas.

### **Sondeo Sm-6**

- En el estrato superior, desde la superficie hasta la profundidad de 0.35 metros, se observa un material granular, correspondiente a una arena limosa que se clasifica, según la SUCS del tipo SM y según la AASHTO se clasifica como (A-1-b), cuya fracción fina es de nula plasticidad. con una granulometría correspondiente a un 40% de arena, un 52% de gravas y un 8% de partículas finas.
- En el estrato inferior a partir de la profundidad de 0.35 metros, hasta la profundidad de 1.50 metros, se presenta un material granular, correspondiente a una grava limosa, que se clasifica del tipo GM (A-1-b).

### **Sondeo Sm-7**

- En el estrato superior, desde la superficie hasta la profundidad de 0.50 metros, se observa un material granular, correspondiente a una arena limosa que se clasifica del tipo SM, según la SUCS y según la AASHTO se clasifica como (A-1-b), cuya fracción fina es de nula plasticidad, Con granulometría formada por un 24% de gravas, 57% de arenas, y un 19% de partículas finas.
- En el estrato inferior a partir de la profundidad de 0.50 metros, hasta la profundidad de 1.50 metros, se presenta un material granular, correspondiente a una grava limosa, que se clasifica, según la SUCS del tipo GM, y según la AASHTO se clasifica como (A-1-b). Con una granulometría formada por un 45% de gravas, 37% de arenas, y un 18% de partículas finas.

**Tabla N° 4. Estratigrafía del suelo**

Estación/Sondeo	0 + 008	0 + 220	0 + 430	0 + 644	0 + 856	1 + 068	1 + 282
Profundidad (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
0.10	A - 1 - a (0); (GW)	A - 1 - a (0); (GW)	A - 1 - b (0); (SM)	A - 1 - a (0); (GW)	A - 1 - b (0); (SM)	A - 1 - b (0); (SM)	A - 1 - b (0); (SM)
0.20							
0.30							
0.40							
0.50	A - 7 - 5 (11); (MH)	A - 1 - b (0); (SM)	A - 1 - b (0); (GM)	A - 1 - b (0); (SM)	A - 7 - 5 (0); (MH)	A - 1 - b (0); (GM)	A - 1 - b (0); (GM)
0.60							
0.70							
0.80							
0.90							
1.00							
1.10	A - 7 - 5 (11); (MH)	A - 1 - b (0); (GM)	A - 1 - b (0); (SM)	A - 7 - 5 (0); (MH)	A - 1 - b (0); (GM)	A - 1 - b (0); (GM)	
1.20							
1.30							
1.40							
1.50							

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

### 2.1.6.1 Ensayo CBR

Se procedió a encontrar los valores de los CBR a los diferentes tipos de suelos localizados en la línea que servirán como subrasante.

**Tabla N° 5. Valores de CBR**

Clasificación de suelos		Indice de grupo	CBR (95%)
AASHTO	SUCS		
A - 1 - a	GW	0	65
A - 7 - 5	MH	11	11
A-1-b	SM	0	25
A-1-b	GM	0	45

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

## 2.1.7 Investigación de la fuente de materiales

Con el fin de conocer las propiedades físico-mecánicas del suelo que será incorporado en el paquete estructural proveniente del banco de materiales conocido como “**Monte Grande**” (ver anexos capítulo I. Anexo 3, página IV) ubicado a 3.3 km del tramo en estudio. El banco analizado se encuentra en explotación, por lo que no es necesario realizar excavaciones, ya que la estratigrafía se puede observar a simple vista en el corte existente en el mismo.

### 2.1.7.1 Sondeos de materiales banco de préstamo “Monte Grande”

Las propiedades de los materiales ensayados del banco encontrado cerca del proyecto se muestran en tabla N° 6.

**Tabla N° 6. Características del banco de materiales**

PVSS Kg/m <sup>3</sup>	PVSC Kg/m <sup>3</sup>	Densidad máxima Kg/m <sup>3</sup>	Humedad optima %	C.B.R	% Que Pasa por el Tamiz										L.L. (%)	I.P. (%)	Clasificación	
					95%	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40			N°200	SUCS
Fuente de materiales: "Banco de Materiales Monte Grande"																		
1429	1685	2126	6.2	82		100	99	97	93	89	68	47	22	10	58.7	N.P	SW	A-1-a(0)
Observaciones: PVSS = peso volumétrico seco compacto. L.L = Límite líquido. I.P = Índice de plasticidad																		

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

La fuente de materiales denominada “Monte Grande” presenta un predominio de material granular correspondiente a una grava de buena graduación de color café. En el sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS se clasifica de tipo GW.

En el sistema de la AASHTO, corresponde al tipo A-1-a con índice de grupo cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de baja plasticidad. En base a este mismo sistema de clasificación de la AASHTO, este material se caracteriza como bueno para ser utilizado en terracería y estructura de pavimento. De acuerdo al CBR, este material puede ser empleado en la capa base de buena calidad.

El control de la calidad de los materiales, tanto de sus características físico-mecánicas como del proceso de su colocación, es elemental para garantizar mayor vida útil las obras de rehabilitación vial, por lo que se debe de enfatizar el uso y ampliación de las técnicas adecuadas para lograr óptimos resultados en la trabajabilidad y operación de los materiales utilizados.

El valor soporte del material del banco es alto, con un valor 82 % ensayados al 95% Proctor, que son valores permisibles para la conformación de base y sub-base, según las normas AASHTO. Cabe destacar que dicho banco tiene un potencial de préstamo a explotar de aproximadamente 5,000 m<sup>3</sup> lo cual garantiza la cantidad de material que se necesita extraer para cubrir el tramo en estudio.

## **2.2 Especificaciones técnicas de las diferentes capas que constituyen la estructura de pavimento**

### **2.2.1 Superficie de rodamiento**

La superficie de rodamiento consistirá de una estructura semi-flexible compuesta de unidades de adoquín. La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser lavada, dura y uniforme y no deberá contener más del 3% de limo y/o arcilla en peso; su granulometría será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido por el tamiz No. 10.

Los bloques o adoquines son elementos construidos con material pétreo y cemento, pudiendo tener varias formas, todas ellas regulares, y que son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, la que tiene como función primordial absorber las irregularidades que pudiera tener la base, proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado y ofreciendo una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie. Además sirve para drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando que se dañe la base.

El adoquín a utilizarse será denominado tipo tráfico cuya resistencia<sup>2</sup> característica a los 28 días no deberá ser menor de 350 kg/cm<sup>2</sup> (5000 PSI).

### 2.2.2 Base

La base estará constituida por agregados seleccionados, compuestos preferiblemente de grava o de agregados triturados. La base se deberá colocar en una capa y compactarse a un mínimo de 95% Próctor Modificado (ASTM D 1557). El material usado como base deberá satisfacer los siguientes requisitos:

**Tabla Nº 7. Especificaciones de materiales para base granular**

Nº	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
2	Índice Plástico	6% máx.	AASHTO-90
3	CBR	80% min.	AASHTO-193
4	Desgaste de los Angeles	50% máx.	AASHTO-96
5	Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
6	Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado (AASHTO-180)	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. 09 (a y b), 1003. 23. II (b).

<sup>2</sup> Normas NIC-2000. Sección 502. Pavimentos de adoquines de concreto. Página.273.

**Tabla N° 8. Granulometría para base**

<b>Granulometría. Base</b>	
<b>Tamiz</b>	<b>% que pasa (AASHTO) T27 y T11</b>
50 mm (2")	100 (1)
37.5 mm (1 1/2")	97-100 (1)
19 mm (3/4")	67-81 (6)
4.75 mm (N° 4)	33-47 (6)
4.25 µm (N° 40)	10-19 (4)
75 µmm (N° 200)	4-8 (3)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. Página 21.

### 2.2.3 Sub – base

Esta deberá ser colocada sobre la terracería en una capa compactada hasta alcanzar el 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo (ASTM D 1557). El material a utilizarse como capa de sub-base deberá cumplir con los requisitos siguientes:

**Tabla N° 9. Especificaciones de materiales para sub-base**

<b>N°</b>	<b>Propiedad</b>	<b>Especificación</b>	<b>Metodología</b>
1	Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
2	Índice Plástico	6% máx.	AASHTO-90
3	CBR	40% min	AASHTO-193
4	Desgaste de los Angeles	50% máx.	AASHTO-96
5	Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
6	Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. 09 (a y b), 1003. 23. II (a).

**Tabla Nº 10. Granulometría para sub-base**

Granulometría. Sub-base	
Tamiz	% que pasa (AASHTO) T27 y T11
63 mm (2 1/2")	100 (1)
50 mm (2")	97-100 (1)
25 mm (1")	65-79 (6)
12.5 mm (1/2")	45-59 (7)
4.75 mm (Nº 4)	28-42 (6)
4.25 µmm (Nº 40)	9-17 (4)
75 µmm (Nº 200)	4-8 (3)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. Página 21.

### 2.2.4 Sub – rasante

Es la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no sea afectada por las cargas de diseño que corresponde al tránsito previsto.

**Tabla Nº 11. Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de Sub-rasante**

Nº	Propiedad	Terraplenes	Capa Sub-rasante	Metodología
1	% de malla No. 200	40 % máx.	30% máx.	AASHTO T-11
2	Límite Líquido	40 % máx.	30% máx.	AASHTO-89
3	Índice Plástico	15% máx.	10% máx.	AASHTO T-90
4	CBR	10% min	20% máx.	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 NIC-2000 Sección 203. 11 (b), 1003. 21, 1003. 24 (g).

## **CAPÍTULO III**

# **ESTUDIO DE TRÁNSITO**

### **3.1 Estudio de tránsito**

Los estudios de tránsito juegan un papel muy importante en la elaboración de estructuras de pavimento, ya que al realizar los análisis de tránsito nos permite conocer la cantidad y tipo de vehículos que circulan en el tramo, donde se pretende ejecutar la obra ya sea diseñar o rehabilitar, los cuales darán como resultado, el peso y la cantidad de ejes equivalentes para diseñar la estructura de pavimento.

Los factores referentes al tránsito, se obtienen a través del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el porcentaje que representa cada tipo de eje, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el período de diseño.

Permite determinar la cantidad de vehículos que se trasladan de un lugar a otro. Se utiliza para evaluar la situación actual de una vía en la cual se hace un diagnóstico de la demanda vehicular.

El estudio de tránsito permite determinar la cantidad de vehículos que se trasladan de un lugar a otro. Se utiliza para evaluar la situación actual de una vía en la cual se hace un diagnóstico de la demanda vehicular.

#### **3.1.1 Volumen de tránsito**

Es la cantidad de vehículos que se hacen uso de una vía o carretera, y se obtiene a través de conteos o aforos de tránsito en un punto específico del tramo en estudio.

#### **3.1.2 Aforos vehiculares**

Es la cuantificación de los volúmenes actuales de tránsito, con las condiciones presentes y pronosticar los volúmenes que serán atraídos y generados como resultado de su rehabilitación y mejora.

### **3.1.3 Análisis de cargas equivalentes**

Para el cálculo de los ejes equivalentes se consideran los tipos de vehículos obtenidos en los conteos o aforos vehiculares y los pesos sugeridos por la AASHTO para cada uno de ellos. Esto se hace cuando en el tramo de estudio no se cuenta con una báscula que permita el pesaje de los vehículos (en todo caso es el MTI).

### **3.1.4 El tránsito**

Es una variable importante para el diseño de una vía ya que el número y el peso de los ejes de los vehículos son factores que influyen en la estructura de pavimento y de esta manera poder calcular los espesores de pavimento.

Para su correcta elaboración se realizaron tres etapas.

- ✓ Recopilación de datos.
- ✓ Procesamiento de información.
- ✓ Análisis de la información obtenida.

### **3.1.5 Recopilación de datos**

En esta etapa se recopilaron los datos por medio de aforos vehiculares, en un periodo de una semana por doce horas. Se eligió una estación 0 + 010 (Rastro Municipal El Jícaro) ubicada en el inicio del proyecto. El objetivo de este es determinar el tránsito promedio diario, tipo de vehículos, número, tipo y peso de los ejes.

#### **3.1.5.1 Clasificación vehicular**

Para la clasificación de los vehículos el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) ha designado cuatro categorías (ver anexos capítulo III. Anexo 1, página IX).

### **3.1.5.1.1 Vehículos de pasajeros**

Son motocicletas, automóviles, jeep, camionetas, microbús (capacidad menor o igual a 14 pasajeros), minibús (capacidad de 15 a 30 pasajeros), bus (capacidad mayor de 30 pasajeros).

### **3.1.5.1.2 Vehículos de carga**

Estos son vehículos livianos de carga (peso máximo de 4 toneladas), camiones de carga C2 – C3 (peso mayor de 5 toneladas), camiones de carga pesada (tipo Tx-Sx $\leq$ 4 ejes), camiones Tx-Sx $\geq$ 5 ejes (considerados combinaciones de tracto, camión y semirremolque), camión Cx-Rx $\leq$ 4 ejes (combinación camión remolque), Cx-Rx $\geq$ 5 ejes (combinación camión remolque).

### **3.1.5.1.3 Equipo pesado**

Estos son los vehículos agrícolas y vehículos de construcción.

### **Otros**

Remolques y tráileres (pequeños que sean halados por cualquier clase de vehículo automotor).

## **3.2 Estudios de campo**

### **3.2.1 Volumen de tránsito**

El estudio de los volúmenes de tránsito, su composición y comportamiento, forman parte de los parámetros fundamentales para el método de diseño de pavimento flexible. Dicho estudio consiste en la determinación de las cantidades y características del tránsito (cantidades y tipo de vehículos).

El volumen de tránsito que circula por la vía, se determinó a través de aforos. El aforo se realizó durante una semana, a partir del día lunes 15 al domingo 21 de diciembre; en un período de tiempo de 12 horas de 6:00 am a 6:00 pm.

A continuación se presenta el resultado del conteo vehicular. (Ver tabla 12).

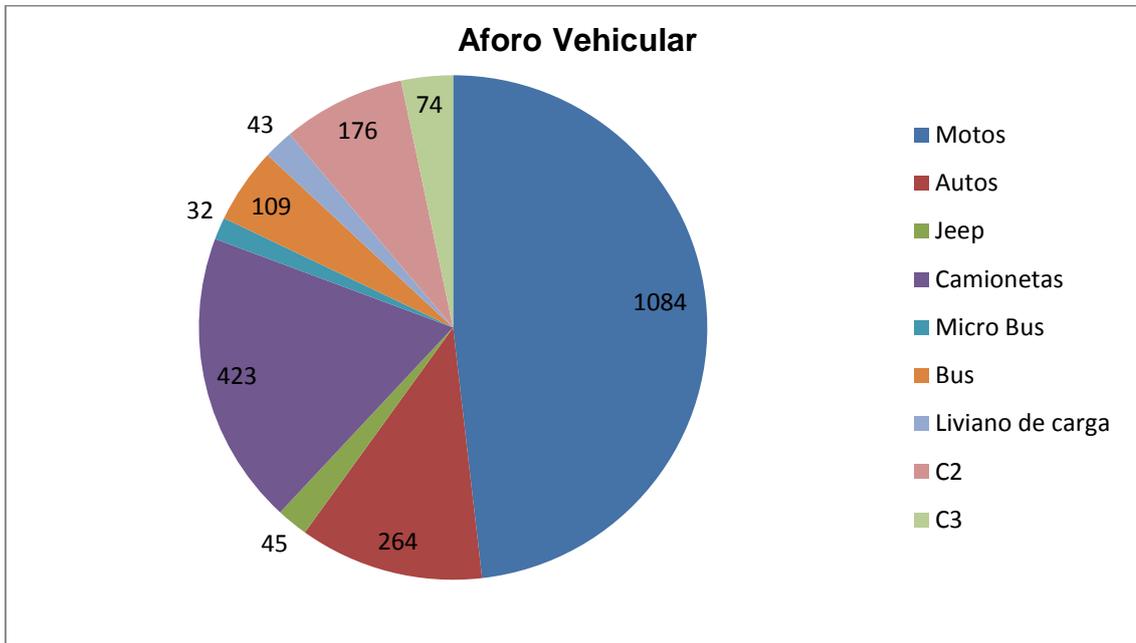
**Tabla N° 12. Aforo vehicular en ambos sentidos, del 15 al 21 de diciembre, 2014**

**TRANSITO DIARIO SEMANAL DE 12 HORAS**

Día	Vehículos de Pasajeros						Liviano de carga	C2	C3	TOTAL
	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Micro Bus	Bus				
Lunes	150	35	2	50	4	16	6	25	10	<b>298</b>
Martes	145	36	4	64	5	16	8	27	13	<b>318</b>
Miércoles	152	38	8	55	4	16	6	22	11	<b>312</b>
Jueves	153	39	5	65	3	16	4	26	8	<b>319</b>
Viernes	157	41	10	72	6	16	9	28	14	<b>353</b>
Sábado	162	43	9	68	8	17	8	26	10	<b>351</b>
Domingo	165	32	7	49	2	12	2	22	8	<b>299</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1084</b>	<b>264</b>	<b>45</b>	<b>423</b>	<b>32</b>	<b>109</b>	<b>43</b>	<b>176</b>	<b>74</b>	<b>2250</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N° 1. Aforo vehicular en ambos sentidos del 15 al 21 de diciembre 2014 TRANSITO DIARIO SEMANAL DE 12 HORAS**



Fuente. Elaboración propia

### 3.2.2 Expansión a 24.0 Horas

Los volúmenes de tráfico diario de doce se expandieron a tráfico de veinticuatro horas, haciendo uso del factor de expansión día por tipo de vehículo de la estación Sumaria N° 5501 tramo El Júcaro – Murra – El Rosario, Nic – 55, correspondiente al conteo del año 2010.

**Tabla N° 13. Factores de ajustes de la estación 5501 del tramo: El Júcaro – Murra – El Rosario**

Camino: NIC-55	Estación: 5501	Tramo: El Júcaro - Murra - El Rosario.						Periodo L	Días: 3	Horas: 12	Mes/Año	mayo	2010	Km: 285.000				
Grupos	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipo Pesado			Total	
		Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.		Otros
					<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	21	
TP(D)	101	0	6	32			9	2	12	1								164
Factor Día	1.21	1.42	1.30	1.27	1.38	1.14	1.16	1.24	1.25	1.15	1.00	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00	1.06	
Factor Semana	0.94	1.03	1.05	1.01	0.92	0.94	0.95	0.90	0.88	0.86	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	
Factor Expansión	0.98	1.04	0.95	0.97	0.95	1.25	1.08	0.99	1.16	1.24	1.00	0.85	1.00	1.00	4.00	1.00	0.82	
TPDA May-Ago	113	1	7	40			11	2	15	1								190
% TPDA	59.47	0.53	3.68	21.05			5.79	1.05	7.89	0.53								100.00
% Vehículos Livianos				84.74%														
% Vehículos Pesados												15.26%						100.00%

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI. Año 2010. Página 262.

Tránsito expandido 24 horas, = Factor día \* Tránsito 12 hrs **Ec – 3.1**

**Tabla N° 14. Conteo Vehicular expandido a 24.0 Hrs, por Tipo de vehículo en ambos sentidos del lunes 15 al domingo 21 de diciembre del año 2014**

Tipo de Vehículo	Factor Día	Día Lunes		Día Martes		Día Miércoles		Día Jueves		Día Viernes		Día Sábado		Día Domingo		Tránsito total 24 horas
		12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	12 Horas	24 Horas	
Motos	1.21	150	182	145	175	153	185	153	185	157	190	162	196	165	200	<b>1313</b>
Autos	1.42	35	50	36	51	39	55	39	55	41	58	43	61	32	45	<b>375</b>
Jeep	1.30	2	3	4	5	5	7	5	7	10	13	9	12	7	9	<b>56</b>
Camionetas	1.27	50	64	64	81	65	83	65	83	72	91	68	86	49	62	<b>550</b>
Micro Bus	1.38	4	6	5	7	3	4	3	4	6	8	8	11	2	3	<b>43</b>
Bus	1.16	16	19	16	19	16	19	16	19	16	19	17	20	12	14	<b>129</b>
Liviano de carga	1.24	6	7	8	10	4	5	4	5	9	11	8	10	2	2	<b>50</b>
C2	1.25	25	31	27	34	26	33	26	33	28	35	26	33	22	28	<b>227</b>
C3	1.15	10	12	13	15	8	9	8	9	14	16	10	12	8	9	<b>82</b>
<b>Total</b>		<b>298</b>	<b>374</b>	<b>318</b>	<b>397</b>	<b>319</b>	<b>400</b>	<b>319</b>	<b>400</b>	<b>353</b>	<b>441</b>	<b>351</b>	<b>441</b>	<b>299</b>	<b>372</b>	<b>2825</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Tránsito promedio diario

Es el tránsito total registrado por día, dividido por los siete días de la semana del conteo elaborado en la estación 0 + 010 (ver tabla N° 10), se determina el tránsito promedio diario por medio de la siguiente ecuación:

$$TPDiurno = \frac{\sum TDiurno}{7} \quad (EC - 3.2)$$

TPDiurno = Tránsito promedio diario.

$\Sigma TDi$  = Suma de Tránsito diario.

**Tabla N° 15. TPDiurno para cada tipo de vehículo del lunes 15 al domingo 21 de diciembre, año 2014**

Tipo de vehículo	Tránsito semanal	TPDiurno
Motos	1313	188
Autos	375	54
Jeep	56	8
Camionetas	550	79
Micro Bus	43	6
Bus	129	18
Liviano de carga	50	7
C2	227	32
C3	82	12
<b>Total</b>	<b>2825</b>	<b>404</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez ajustado el Tránsito Promedio Diario; se obtendrá el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) para cada tipo de vehículo.

### 3.4 Tránsito promedio diario anual (TPDA)

El tránsito promedio diario anual, representa el promedio de los volúmenes diarios de tránsito durante un año en una sección dada de una vía.

Para obtener el tránsito promedio diario del sitio del proyecto en el casco urbano del municipio de El Jícaro, se tomó como referencia los datos

registrados por el MTI; mediante aforos que dicha institución realiza en estaciones permanentes, ubicadas en toda la red vial del país.

El MTI ha desarrollado factores de ajuste, con el objetivo que si se lleva a cabo un conteo vehicular sea posible aplicar dichos factores, desarrollados a partir de la estación permanente y obtener así el TPDA en un tramo de carretera previamente establecido.

La estación permanente que está asociada con el proyecto es la estación de conteo sumaria **5501** tramo El Júcaro – Murra – El Rosario, camino Nic - 55.

Tomando los valores del TPDiurno de la tabla N° 13 y los factores de expansión de la tabla N° 11; determinamos el TPDA para cada tipo de vehículo.

Por lo tanto el TPDA se determina como:

$$\text{TPDA} = \text{TPDiurno ajustado} \times \text{factor expansión} \quad (\text{EC} - 3.3)$$

**Tabla N° 16. Cálculo del tránsito promedio diario anual**

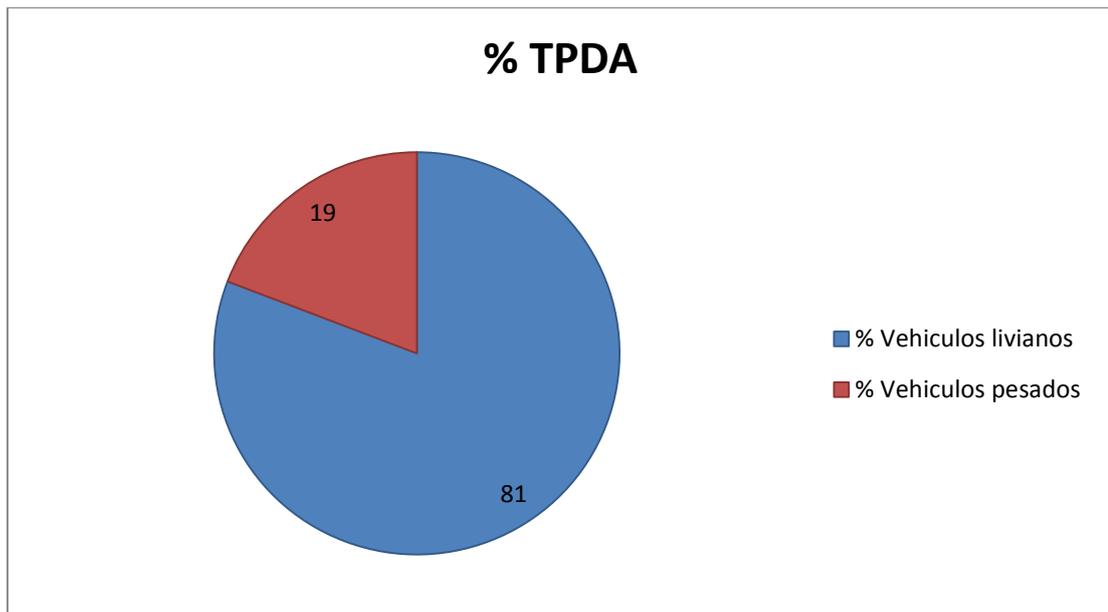
Vehículos	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Micro Bus	Bus	Liviano de carga	C2	C3	Totales
TPDiurno	188	54	8	79	6	18	7	32	12	404
Factor expansión	0.98	1.04	0.95	0.97	0.95	1.08	0.99	1.16	1.24	
TPDA	184.24	56.16	7.60	76.63	5.70	19.44	6.93	37.12	14.88	408.70
% TPDA	45.08	13.74	1.86	18.75	1.39	4.76	1.70	9.08	3.64	100
<b>% Vehículos livianos</b>					<b>80.82</b>	<b>% Vehículos pesados</b>			<b>19.18</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$\% \text{ Vehículos livianos} = 45.08 + 13.74 + 1.86 + 18.75 + 1.39 = 80.82$$

$$\% \text{ Vehículos pesados} = 4.76 + 1.70 + 9.08 + 3.64 = 19.18$$

**Gráfico N° 2. Tránsito promedio diario anual**



Fuente: Elaboración propia

### **3.5 Proyección del tránsito**

#### **3.5.1 Tasa de crecimiento vehicular ( $T_c$ )**

Es el incremento anual de volumen de tránsito en una vía, expresado en porcentajes. Se determina basándose en los datos de las estaciones de conteo, así como también tomando en cuenta otras variables como son:

#### **3.5.2 Crecimiento poblacional**

Es el cambio en la población en un cierto plazo, y puede ser cuantificado como el cambio en el número de individuos en una población usando "tiempo por unidad" para su medición.

Según las estadísticas poblacionales cuantificadas por el Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos (INEC), actualmente Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) se obtuvieron las tasas de crecimiento por municipio, las cuales fueron ajustadas a las tasas estimadas para los departamentos. Finalmente, para la proyección hasta el año 2020, se tomó la población base del año 2005 ajustándose a los techos departamentales proyectados al 30 de junio de cada año. (Ver tabla N° 15 y tabla N°. 16).

**Tabla N° 17. Tasa de Crecimiento Poblacional (2005- 2020)**

<b>AÑO</b>	<b>Tasa de Crecimiento. (TC)</b>
2005 - 2010	0.5
2010 - 2015	0.3
2015 - 2020	0.3
<b>Promedio TC</b>	<b>0.37</b>

Fuente: Estimaciones y Proyecciones de la población. Nacional, departamental y municipal. INIDE. Revisión. 2007. Página 96.

Según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE); en el año 2010 la tasa de crecimiento poblacional en el municipio de El Jícaro fue de 0.3.

### 3.5.3 Crecimiento vehicular

Para determinar la tasa de crecimiento vehicular aplicamos la siguiente ecuación.

$$\text{Dónde: } TC = \left[ \left( \frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100 \quad (EC - 3.7)$$

TC: Tasa de crecimiento vehicular.

TPDA<sub>i</sub>: Tráfico promedio diario actual.

TPDA<sub>o</sub>: Tráfico promedio diario del año base.

n: Diferencia de años.

Para el comportamiento vehicular tomamos en cuenta el tránsito de la estación sumaria N° 5501 cubierta por el MTI; al que corresponde a nuestro tramo en estudio (Nic – 55) El Júcaro – Murra – El Rosario.

**Tabla N° 18. Datos históricos del TPDA**

<b>(Nic - 55) – El Júcaro – Murra – El Rosario. Estación No. 5501</b>										
<b>AÑO</b>	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>TPDA</b>		86				238			278	190

Fuente: Anuario de aforos de tráfico año 2011 MTI. Pag. 98.

Aplicando la ecuación. 3.7 para determinar la tasa de crecimiento para el período (2009 – 2010) obtenemos.

$$TC = \left[ \left( \frac{190}{278} \right)^{\frac{1}{1}} - 1 \right] * 100 \quad (EC - 3.4)$$

$$TC = -0.3165 * 100 = -31.65\%$$

Concluimos que para este período el tráfico en el tramo decreció a una tasa de -31.65%.

### **3.5.4 Producto interno bruto (PIB)**

Esta variable es el valor de todos los bienes y servicios finales producidos dentro de una nación en un periodo. El PIB en congruencia al poder adquisitivo (PA) de una nación es la suma de valor de todos los bienes y servicios producidos en un país. Se utiliza como un indicador de la riqueza generada por una nación, durante un año, un trimestre u otra medida de tiempo.

El PIB promedio de los últimos 10 años es de 4.17 %.

**Tabla N° 19. Producto interno bruto (PIB)**

<b>AÑO</b>	<b>PIB</b>	<b>% Crecimiento PIB</b>
2003	28,795.50	2.5
2004	30,325.20	5.3
2005	31623.9	4.3
2006	119,235.20	4.2
2007	125,231.50	5
2008	130,235.00	4
2009	127397.7	2.2
2010	132,012.90	3.6
2011	139,206.30	5.4
2012	146,451.30	5.2
<b>Promedio</b>		<b>4.17</b>

Fuente: Estadísticas macroeconómicas, BCN. Anuario 2012.

Tomando en cuenta la tasa de crecimiento, poblacional, vehicular y económico,  $(0.3 - 31.65 + 4.17)/3$ , en promedio nos da un valor negativo de  $-9.06\%$  y los datos de la serie histórica de la estación 5501 (El Jícaro-Murra-El Rosario), carretera NIC-55, no facilitan información suficiente motivo por el cual se tomó la decisión de trabajar con la tasa de crecimiento que ofrece el Anuario de Aforos de Tráfico del año 2010, la cual ofrece una tasa de crecimiento del **2.92%** a nivel de todo el país<sup>3</sup>. Esta es una tasa moderada la cual utilizaremos para las proyecciones del tránsito en la zona.

### **3.6 Tránsito de diseño**

#### **3.6.1 Período de diseño (N)**

Es el tiempo total para el cual se diseña el pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considera apropiado para que las condiciones del entorno comiencen alterar, el funcionamiento del pavimento.

<sup>3</sup> Anuario de aforos de tráfico año 2010 MTI. Pag. 16.

Basándonos en el manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, el período de diseño recomendado para esta vía en estudio, clasificado como colectoras Sub-Urbana es de 10 a 20 años.

Para efecto de diseño el período a utilizar en el presente proyecto es de **20 años**.

Hoy en día, se recomienda que se estudien los pavimentos para un período de comportamiento mayor, ya que ellos pueden dar lugar a una mejor evaluación de las alternativas a largo plazo.

**Tabla Nº 20. Período de diseño (N)**

Tipo de carretera	Período de diseño (años)
Autopista Regional	20 – 40
Troncales Sub-Urbanas	15 – 30
Troncales Rurales	
<b>Colectoras Sub-Urbanas</b>	<b>10 – 20</b>
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2001. Pag. 10.

### 3.6.2 Factor direccional (FD)

El factor direccional es el factor del total del flujo vehicular censado; generalmente su valor es de 0.5, ya que la mitad de los vehículos va en una dirección; y la otra mitad va en otra.

**Tabla Nº 21. Factor de distribución por dirección (FD)**

Número de carriles en ambas direcciones	FD %
<b>2</b>	<b>50</b>
4	45
6 o más	40

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

Considerando la condición ideal para vías de dos carriles en ambas direcciones; asignamos el valor de **0.5** para el tramo en estudio.

### 3.6.3 Factor de crecimiento (FC)

El factor de crecimiento depende del número de años al que se proyectará el tránsito, la tasa del incremento anual vehicular; además refleja la medida en que aumentará el flujo de vehículos en el período de diseño.

$$FC = \frac{(1+Tc)^n - 1}{Tc} * 365 \quad (\text{Ec -3.5})$$

Dónde:

FC: Factor de crecimiento.

Tc: Tasa de crecimiento del tránsito (%).

n: Período de diseño (años).

365: Días del año.

Sustituyendo valores obtenemos:

i: 2.92 %.

n: 20 años.

$$FC = \frac{(1 + 0.0292)^{20} - 1}{0.0292} * 365 \quad (\text{E - 3.6})$$

$$FC = 9728.26 \approx 9728$$

### 3.6.4 Factor de distribución por carril

Este factor 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.

**Tabla N° 22. Factor de distribución por carril**

Número de carriles en una sola dirección	Fc'
1	1
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

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

Para nuestro tramo en estudio asignamos el valor de **Fc' = 1** puesto que la vía posee un solo carril para un sentido direccional.

### **3.6.5 Determinación del tránsito de diseño**

Es el volumen de tránsito para un año cualquiera; siendo el número de veces, que pasara el tránsito por la vía en (n) años.

$$\mathbf{TPDA}_{2034} = \mathbf{To}_{2014} * (\mathbf{1} + \mathbf{i})^n \quad (\mathbf{EC} - \mathbf{3.7})$$

Dónde:

To = Tránsito Inicial en el año n.

i= Tasa de crecimiento anual en %

n= Número de año en el período de diseño.

**Tabla N° 23. Tránsito proyectado, para el sitio del proyecto, en el casco urbano del municipio de El Jícaro al año 2034**

Tipo de vehículo	TPDA <sub>2014</sub>	Tasa de crecimiento	N	TPDA Proyectado 2034
Motos	184.24	0.0292	20	328
Autos	56.16	0.0292	20	100
Jeep	7.60	0.0292	20	14
Camionetas	76.63	0.0292	20	136
Micro Bus	5.70	0.0292	20	10
Bus	19.44	0.0292	20	35
Liviano de carga	6.93	0.0292	20	12
C2	37.12	0.0292	20	66
C3	14.88	0.0292	20	26
<b>Total</b>				<b>727</b>

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo el tránsito proyectado se determinó el tránsito de diseño de la siguiente manera:

$$T_D = TPDA_0 * FC * FD * F'_C$$

$$T_D = TPDA_{2014} * FC * FD * F'_C \quad (\text{Ec 3.8})$$

Dónde:

TPDA<sub>0</sub>: Tránsito Promedio Diario Anual del año cero.

FC: Factor de crecimiento

FD: Factor de distribución por sentido

Fc': Factor de distribución por carril

**Tabla N° 24. Tránsito de diseño para el sitio del proyecto en de casco urbano del municipio de El Jícaro**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>TPDA<sub>2014</sub></b>	<b>FC</b>	<b>FD</b>	<b>Fc'</b>	<b>TD 2034</b>
Motos	184.24	9728	0.5	1	896143
Autos	56.16	9728	0.5	1	273162
Jeep	7.60	9728	0.5	1	36966
Camionetas	76.63	9728	0.5	1	372728
Micro Bus	5.70	9728	0.5	1	27725
Bus	19.44	9728	0.5	1	94556
Liviano de carga	6.93	9728	0.5	1	33708
C2	37.12	9728	0.5	1	180552
C3	14.88	9728	0.5	1	72376
<b>Total</b>					<b>1987916</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$TD = 184.24 \times 9728 \times 0.5 \times 1$$

$$TD (\text{Motos}) = 896143.36 \approx 896143$$

# **CAPÍTULO IV**

## **DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO**

## 4.1 Introducción

Un pavimento es una estructura conformada por diferentes capas, de diferentes espesores.

Cada capa recibe las cargas de la capa superior, las distribuye, luego pasa estas cargas a la capa inmediatamente inferior. Por lo tanto, cuanto más abajo este una capa menor es la carga que recibe.

Los pavimentos con adoquín tienen una capa de rodadura conformada por adoquines de concreto de 10 cm de espesor, colocados sobre una capa de arena con un espesor requerido de 3 a 5 cm y con un sello de arena entre sus juntas, presentan una base de material granular y pueden tener una sub-base dependiendo si el diseño así lo amerita.

El método utilizado para efectuar el diseño, fue el de la AASHTO-93, el cual recomienda que para pavimentos con adoquín aplicar los mismos criterios de diseño establecidos para pavimentos flexibles, este método toma en cuenta el valor de soporte del suelo, la cantidad de ejes equivalentes a 18,000 lbs, que transitarán en el período de diseño, drenaje en el área del proyecto, etc. Este método considera las siguientes variables:

## 4.2 Índice de serviciabilidad

Se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final la mejor forma para evaluar esto es por el índice servicio presente (PSI), en una escala de 0 a 5, entre mayor sea el número, mejor será su condición al tráfico. Para ello debe asumirse la serviciabilidad inicial,  $\rho_0$ , es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción y la serviciabilidad final o terminal,  $\rho_t$ , es función de la categoría del camino y es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHTO Road Test:

#### 4.2.1 Serviabilidad inicial:

$p_o = 4.5$  para pavimentos rígid.

$p_o = 4.2$  para pavimentos flexibles.

#### 4.2.2 Serviabilidad final:

$p_t = 2.5$  Lo más para caminos muy importantes.

$p_t = 2.0$  para caminos de menor tránsito<sup>4</sup>.

Para la determinación de la serviabilidad de un pavimento se toma en cuenta que la serviabilidad final de un pavimento ( $P_t$ ) depende del tránsito y del índice de servicio inicial ( $P_o$ ).

**Tabla Nº 25. Valor de la serviabilidad final**

Característica de la vía	Valor de ( $P_t$ )
Autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico	2.5 - 3.0
Autopistas urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas interurbanas	<b>2.0 - 2.5</b>
Vías locales, ramales, secundarias y agrícolas	1.8 - 2.0

Fuente: Manual AASHTO – 93.

$p_o$  (Serviabilidad Inicial) = 4.2 Para pavimentos flexibles.

$p_t$  (Serviabilidad Final) = 2 Para vías de tráfico normal.

#### 4.2.3 Pérdida de serviabilidad ( $\Delta PSI$ )

La pérdida de la serviabilidad es la diferencia que existe entre la inicial y la final. (Diseño de pavimentos AASHTO 93. Edición 2006. Página 172).

<sup>4</sup> Diseño de pavimentos AASHTO 93. Edición 2006. Página 172.

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta\text{PSI} = \rho_0 - \rho_t \quad (\text{EC - 4.1})$$

$$\Delta\text{PSI} = 4.2 - 2.0 \quad \Delta\text{PSI} = 2.2$$

### 4.3 Análisis de cargas y ejes equivalentes para el diseño de pavimento

Definiremos como ESAL's de diseño a la transformación de ejes de un tránsito mixto que circula por una vía a ejes equivalentes de 8.2 toneladas, 18 kips ó 18, 000 libras, en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento, haciendo uso del factor de equivalencia de carga, acumulados durante el período de diseño, se hará uso de las cargas por ejes por cada tipo de vehículo permitidas por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (ver anexos capítulo III. Anexos 2 y 3, página X).

Para el cálculo de ejes equivalentes (ESAL's) existe un factor correspondiente que se obtienen de las tablas de la AASHTO 93, de los ejes sencillos y dobles, para cada eje de los vehículos la cual a su vez se sugiere utilizar el valor de SN 5, el cual transforma la carga por eje a un número de ejes equivalentes (ver anexos capítulo IV. Anexos 1 y 2, páginas XII y XIII).

Los ejes equivalentes se obtienen conociendo el tránsito de diseño y los factores de equivalencia, mediante la siguiente expresión:

$$\text{Esal } 0 \text{ W18} = \text{TD} * \text{FactorCarga} \quad (\text{EC - 4.2})$$

Para realizar el cálculo del **ESALs** de diseño es necesario conocer con anticipación el peso de los vehículos que circularán por el camino durante el período de diseño, y el factor de equivalencia de carga. Para obtener dicho factor se considera una **serviciabilidad final de 2.0**, que es el valor que se recomienda para camino de tránsito menor y un **coeficiente estructural de carga SN = 5**.

Calculamos el factor equivalente de carga (LEF) para cada tipo de vehículo según su peso por eje.

Para un auto el eje delantero y el eje trasero pesan lo mismo, según diagrama de carga de vehículos livianos. Peso de eje: 2200 lbs.= 2.2 Kips.

Para pavimento flexible, con ejes simples y una serviciabilidad  $P_t = 2$ , con un  $SN=5$  se tiene que:

Peso	SN = 5
2 = 2000	0.0002
4 = 4000	0.002

$$4000 - 2000 = 2000$$

$$0.002 - 0.0002 = 0.0018$$

Luego como el peso del automóvil es de 2.2 kips igual a 2,200 lbs entonces hacen falta 200 con respecto a 2200 por tanto se realiza la regla de tres.

2000	0.0018
200	X

$$X = (200 * 0.0018) / 2000$$

$$X = 0.00018$$

Entonces tenemos que el factor equivalente de carga para 2200 va a ser:

$$0.0002 + 0.00018 = \mathbf{0.00038 = \text{Factor ESALs.}}$$

De igual forma se realizan las demás interpolaciones para los otros tipos de vehículos.

En la tabla N° 26, se presentan los otros factores equivalentes de cargas.

Para obtener ESALs para cada tipo de vehículo sustituimos la ecuación 4.2

$$\mathbf{ESALs \text{ de diseño} = TD * \text{Factor Carga.}}$$

**ESALs (autos) de diseño = 273162 \* 0.00038**

**ESALs (autos) de diseño = 103.80 ≈ 104**

En la siguiente tabla se presentan los valores de coeficientes de carga ESALs de diseño para cada tipo de vehículo.

**Tabla Nº 26. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton)**

Tipo de vehículo	T0	Peso por eje en LBS	Tipo de eje	TD	F. ESAL	ESAL Diseño
Motos	184	0	Simple	896143	0	0
		0	Simple	896143	0	0
Autos	56	2200	Simple	273162	0.00038	104
		2200	Simple	273162	0.00038	104
Jeep	8	2200	Simple	36966	0.00038	14
		2200	Simple	36966	0.00038	14
Camionetas	77	2200	Simple	372728	0.00038	142
		4400	Simple	372728	0.0034	1267
Micro Bus	6	4400	Simple	27725	0.0034	94
		8800	Simple	27725	0.0502	1392
Bus	19	11000	Simple	94556	0.1265	11961
		22000	Simple	94556	2.35	222207
Liviano de cargas	7	8800	Simple	33708	0.0502	1692
		17600	Simple	33708	0.9206	31032
C2	37	11000	Simple	180552	0.1265	22840
		22000	Simple	180552	2.35	424297
C3	15	11000	Simple	72376	0.1265	9156
		36300	Doble	72376	1.4325	103679
<b>Total ESAL de diseño</b>						<b>829995</b>

Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño del tramo de vía en estudio se obtuvo un valor de:

**ESAL o W18 = 829995 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.**

#### 4.4 Confiabilidad (R)

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, la guía de la AASHTO - 1993 recomienda diferentes niveles de confiabilidad. Para nuestro tramo y dada la ubicación en la que se encuentra la vía, y el tránsito que utilizara esta es liviano, se asume un valor de confiabilidad (R) de 85%, que corresponde a un valor recomendado, para una clasificación como una zona rural y para tipo de caminos colectores.

**Tabla Nº 27. Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes**

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rurales interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
<b>Colectoras</b>	<b>80 – 95</b>	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Página 137.

#### 4.5 Desviación estándar ( $S_0$ )

La desviación estándar ( $S_0$ ), es un factor que representa la cantidad de datos dispersos dentro de los cuales pasa la curva real del comportamiento de la estructura.

La desviación estándar considera la variabilidad asociada a cada uno de los parámetros involucrados en el diseño, como la predicción del tránsito y el comportamiento del pavimento. Es un valor representativo de las condiciones locales particulares, este parámetro está ligado directamente y depende del nivel de confiabilidad (R) seleccionado; en este paso deberá seleccionarse un valor  $S_0$ . “Desviación Estándar Global”, representativo de condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

La guía de la AASHTO. 1993 recomienda adoptar valores de  $S_o$  comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

**Tabla N° 28. Desviación estándar para pavimentos rígidos y flexibles**

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

Fuente: Libro de diseños para pavimentos. AASHTO 93. Tercera edición. Página 135.

En el presente estudio se utilizará un valor de desviación estándar de  $S_o = 0.45$  para este diseño.

#### **4.6 Coeficiente de drenaje**

El drenaje de agua en los pavimentos debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. 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.

A pesar de la importancia que se concede al drenaje en el diseño de carreteras, los métodos corrientes de dimensionamiento de pavimentos incluyen con frecuencia capas de base de baja permeabilidad y consecuentemente de difícil drenaje.

**Tabla N° 29. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles**

Calidad de drenaje	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	> 1%	1 – 5 %	5 – 25%	< 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
<b>Bueno</b>	1.35 – 1-25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	<b>1.00</b>
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.70	0.40

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Página 148.

El valor asumido en este diseño fue del 1.00, ya que se presenta una calidad de drenaje bueno.

#### **4.7 Propiedades de los materiales**

##### **4.7.1 Determinación del CBR de diseño**

Una vez obtenidos los CBR en los ensayos de laboratorio en las muestras tomadas a lo largo del camino se observa que estos resultados como es de suponer no son constantes dado a las características granulométricas, es por eso que es necesario seleccionar un CBR de diseño para todo el tramo que tome en cuenta la capacidad de soporte de los materiales existentes en el camino.

El suelo de subrasante de una unidad de diseño es un material sobre el cual se efectuaron 7 ensayos de CBR y los resultados fueron 18 y 20%. Con estos datos se calcula el CBR de diseño para un tránsito de  $8.29995 \times 10^5$  ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas durante el período de diseño.

Solución:

Presentamos una tabla de resumen con los datos de CBR de la subrasante considerando una profundidad de 30 cm desde la superficie. En los casos donde se presenta un suelo tipo A – 7 – 5 se cortarán 60 cm y se compensarán 30 cm con el material cortado en las otras estaciones que es de buena calidad como lo es el suelo A – 1 – a.

**Tabla Nº 30. Valores de CBR para diseño**

Clasificación de suelos		Indice de grupo	CBR (95%)
AASHTO	SUCS		
A - 1 - a	GW	0	65
A - 1 - b	SM	0	25

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

**Tabla Nº 31. Criterio del Instituto de Asfalto para determinar el CBR de diseño**

Límites para Selección de Resistencia.	
Número de ejes de 8.2 ton en el Carril de diseño (n)	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
< 10 <sup>4</sup>	60
<b>10<sup>4</sup> a 10<sup>6</sup></b>	<b>75</b>
> 10 <sup>6</sup>	87.5

Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Ing. Alfonso Montejó Fonseca. Segunda Edición 2001. Página 68.

ESAL o W18 = 829995 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.

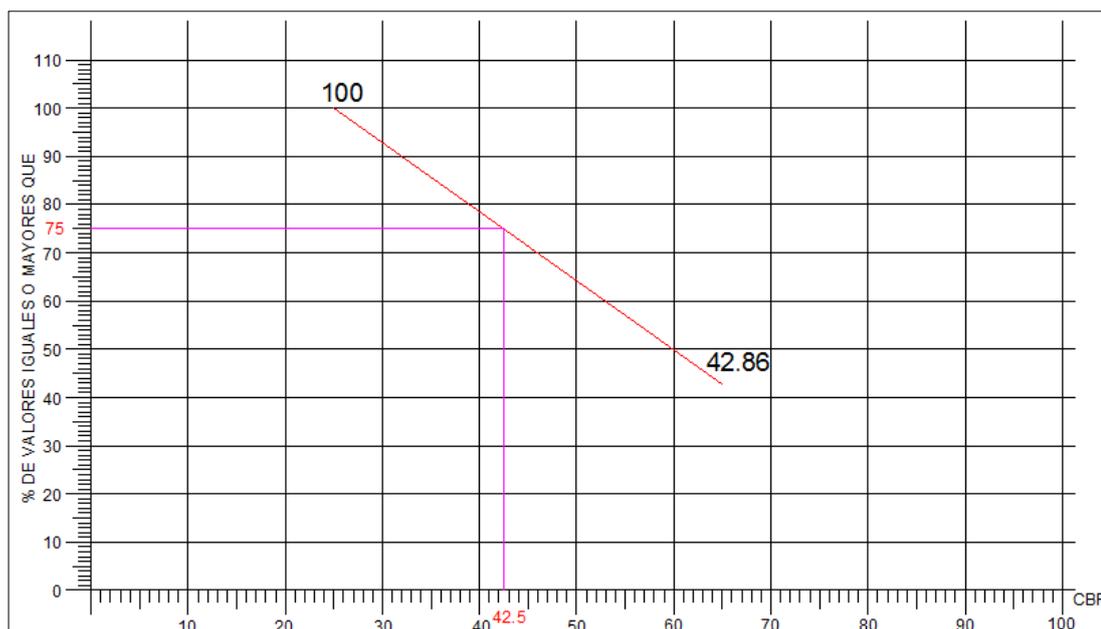
Se ordenan los valores de resistencia de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

**Tabla N° 32. Cálculo para determinar el CBR de diseño**

Tipo de Suelo		CBR (95%)	Frecuencia	Número de valores iguales o mayores que	% de valores iguales o mayores
Clasificación					
AASHTO	SUCS				
A-1-b	SM	65	4	7	$(7/7)*100 = 100$
A - 1 - a	GW	25	3	3	$(3/7)*100 = 42.86$
			7		

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N°4.1. Determinación del CBR de la subrasante**



Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 75% obtenemos el CBR de diseño para la sub-rasante igual a 42.5 %.

## 4.8 Propiedades de los materiales

### 4.8.1 Módulo Resiliente (MR)

Es la propiedad utilizada para caracterizar el suelo de la fundación del camino y otras capas. Para su determinación se ha establecido correlaciones a partir de otros ensayos como el CBR encontrándose que su relación se define como:

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes<sup>5</sup>:

<sup>5</sup> Instituto Venezolano del Asfalto

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

$$MR = 1,500 \times CBR$$

- Para materiales de sub-rasante con valores de CBR mayores a 20 %

$$MR = 4,326 \times \ln(CBR) + 241$$

Cálculo para determinar el módulo de resiliencia, para CBR de 142.5% en la sub-rasante.

$$MR = 4,326 \times \ln(CBR) + 241$$

$$MR = 4,326 \times \ln(42.5) + 241$$

$$MR = 16461.36 \text{ PSI}$$

Hay que destacar que el material usado en el diseño de la base pertenece al banco de materiales Monte Grande, con un CBR de 82%.

El módulo resiliente de la base nos dio un resultado de 28700 PSI, se calculó por medio del nomograma de relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes. (Ver anexos capítulo IV. Anexo 4, página XV).

#### 4.8.2 Coeficientes estructurales de capa

Son factores estructurales que involucran las características físicas y propiedades de los diferentes materiales, para servir como componente estructural del pavimento.

Los coeficientes estructurales de capa son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos, lo que permite convertir los espesores reales a los números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida

de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

Mediante el uso de nomogramas de la guía AASHTO; se determina el coeficiente estructural de cada capa.

#### **4.8.3 Coeficiente estructural de la carpeta (Adoquín) a1**

Para el coeficiente estructural del adoquín se utilizó el valor de 0.45, empleado en el ejercicio de diseño de pavimento de adoquín por el método AASHTO 93, ilustrado en el Manual Centroamericano de Pavimento pág. 107.

Este ensayo fue desarrollado a los efectos de estudiar una propiedad del material que describa mejor el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas de ruedas.

#### **4.8.4 Coeficiente estructural para base granular a2**

El coeficiente estructural para el caso de que la capa base esté constituida por agregados no-tratados (**ab**) (tal como es el caso de las bases de piedra picada, grava triturada, grava cernida, macadam hidráulico, etc.), se determina, a partir del Módulo Resiliente.

El coeficiente estructural **a2 es 0.136**, el cual se obtiene del nomograma para bases granulares no-tratadas de la AASHTO-93 página Número 35, (ver anexos capítulo IV. Anexo 4, página XV).

## 4.9 Cálculo de espesores

Tenemos los valores encontrados anteriormente.

Ejes equivalentes ESALs: 829995 ejes equivalentes por carril de diseño.

- Confiabilidad (%) R: 85.
- Desviación Estándar So: 0.45
- Serviciabilidad Inicial Po: 4.2
- Serviciabilidad final Pt: 2.0
- Serviciabilidad ( $\Delta$  psi): 2.2
- Propiedades de los materiales
  - Módulo Resiliente Sub –Rasante: 16461.36 PSI
  - Módulo Resiliente Base: 28,700 PSI
  - Coeficiente Estructural Carpeta Adoquín a1: 0.45
  - Coeficiente Estructural Base a2: 0.136
- Drenaje (mi): 1.00

### 4.9.1 Cálculo del número estructural (SN) y espesores de capas (D)

Para el cálculo de SN; utilizamos el nomograma para resolver la ecuación AASHTO, (ver anexos capítulo IV. Anexo 3, página XIV). Obteniendo un resultado de SN para subrasante = 2.5 y SN para base = 2.

El espesor del adoquín es estándar de 4 pulgadas. Por tanto SN1 ya está dado:

D1= 4 Pulg de espesor

SN1=D1 x a1 (Ec – 5.5)

SN1 = (4 X 0.45)

SN1 = 1.8

BASE

SN = SN2 - SN1 (Ec – 5.6)

SN = 2.5 - 1.8

SN = 0.7

D2 = SN/a2 x m (Ec – 5.7)

$$D2 = 0.7 / (0.136 \times 1)$$

$$D2 = 5.15 \text{ pulgadas de base}$$

**Como verificación:**

$$SN = a1 \times D1 + a2 \times D2 \times m2 \quad (Ec - 5.8)$$

$$SN = (0.45 \times 4) + (0.136 \times 5.15 \times 1.00)$$

$$SN = 1.8 + 0.7$$

$$SN = 2.5$$

$$SN1^* + SN2 \geq SN$$

$$1.80 + 0.7 \geq 2.5$$

$$2.5 \geq 2.5 \text{ OK}$$

#### **4.10 Criterios de estabilidad y posibilidad de construcción**

Es normalmente impráctico y antieconómico el extender y compactar capas que tengan un espesor menor a determinados mínimos. El tráfico, por otra parte, puede dictaminar otros espesores mínimos recomendables para lograr que las mezclas tengan estabilidad y cohesión satisfactorias.

La tabla N° 33, que se presenta a continuación, sugiere algunos espesores mínimos para capas de rodamiento y bases, en función de los valores de cargas equivalentes en el período de diseño.

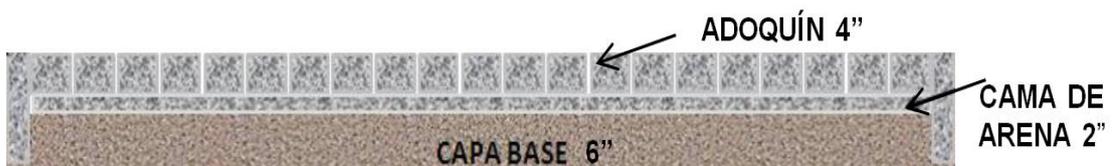
**Tabla Nº 33. Nota:** Según la AASHTO-93 los espesores mínimos sugeridos para capas de concreto asfáltico y base en función del tránsito son los siguientes:

Número de ESALs	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 – 15,000	5,0 cm	10 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10 cm
<b>500,000 – 2,000,000</b>	7.5 cm	<b>15 cm</b>
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: Guía de Diseño AASTHO 93, Capítulo 3, pág. 46.

El resultado de espesor en el diseño de la base granular es de 5.15 pulgadas; el cual no cumple con las especificaciones de la AASHTO – 93, que sugiere 15 cm (6 pulgadas), por ello se construirá una base de 16 cm (6”).

- Capa de rodamiento (adoquín) = 4 " (10 centímetros)
- Capa de arena = 2" (5 centímetros)
- Base = 6 " (15 centímetros)



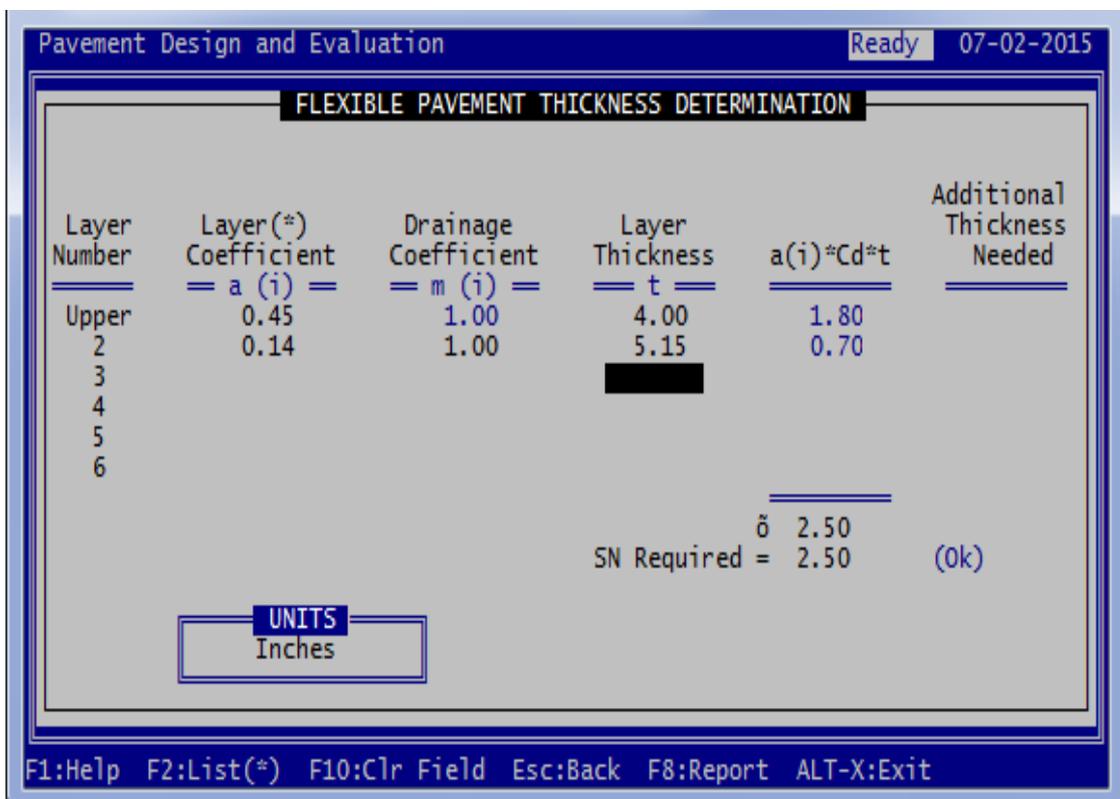
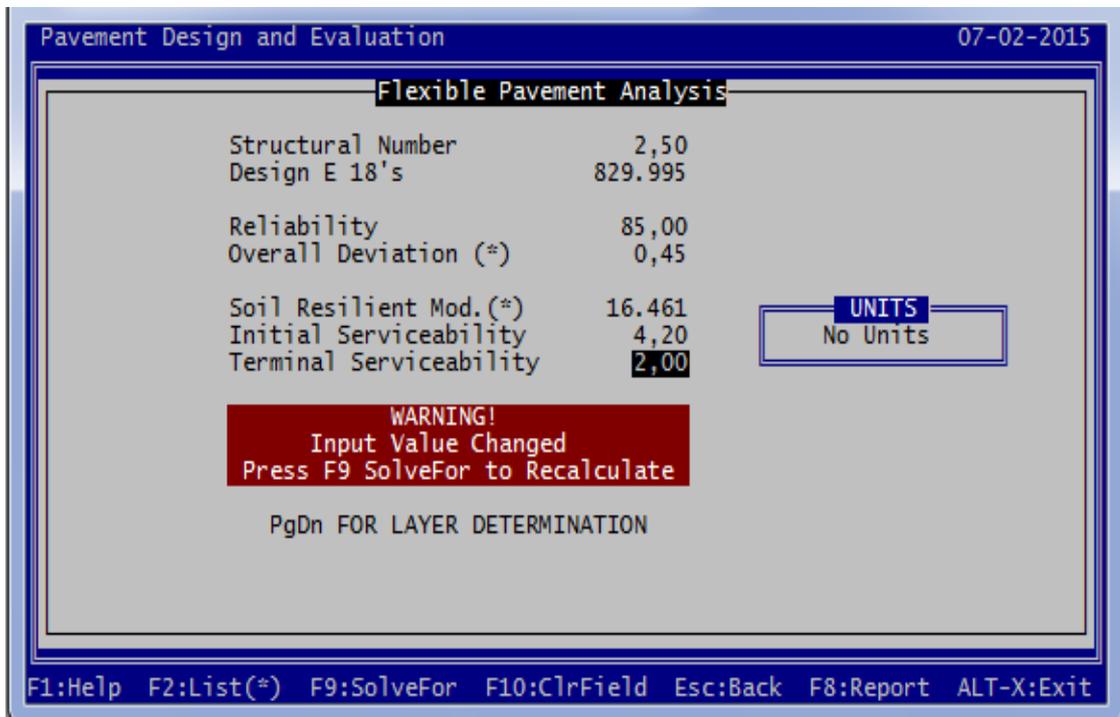
**Tabla N° 34. Datos usados para calcular espesores en el programa Pavement Analysis Software versión 3.3**

Variables	Valores
SN	2.6
ESALs	829995 ejes equivalentes por carril de diseño.
Confiabilidad	85%
Desviación estándar ( $S_0$ )	0.45
MR	16461.36 PSI
Servicialidad inicial ( $P_0$ )	4.2
Servicialidad final ( $P_t$ )	2
Coeficiente de drenaje ( $m_1$ )	1
Coeficiente de capa a1	0.45
Coeficiente de capa a2	0.136

Fuente: Elaboración propia

Se comprobó en el programa Pavement Analysis Software versión 3.3 que los cálculos manuales de la estructura de pavimento están bien, la base según el cálculo manual y el programa da 5.15 pulgadas, el cual no cumple con las especificaciones de la AASHTO – 93, para base granular, por ello se construirá una base de 15 cm (6”).

**4.11 Cálculo de espesores de capas mediante el programa computarizado: Pavement Analysis Software, Pavement Designing Analysis, versión 3.3.**



# **CAPÍTULO V**

## **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

## **5.1 Descripción del Proyecto**

El proyecto está ubicado en la entrada al casco urbano del municipio de El Júcaro, su macro y micro localización esta detallada en el capítulo 1 de este documento. Cabe señalar que la ejecución de la obra tendrá efectos sobre la población que habita en el sector, los productores del municipio y los conductores que hacen uso de la vía.

El proyecto se basa en la construcción de 1.5 km de adoquinado, este ofrece beneficios no solo al área donde está ubicado, sino también a todos los habitantes que hacen uso de la carretera.

Por ser un área urbana la vegetación existente es mínima, así como la fauna, encontrándose como elementos naturales más importantes, los árboles a ambos lados de la calle, la capa vegetal que tendrá que reemplazarse según estudio de suelos, así como el relleno y cortes que serán necesarios para un diseño óptimo de la carpeta de rodamiento.

## **5.2 Legislación vigente**

La Ley No 217<sup>6</sup> “Ley General del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales” establece las normas para la conservación, protección, mejora y restauración del medio ambiente y los recursos naturales que lo integran asegurando su uso racional y sostenible”.

El arto 3 de esta ley, fija como objetivo “la prevención regulación y control de cualquiera de las causas o actividades que originen deterioro del medio ambiente y los ecosistemas.

Así como también sus reformas ley No 647 “ley de reformas y adiciones a la ley No 217,- “Ley general del medio ambiente y los recursos naturales”, donde

---

<sup>6</sup> Asamblea Nacional de la República de Nicaragua. (2006). Decreto 76 – 2006. Sistema de Evaluación Ambiental. Publicado en la Gaceta Diario Oficial No.248 de 22 de diciembre .del 2006

en su artículo 25 se mandata: “El sistema de evaluación ambiental será administrado por el Ministerio del Ambiente y de los recursos naturales en coordinación con las instituciones que correspondan”.

Esto implica que los proyectos, obras, industrias o cualquier otra actividad que por sus características, puede producir deterioro al ambiente y/o los recursos naturales, deberán obtener, previo a su ejecución, el permiso ambiental otorgado por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA).

El decreto 76 – 2006 rige el “Sistema de evaluación ambiental” y tiene como objeto establecer las disposiciones que regulan el Sistema de Evaluación Ambiental de Nicaragua. En su artículo 18 del capítulo IV. – “Impactos Ambientales moderados”. Cita: Modificaciones al trazado de carreteras, autopistas, vías rápidas y vías sub-urbanas preexistentes, medido en una longitud continúa de menos de (10 km) y nuevas vías intermunicipales.

Según la ley los proyectos de **Categoría Ambiental III**, están sujetos a un Estudio de Impacto Ambiental, lo cual es aplicado al proyecto: Diseño de 1.5 km de pavimento articulado por el método AASHTO 93, en los barrios Hermanos Casco y El Progreso del municipio de El Jícaro departamento de Nueva Segovia.

Para determinar cualitativamente dichos impactos ambientales se usó una serie de matrices donde se le asignaron valores de acuerdo a las relaciones de las actividades vinculadas.

En la evaluación se abordaron factores que afectan ya sea positiva o negativamente de la zona en estudio.

### 5.3 Metodología del análisis ambiental

- Análisis de la calidad ambiental del sitio sin considerar el proyecto, haciendo valoraciones de causas y efectos.
- Evaluación de los impactos ambientales que genera el proyecto, considerando para esto las acciones impactantes y efectos sobre los factores ambientales en cada sitio del proyecto.
- Realización de un programa de mitigación de los impactos ambientales generados por el proyecto, haciendo referencia a las acciones impactantes, los efectos y las medidas más idóneas.
- Construcción de un programa de contingencia ante riesgos, en el cual se describan las características del riesgo, especificando su peligrosidad y las medidas a tomar según sea el caso.

La evaluación del sitio se realizó mediante el llenado de tres (3) histogramas estadísticos.

En los cuales se abordan tres componentes con sus diversas variables: **(Geología, Ecosistema e Institucional y Social)**.

Para cada componente se evaluó valorando todas las variables que lo integran, para ello se contó con la información de las características ambientales del territorio donde se emplazará el proyecto, se llenó una matriz de los valores obtenidos en cada escala E que va desde un valor 1 (situaciones más riesgosas) hasta 3 (situaciones libres de todo tipo de riesgos).

En las tablas, se puede constatar que la columna P, correspondió al peso o importancia del problema; de esta manera, que las situaciones más riesgosas o ambientalmente incompatibles tienen la máxima importancia o peso (3); mientras que las situaciones no riesgosas tienen la mínima importancia o peso (1), mientras que las situaciones intermedias tienen un peso o importancia mediano (2). La columna F indica la frecuencia con que aparece determinada escala en el análisis.

El valor total alcanzado para cada componente se obtuvo mediante el resultado de la ecuación, Valor total =  $\frac{ExPx F}{Px F}$ .

#### 5.4 Evaluación de emplazamiento

En proyectos horizontales, como el adoquinado de 1.5 km de calles en el municipio de El Jícaro, se evalúan las características generales del sitio, a través del análisis del emplazamiento.

**Tabla N° 35. Resultados del análisis de emplazamiento en el componente Geología**

Componente Geología									
E	Sismicidad	Deslizamiento	Vulcanismo	Sedimentos	Calidad del suelo	P	F	ExPx F	Px F
1						3	0	0	0
2				x		2	1	4	2
3	x	x	x		x	1	4	12	4
								16	6
Valor total: $(ExPx F) / (Px F) = 2.67$									

Fuente: Elaboración propia.

Este proyecto según el componente de Geología descrito en la tabla N° 32, alcanzó el valor de 2.67, lo que significa que el sitio es poco vulnerable, con muy bajo componente de riesgo a desastre y/o bajo deterioro de la calidad ambiental a pesar de limitaciones aisladas. Este proyecto es elegible para la alternativa de sitio.

**Tabla N° 36. Resultados de la evaluación de emplazamiento en el componente Ecosistema**

Componente de Ecosistema							
	Hidrología superficial	Hidrología subterránea	Mar y lagos	P	F		
E						ExPxF	PxF
1				3	0	0	0
2				2	0	0	0
3	x	x	x	1	3	9	3
Valor total: (ExPxF) / (PxF) = 3						9	3

Fuente: Elaboración propia.

Como se logra apreciar en la tabla N° 33, los resultados del análisis del emplazamiento en el componente de Ecosistema, alcanzó el valor de 3, lo que significa que el sitio es poco vulnerable.

Este proyecto es elegible para la alternativa de sitio.

**Tabla N° 37. Resultados de la evaluación de emplazamiento en el componente institucional social**

Componente Institucional Social							
	Conflictos territoriales	Participación ciudadana	Plan de inversión y sostenibilidad	P	F		
E						ExPxF	PxF
1				3	0	0	0
2				2	0	0	0
3	x	x	x	1	3	9	3
Valor total: (ExPxF) / (PxF) = 3						9	3

Fuente: Elaboración propia.

Desde la óptica del componente institucional social, el resultado de la tabla N° 34, es de 3, lo que indica que el sitio es poco vulnerable a los efectos sociales e institucionales con muy bajo nivel de riesgo. Por lo que el resultado del análisis del emplazamiento en el componente institucional social es elegible.

## 5.5 Análisis de la calidad ambiental del área de influencia del proyecto

A continuación se presenta de manera resumida el análisis de los principales problemas ambientales:

**Tabla N° 38. Análisis de los principales problemas ambientales**

<b>Factor ambiental</b>	<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>	<b>Nivel de Calidad</b>
Calidad del aire	Producto de la circulación de vehículos en la carretera.	Formación de polvo, contaminación del aire por la emisión polvo y humo.	3
Aguas superficiales	Vertido directo de aguas servidas y desechos sólidos a fuentes de aguas superficiales.	Contaminación de aguas superficiales, con repercusión en la salud y en el ecosistema.	3
Geología	Modificación de la topografía sin drenajes	Erosión hídrica	3
Cubierta vegetal	Deforestación y desplazamiento de especies nativas ornamentales.	Erosión, daño al hábitat de la fauna.	3
Paisaje	Modificación de la vegetación existente.	Pérdida de la calidad del paisaje.	3
Calidad de vida	Condiciones higiénico sanitarias y epidemiológicas deficientes	Alteraciones de la salud de la población, brotes de dengue, malaria, diarrea, cólera, etc.	3

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 35 se reflejan de manera general, los niveles de impacto; cuyos niveles son bajos (escala 3).

## **5.6 Posibles impactos esperados con el proyecto**

El impacto generado por un proyecto se mide según las alteraciones ambientales que puede crear las diferentes acciones de la obra, tomando en consideración las diferentes etapas o estudios por los que transitará el proyecto.

A continuación se detallan las actividades que intervienen durante la construcción y funcionamiento del proyecto.

### **5.6.1 Durante la etapa de construcción**

- 1 – Preliminares.
- 2 – Movilización de Maquinaria y Equipos.
- 3 – Construcción de obras temporales.
- 4 – Movimiento de tierra.
- 5 – Transporte de Materiales.
- 6 – Vulnerabilidad.
- 7 – Depósito de materiales.
- 8 – Limpieza Final.

### **5.6.2 Durante la etapa de funcionamiento**

- 1 – Incremento del tráfico.
- 2 – Conservación (pintura y limpieza).
- 3 – Aumento de la accesibilidad.
- 4 - Acciones ligadas a la demografía.

**Tabla N° 39. Principales impactos ambientales que genera el proyecto**

Tipo de Proyecto	Etapas del proyecto	Actividades del proyecto	Factor ambiental impactado	Efecto directo de la acción sobre el factor ambiental	Nivel de Impacto	
Construcción de 1.5 km de adoquinado de calles en el casco urbano del municipio de El Jícato	Construcción	Preliminares	Transporte	Obstrucción del tráfico en el tramo afectado	3	
		Movilización de maquinaria y equipo	Calidad del aire	Aumento de partículas de polvo	3	
			Transporte	Interrupción del tráfico, desvío de vehículos	3	
			Acceso peatonal	Peligros de accidentes en la zona	2	
			Salud	Enfermedades respiratorias	3	
		Construcción de obras temporales	Calidad del aire	Proliferación de polvo	3	
			Ruido	Aumento de ruido	2	
		Movimiento de tierra	Calidad del aire	Aumento de partículas de polvo	3	
			Transporte	Interrupción del tráfico y desvío de vehículos	3	
			Acceso peatonal	Accidente en la zona	3	
			Salud	Enfermedades respiratorias	3	
		Transporte de materiales	Calidad del aire	Aumento de partículas de polvo	3	
			Transporte	Interrupción del tráfico y desvío de vehículos	3	
			Acceso peatonal	Peligro de accidentes en la Zona	3	
			Salud	Enfermedades respiratorias	3	
			Vulnerabilidad	Población	Accidentes	3

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 36 se reflejan de manera general, los niveles de impacto; cuyos niveles oscilan entre medios y bajos (escala 2 y 3, respectivamente).

De los posibles impactos negativos que deben ser considerado al momento de ejecutar las medidas de mitigación son: en la generación de ruido producida

por los equipos utilizados, los riesgos de accidentes, el riesgo de contaminación producida por los derivados del petróleo.

**Tabla N° 40. Principales impactos ambientales que genera el proyecto**

Tipo de Proyecto	Etapas del proyecto	Actividades del proyecto	Factor ambiental impactado	Efecto directo de la acción sobre el factor ambiental	Nivel de Impacto
Construcción de 1.5 km de adoquinado de calles en el casco urbano del municipio de El Jícaro	Construcción	Depósito de materiales	Calidad del aire	Aumento de partículas de polvo	3
			Transporte	Interrupción del tráfico y desvío de vehículos	3
			Acceso peatonal	Peligro de accidentes en la zona	3
			salud	Enfermedades respiratorias	3
		Limpieza final	Calidad del aire	Aumento de partículas de polvo	3
			Salud	Enfermedades respiratorias	3
	Funcionamiento	Incremento del tráfico	Calidad del aire	Aumento de emisión de humo	3
			Salud	Enfermedades respiratorias	3
		Conservación, (pintura y limpieza)	Calidad del aire	Aumento de emisión de gases tóxicos	3
			Salud	Enfermedades respiratorias	3
		Aumento de la accesibilidad	Transporte	Mayor número de vehículos en la zona	0
		Acciones ligadas a la demografía	Población	Aumento poblacional	0
		Calidad de vida	Población,	Mayor accesibilidad y mejor economía	0

Fuente: Elaboración propia.

Claves de Nivel de Impacto:

Nivel 1: Alto; Nivel 2: Medio; Nivel 3: Bajo; Nivel cero: cuando el efecto es positivo.

En el periodo de funcionamiento de la obra el análisis no prevé ninguna amenaza, por lo que sus valores fueron en términos de valoración insignificantes (escala tres).

## **5.7 Medidas de mitigación**

La obra llevará un plan de monitoreo ambiental durante su ejecución, consistente esencialmente en las actividades siguientes:

Señalización durante la puesta en obra del proyecto, previniendo a los pobladores sobre emisiones sonoras y polvo u otras sustancias como pintura, cemento, etc. De la misma manera se proveerá a los trabajadores de los accesorios necesarios para su protección como tapa orejas, gafas de protección, etc.

Se priorizará la integración del medio natural con las obras a construir.

Se procurará utilizar materiales de un lugar cercano a donde se realizará la obra, con la debida autorización del MARENA.

La calidad del aire que se prevé será afectada por el incremento de las partículas de polvos disueltas en el ambiente debido a los trabajos de movimientos de tierra y a las emisiones de gases de la maquinaria que realiza dichos trabajos, se deben mitigar aplicando riegos de agua en las zonas de trabajo y dando un mantenimiento adecuado y periódico a las maquinarias.

Otro riesgo de contaminación de los suelos es por el derrame de aceites y combustibles, el contratista deberá de impermeabilizar las áreas de trabajo en talleres y planteles.

Para el manejo ambiental de los bancos de materiales el contratista deberá de preparar un plan de manejo ambiental, el cual contendrá la información básica de la metodología de extracción a utilizar, maquinaria, características del material, medidas de mitigación ambiental, plan de contingencias contra accidentes, levantamientos topográficos, detalles de cortes a través de perfiles y secciones transversales.

Para garantizar la seguridad e higiene ocupacional el contratista deberá establecer un sistema de recolección, manejo y disposición final de los desechos líquidos y sólidos generados en todas sus instalaciones.

El contratista se hará responsable de toda la señalización vial preventiva de las calles durante la ejecución de las obras.

**Tabla N° 41. Medidas de mitigación**

Tipo de proyecto	Acciones impactantes	Efectos	Medidas de mitigación
Construcción de 1.5 km de adoquinado de calles en el municipio de El Jícaro	Trabajos de construcción	Producción de polvo	Humedecimiento de la tierra de conformidad a las Nic – 80. Evitar el movimiento innecesario de maquinaria
		Producción de ruidos	Regulación de horarios. Evitar el movimiento innecesario de maquinarias
		Riesgos de contaminación por grasas y combustibles	Selección de sitios para mantenimiento de la maquinaria y recolectar residuos de grasas y combustibles, los cuales deberán estar provistos de material impermeabilizante o recipientes herméticos que eviten la contaminación directa al suelo
		Desaparición de comunidades vegetales interceptadas por el proyecto y el movimiento de máquinas	Restringir destrucción de plantas, por el movimiento de la maquinaria. Posibilidad de compensación de la cubierta vegetal.
		Riesgo de daño a la infraestructura pública y privada	Reparación de daños causados a la propiedad pública y/o privada
	Trabajos en los bancos de prestamos	Alteración de la geomorfología de los bancos de prestamos	Realizar plan operativo de explotación de banco. Proporcionar el corte de taludes acorde al ángulo de reposo, evitando cortes innecesarios. (sujeto a aprobación)

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 42. Medidas de mitigación**

<b>Tipo de proyecto</b>	<b>Acciones impactantes</b>	<b>Efectos</b>	<b>Medidas de mitigación</b>
Construcción de 1.5 km de adoquinado de calles en el municipio de El Jícaro	Trabajos en los bancos de prestamos	Alteración de la geomorfología de los bancos de prestamos	Realizar plan operativo de explotación de banco. Proporcionar el corte de taludes acorde al ángulo de reposo, evitando cortes innecesarios. (sujeto a aprobación)
	Trabajos de construcción	Riesgos de derrumbes o deslizamientos	Revestir taludes con capa vegetal
		Riesgos de contaminación por derrame de combustibles y grasas de maquinas	Selección de sitios para mantenimiento de la maquinaria, recolectar residuos de grasas y combustibles
		Destrucción de la vegetación	Restringir destrucción y movimiento de la maquinaria
		Riesgos de accidentes	Señalización y control del tráfico en el transporte y vertido de materiales
	Explotación de la infraestructura de rodamiento o caminos	Incremento de los niveles de ruido por el aumento del tránsito de vehículos y otros contaminantes	Trabajar con velocidades de diseño y evitar las fuertes pendientes del trazado
		Aumento de los riesgos de accidentes de tránsito	Señalización
		Acumulación de basura	Limpieza periódica

Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

- Los suelos correspondientes al primer estrato estudiado, de acuerdo con los resultados obtenidos, se clasifican como A-1-a y A-1-b, presentando un CBR de diseño en la subrasante de 42.5 % a una profundidad de 30 cm.
- El banco de materiales a utilizar será el banco “Monte Grande”, el cual se clasifica según la AASHTO como A-1-a, con índice de grupo cero, presenta las siguientes características, CBR de 82%, límite líquido 58.7 %, e índice plástico N.P.
- El estudio de tránsito refleja que la afluencia vehicular es mayoritariamente de vehículos livianos con 80.82 %. El ESAL´s obtenido fue 829995 ejes equivalentes por carril de diseño.
- El resultado de espesor en el diseño de la base granular según el cálculo es de 5.15 pulgadas; el cual no cumple con las especificaciones de la AASHTO – 93, por ello se construirá una base de 15 cm 6”.
- Para el cálculo de la estructura de pavimento se utilizó el método de la AASHTO - 93, se hizo de manera manual y a través del programa computarizado Pavement Analysis Software versión 3.
- Estructura de pavimento constituida por 3 capas: la de rodadura, (adoquín 4 pulgadas), la cama de arena 2 pulgadas y la base granular 6 pulgadas.
- Los impactos ambientales detectados se consideran de baja significancia, ya que no representan una alteración permanente al medio ambiente, cuya afectación no va más allá del período de ejecución del proyecto.

## Recomendaciones

- Para garantizar el buen funcionamiento y durabilidad de la carpeta de rodamiento y estructura de pavimento, se deben construir un buen sistema de drenaje pluvial además de realizar mantenimientos periódicos de manera preventiva, que también evita los altos costos del mantenimiento correctivo y/o rehabilitación.
- Realizar pruebas de resistencia a los adoquines, (5000PSI) para comprobar que cumple las especificaciones técnicas propuestas en el presente documento.
- Garantizar que los materiales a utilizarse sean adquiridos en fábricas certificadas, como una forma de asegurarse de que cumplan con la calidad requerida.
- Se deberá llevar un estricto control de compactación de campo al momento de colocar los materiales de los bancos.
- Se deberá realizar las medidas de compensación, mitigación y protección ambiental propuestas en el presente estudio. De tal manera que las mismas sean parte integral de los compromisos que el contratista deberá tener durante la ejecución del proyecto.

## **Bibliografía**

- García, L., & Aburto, A. (2003). *Manual Elemental de Servicios Municipales*. Managua.
- (MTI), M. d. (2010). *Anuario de Aforos de Tráfico*. Managua.
- Alfonso Montejo Fonseca. (2001). *Ingeniería de Pavimentos para Carretera* (2da. Edición ed.).
- INIDE. (2007). *Estimaciones y Proyecciones de Población, Nacional, Departamental y Municipal*. Managua.
- Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón. (2006). *Diseño de Pavimentos AASHTO - 93* (3ra. Edición ed.). La Paz, Bolivia.
- Iturbide, I. J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (SIECA)*. Guatemala, Guatemala.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2010). *Anuario de Aforos de Tráfico*. Managua: MTI.
- MTI. (2000). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes (Nic - 2000)*. Managua.
- Rivera, M. A. (2007). *Manual de Impacto Ambiental*. Managua.

# **ANEXOS CAPÍTULO I**

**Anexo 1. Fotografía tramo de calle a adoquinar, casco urbano municipio de El Jícaro**



Anexo 2. Fotografía 2. Calle a adoquinar, casco urbano municipio de El Jícaro



### Anexo 3. Banco de materiales “Monte Grande”



# **ANEXOS CAPÍTULO II**

**Anexo 1. Clasificación de suelos, según AASHTO**

<b>Clasificación de suelos por el método AASHTO</b>											
<b>Clasificación general</b>	<b>Materiales granulares (35%, ó menos, pasa el tamiz No. 200)</b>							<b>Materiales limo-arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz No. 200)</b>			
<b>Grupos</b>	<b>A - 1</b>		<b>A - 2</b>								<b>A-7</b>
<b>Subgrupos</b>	<b>A-1-a</b>	<b>A-1-b</b>	<b>A - 3</b>	<b>A-2-4</b>	<b>A-2-5</b>	<b>A-2-6</b>	<b>A-2-7</b>	<b>A-4</b>	<b>A-5</b>	<b>A-6</b>	<b>A-7-5</b> <b>A-7-6</b>
Porcentaje que pasa el tamiz:											
No. 10 (2.00 mm)	50 máx.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
No. 40 (0.425 mm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	—	—	—	—	—	—	—	
No. 200 (0.075 mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Características del material que pasa el tamiz No. 40 (0.425 mm):											
Límite líquido	—	—	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.*	
Terreno de fundación	Excelente a bueno		Excelente a bueno	Excelente a bueno				Regular a malo			

\* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual ó menor a LI-30.  
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LI-30.

Fuente: Ing. de Pavimentos para Carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejo, pág 46.

## Anexo 2. Clasificación unificada de suelos, según SUCS

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO				
<p>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA Nº200 (Ø)</p> <p><b>ARENAS</b> MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA LA MALLA Nº4 (Usese la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo)</p> <p><b>GRAVAS</b> MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA ES RETENIDA EN LA MALLA Nº4 (Usese la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo)</p>	<p>GRAVAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)</p> <p>GRAVAS LIMPÍAS (POCO O NADA DE PART. FINAS)</p> <p>ARENAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)</p> <p>ARENAS LIMPÍAS (PARTÍCULAS FINAS)</p>	<p>GW</p>	<p>DETERMINENSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRA - NULOMÉTRICA DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA Nº200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUIEN</p> <p>MENOS DE 5% : GW, GP, SW, SP</p> <p>MÁS DE 12% : GM, GC, SM, SC</p>	
		GP		<p>COEF DE UNIFORMIDAD (<math>C_u</math>) COEF DE CURVATURA (<math>C_c</math>)</p> <p><math>C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}</math>, MAYOR DE 4      <math>C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}</math>, ENTRE 1 y 3</p>
		GM		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW
		GC		LÍMITES DE PLASTICIDAD ABAJO DE LA LÍNEA "A" O $I_p$ MENOR QUE 6
		SW		LÍMITES DE PLASTICIDAD ARRIBA DE LA LÍNEA "A" CON $I_p$ MAYOR QUE 6
		SP		<p><math>C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}</math>, MAYOR DE 6      <math>C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}</math>, ENTRE 1 y 3</p>
		SM		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA SW
		SC		LÍMITES DE PLASTICIDAD ABAJO DE LA LÍNEA "A" O $I_p$ MENOR QUE 6
				LÍMITES DE PLASTICIDAD ARRIBA DE LA LÍNEA "A" CON $I_p$ MAYOR QUE 6
		<p>SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA LA MALLA Nº200 ( USESE LA CURVA GRANULOMÉTRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)</p> <p><b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LÍMITE LÍQUIDO MENOR DE 50</p> <p><b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50</p>		<p>ML</p> <p>CL</p> <p>OL</p> <p>MH</p> <p>CH</p> <p>OH</p>
	<p>COMPARANDO SUELOS A IGUAL LÍMITE LÍQUIDO, LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL ÍNDICE PLÁSTICO</p>			
	<p>INDICE PLASTICO</p> <p>LÍMITE LÍQUIDO</p>			
	<p>CARTA DE PLASTICIDAD PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS EN EL LABORATORIO</p>			
	<p>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</p>			

Fuente: Ing. de Pavimentos para Carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejo, pág 53.

### Anexo 3. Correlación entre el tipo de material, CBR y K

Clasificación ASSHTO	Descripción	Clasif. S. U.	Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	CBR (%)	Valor K (psi/in)
Suelos granulares:					
A-1-a, bien graduada	Grava	GW, GP	125 - 140	60 - 80	300 - 450
A-1-a, mal graduada			120 - 130	35 - 60	300 - 400
A-1-b	Arena Gruesa	SW	110 - 130	20 - 40	200 - 400
A-3	Arena Fina	SP	105 - 120	15 - 25	150 - 300
A-2 Material granular con alto contenido de finos					
A-2-4 gravoso	Grava Limosa	GM	130 - 145	40-80	300 - 500
A-2-5, gravoso	Grava Arena Limosa				
A-2-4, arenoso	Arena Limosa	SM	120 - 135	20 - 40	300 - 400
A-2-5, arenoso	Arena Gravo Limosa				
A-2-6, gravoso	Grava Arcillosa	GC	120 - 140	20 - 40	200 - 450
A-2-7, gravoso	Grava Arena Arcillosa				
A-2-6, arenoso	Arcilla Arenosa	SC	105 - 130	10 - 20	150 - 350
A-2-7, arenoso	Arcilla Grava Arenosa				
Suelos finos:					
A-4	Limo	ML, OL	90 - 105	4 - 8	25 - 165*
	Mezclas de Limo/Arena/ Grava		100 - 125	5 - 15	40 - 220 *
A - 5	Limo mal graduado	MH	80 - 100	4 - 8	25 - 190*
A - 6	Arcilla plástica	CL	100 - 125	5 - 15	25 - 255*
A-7-5	Arcilla Elástica moderadamente plástica	CL, OL	90 - 125	4 - 15	25 - 125 *
A-7-6	Arcilla muy plástica	CH, OH	80 - 110	3 - 5	40 - 220*

Fuente: Diseño de pavimentos, AASHTO 93, Cap. 4, página 86.

# **ANEXOS CAPÍTULO III**

## Anexo 1. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadraciclo, Moto Taxi, 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 liras 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.
	MNIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA T <sub>1</sub> S <sub>1</sub> X=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo T <sub>1</sub> S <sub>1</sub> X=4.
	T <sub>1</sub> S <sub>1</sub> X=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	C <sub>1</sub> R <sub>1</sub> X=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como C <sub>1</sub> R <sub>1</sub> X=4
	C <sub>1</sub> R <sub>1</sub> X=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRICOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Diermoventes).

Fuente: Anuario de aforos de tráfico 2011. Pag. 28.

## Anexo 2. Diagrama de cargas permisibles aplicadas en los puntos de control

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

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

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, DGP-DAV.

## Anexo 3. Diagrama de cargas permisibles

Tipo de Vehículo	Peso por eje en TON	Peso por eje en Lbs
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-12-30	4/8	8800/17600
C2-LIV	4/8	8800/17600
BUS = C2	5/10	11000/22000

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI

# **ANEXO CAPÍTULO IV**

**Anexo 1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples,  $\rho_t = 2$ , SN= 5**

Carga p/eje (kips) <sup>6</sup>	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

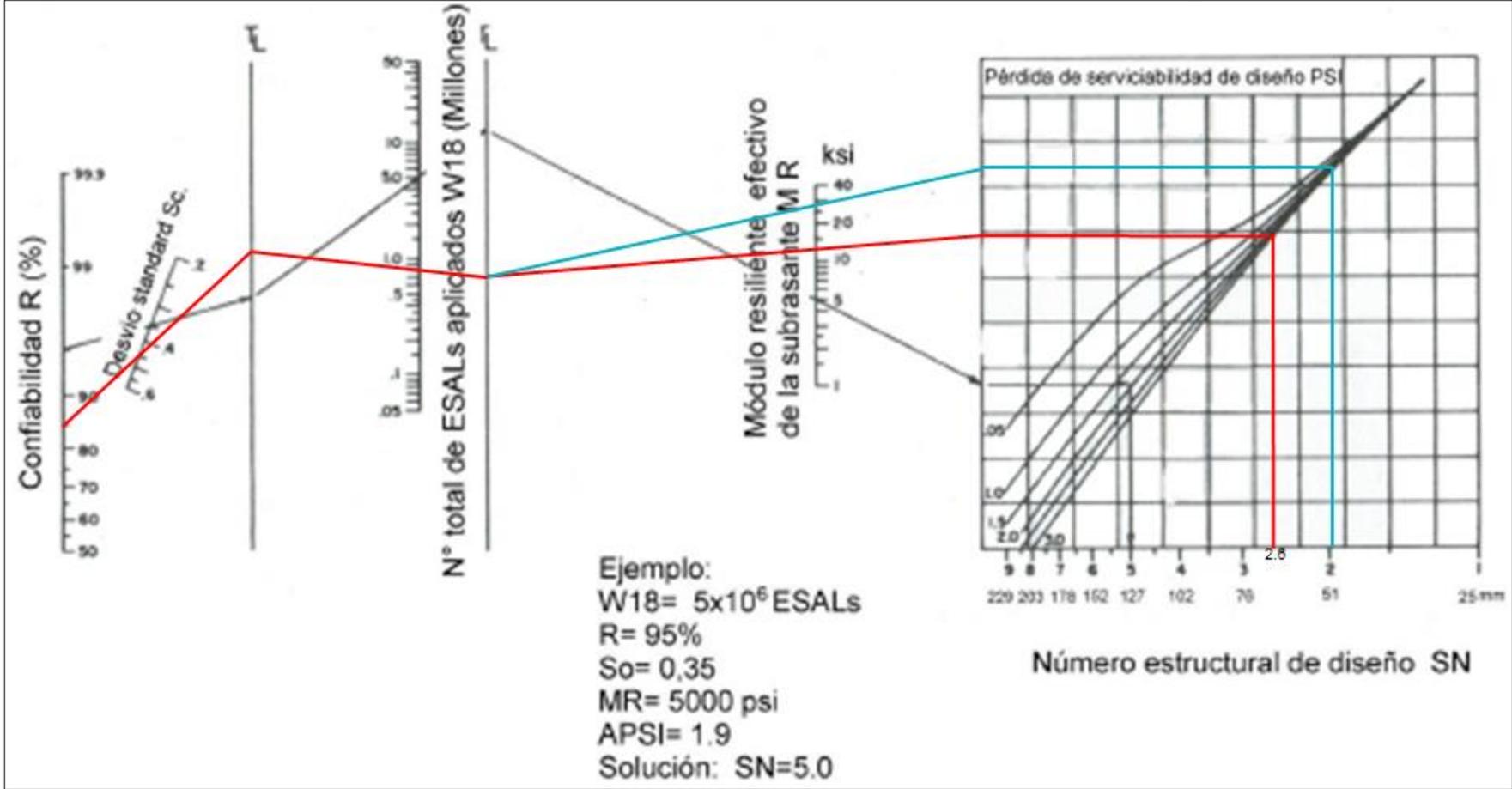
Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos SIECA. Capítulo 3, pag 6.

**Anexo 2. Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Tándem,  $\rho_t = 2$ , SN= 5**

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

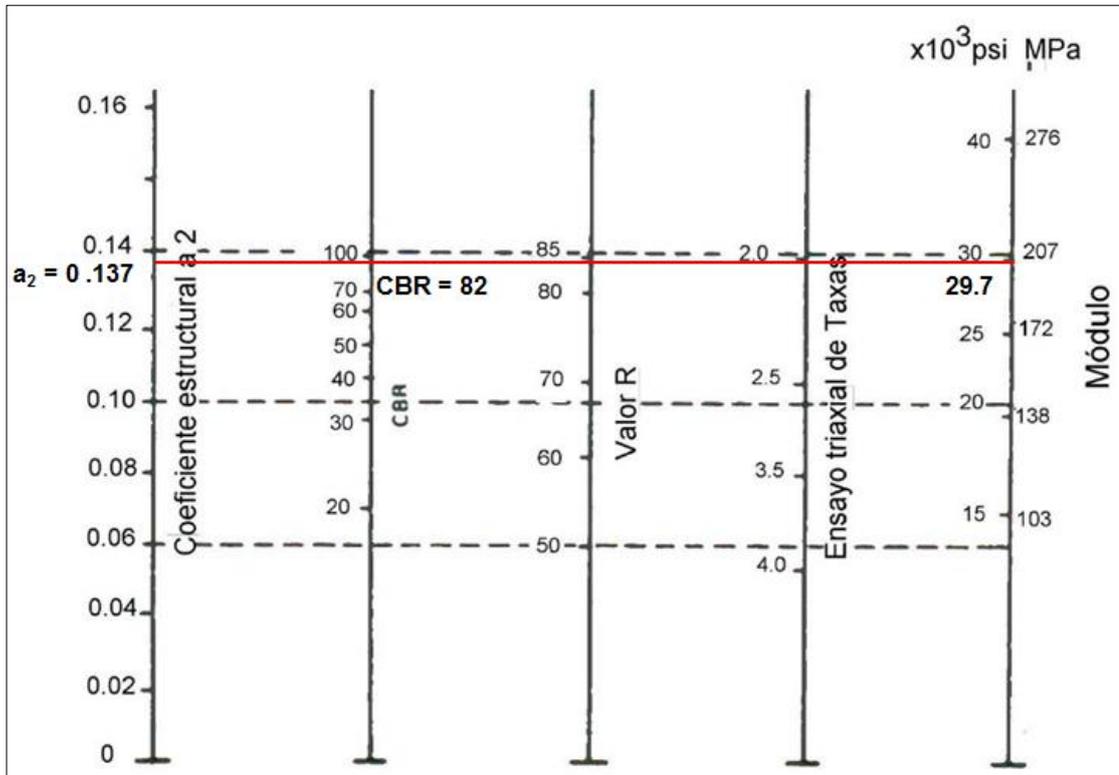
Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos SIECA. Capítulo 3, pag 7.

Anexo 3. Número Estructural SN para Sub-rasante y Base. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles



Fuente: Diseño de pavimento (AASHTO-93), pág. 174.

**Anexo 4. Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Base Granular y distintos Parámetros Resistentes.**



Fuente: Guía de Diseño para Pavimentos. AASHTO 93, Cap. 3, pág. 35.