



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

**“Diseño de estructura de Pavimento Articulado (adoquín) y Valoración Ambiental de 2 km del tramo de carretera Empalme de Tranquera-Caserío Santa Fé, Municipio de San Juan de Limay.”**

**Monografía**

Para optar al título de Ingeniero Civil

**Elaborado por:**

Br. Anielka Mariela Torres Tinoco

Br. Karla Daniela Rodríguez Sánchez

**Tutor**

Msc. Ing. José Fernando Bustamante Arteaga.

Managua, Nicaragua

Noviembre - 2018

## DEDICATORIA

### **Dedico mi esfuerzo:**

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

Br. Anielka Mariela Torres Tinoco.

## **DEDICATORIA**

### **Dedico mi esfuerzo:**

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

**Br. Karla Daniela Rodríguez Sánchez.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero y como más importante agradecemos a Dios por su misericordia y al esfuerzo y dedicación de nuestro tutor de Monografía. Msc. Ing. José Fernando Bustamante Arteaga.

Sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su paciencia y motivación han sido fundamentales para nosotros en cuanto a nuestra formación profesional.

Son muchas las personas que han formado parte de nuestra vida profesional a las que nos encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de nuestras vidas. Algunas están aquí con nosotros y otras en los recuerdos y corazón, sin importar en donde estén queremos darles las gracias por formar parte en nuestra formación profesional, por todo lo que nos brindaron y por todas sus bendiciones.

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio denominado “Diseño de estructura de Pavimento Articulado (adoquín) y Valoración Ambiental de 2 km del tramo de carretera Empalme de Tranquera-Caserío Santa Fé, Municipio de San Juan de Limay”; 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 seis 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 suministrado por la alcaldía de San Juan de Limay en el tramo a adoquinar; donde se analizaron las características físico-mecánicas de los suelos para la determinación de su utilidad en la vía como base sub-base y subrasante que soportarán las cargas a las que serán sometidas e inducidas por la cantidad de ejes equivalentes de diseño, el análisis granulométrico y su respectiva clasificación.

**Capítulo III:** En este capítulo se realizó un aforo vehicular en el cual se presenta el estudio y análisis del tránsito, necesario para determinar el número ESAL'S. 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 0, 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 capítulo comprende el diseño de la estructura de pavimento articulado; de forma manual, 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 resiliencia 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 realizó la evaluación ambiental donde se identificaron los impactos ambientales positivos y negativos que se generan en la construcción de la estructura de pavimento (adoquinado). 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.

**Capítulo VI:** 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.

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

**AASHTO:** Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportación.

**ASTM:** Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (Ing. American Society For Testing and Materials).

**CBR:** California Bearing Ratio.

**CREC:** Crecimiento.

**ESAL:** Ejes de Cargas Estándar Equivalentes.

**FC=** Factor de Crecimiento

**FD=** Factor de Distribución Direccional

**Fc=** Factor Carril

**GC:** Grava arcillosa. Clasificación SUCS de los suelos.

**IMS:** Ingeniería de Materiales y Suelos. Laboratorio de suelos.

**INEC:** Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos.

**INIDE:** Instituto Nacional de Información de Desarrollo.

**MTI:** Ministerio de Transporte e Infraestructura.

**MR=** Módulo resiliente.

**NP:** No Plástico.

**OL:** Limos y arcillas orgánicas. Clasificación SUCS de los suelos.

**PIB:** Producto Interno Bruto.

**PSI:** Libras por pulgada cuadrada.

**SC:** Arena arcillosa. Clasificación SUCS de los suelos.

**SN=** Coeficiente estructural.

**SIECA:** Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos).

**SUCS:** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

**TAC:** Tasa Anual de Crecimiento.

**TPD:** Tránsito Promedio Diario.

**TPDA:** Tránsito Promedio Diario Anual.

**VPD:** Volumen Promedio Diario.

## GLOSARIO

**Adoquín.** Piedra labrada, concreto u otro material en forma de un prisma para uso en pavimentos.

**Adoquinado.** Tipo de pavimento cuya superficie de rodadura está formada por adoquines.

**Aglomerante.** Material capaz de unir partículas de material inerte por efectos físicos o transformaciones químicas o ambas.

**Agregado.** Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

**Arcillas.** Partículas finas con tamaño de grano menor a  $2 \mu\text{m}$  (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales.

**Arena.** Partículas de roca que pasan la malla N° 4 (4,75 mm) y son retenidas por la malla N° 200.

**Asentamiento.** Desplazamiento vertical o hundimiento de cualquier elemento de la vía.

**Banco de materiales.** Material que se encuentra en depósitos naturales y usualmente mezclado en mayor o menor cantidad con material fino (arenas, arcillas) que da lugar a bancos de gravas arcillosas, gravas arenosas.

**Base.** Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub-base o de la sub-rasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.

**Berma.** Franja longitudinal, paralela y adyacente a la superficie de rodadura de la carretera, que sirve de confinamiento de la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para estacionamiento de vehículos en caso de emergencia.

**Bombeo.** Inclinación transversal que se construye en las zonas en tangente a cada lado del eje de la plataforma de una carretera con la finalidad de facilitar el drenaje lateral de la vía.

**Calicata.** Excavación superficial que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas.

**Carretera.** Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes e Infraestructura.

**Carretera no pavimentada.** Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

**Carretera pavimentada.** Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por mezcla bituminosa (flexible), de concreto Portland (rígida) o de adoquín (semiflexible).

**Carril.** Parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito.

**CBR (California Bearing Ratio).** Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

**Cemento portland.** Es un producto obtenido por la pulverización del Clinker portland con la adición eventual de yeso natural.

**Cimentación.** Parte de una estructura que transmite cargas al terreno de fundación.

**Cohesión.** La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal.

**Compactación.** Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos de cemento Portland.

**Concreto.** Mezcla de material aglomerante y agregados fino y grueso. En algunos casos se agrega aditivos para proporcionarle cualidades que no poseen y en otros para mejorar los que poseen.

**Corte (directo).** Ensayo según el cual un suelo sometido a una carga normal falla al moverse una sección con respecto a otra.

**Cota:** Altura de un punto sobre un plano horizontal de referencia.

**Derecho de vía.** Faja de terreno de ancho variable dentro del cual se encuentra comprendida la carretera, sus obras complementarias, servicios, áreas previstas

para futuras obras de ensanche o mejoramiento, y zonas de seguridad para el usuario. Su ancho se establece mediante resolución del titular de la autoridad competente respectiva.

**Eje de la carretera.** Línea longitudinal que define el trazado en planta, el mismo que está ubicado en el eje de simetría de la calzada. Para el caso de autopistas y carreteras duales el eje se ubica en el centro del separador central.

**Escorrentía.** Agua de lluvia que discurre por la superficie del terreno.

**Estabilización de suelos.** Mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos.

**Estudio de suelos.** Documento técnico que engloba el conjunto de exploraciones e investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete que tiene por objeto estudiar el comportamiento de los suelos y sus respuestas ante las solicitaciones de carga.

**Fatiga.** Reducción gradual de la resistencia de un material debido a solicitaciones repetidas.

**Fisura.** Fractura fina, de varios orígenes, con un ancho igual o menor a 3 milímetros.

**Flujo de tránsito.** Movimiento de vehículos que se desplazan por una sección dada de una vía, en un tiempo determinado.

**Fraguado.** Proceso de una mezcla de concreto o mortero para alcanzar progresivamente la resistencia de diseño.

**Granulometría.** Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

**Grava.** Agregado grueso, obtenido mediante proceso natural o artificial de los materiales pétreos.

**Impermeabilidad.** Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.

**Inestabilidad.** Pérdida de resistencia a las fuerzas que tienden a ocasionar movimiento o distorsión de una estructura del pavimento.

**Intersección.** Caso en que dos o más vías se interceptan a nivel o desnivel.

**Junta.** Separación establecida entre dos partes contiguas de una obra, para permitir su expansión o retracción por causa de las temperaturas ambientes.

**Límite líquido.** Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

**Límite plástico.** Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semisólido.

**Limos.** Partículas de roca o minerales cuyas dimensiones están entre 0,02 y 0,002 mm.

**Malla.** Abertura cuadrada de un tamiz.

**Módulo resiliente (Suelos).** Esfuerzo repetido axial de desviación de magnitud, duración y frecuencias fijas, aplicado a un espécimen de prueba apropiadamente preparado y acondicionado.

**Mortero.** Conglomerado o masa constituida por arena, conglomerante (bituminoso o cemento portland), agua y puede contener aditivos.

**Muestreo.** Investigación de suelos, materiales, asfalto, agua etc., con la finalidad de definir sus características y/o establecer su mejor empleo y utilización.

**Paso de peatones.** Zona transversal al eje de una vía, destinada al cruce de peatones mediante regulación de la prioridad de paso.

**Pavimento.** Estructura construida sobre la sub-rasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: sub-base, base y rodadura.

**Pavimento flexible.** Constituido con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivo.

**Pavimento rígido.** Constituido por cemento Portland como aglomerante, agregado y de ser el caso aditivo.

**Peralte.** Inclinación transversal de la carretera en los tramos de curva, destinada a contrarrestar la fuerza centrífuga del vehículo.

**Permeabilidad.** Capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

**Porosidad.** Propiedad de un cuerpo que se caracteriza por la presencia de vacíos en su estructura.

**Rasante.** Nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía.

**Red vial.** Conjunto de carreteras que pertenecen a la misma clasificación funcional (Nacional, Departamental o Regional y Vecinal o Rural)

**Sección transversal.** Representación gráfica de una sección de la carretera en forma transversal al eje y a distancias específicas.

**Socavar.** Erosión de la cimentación de una estructura u otro elemento de la vía por la acción del agua.

**Subbase.** Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base.

**Subrasante.** Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

**Talud.** Inclinação de diseño dada al terreno lateral de la carretera, tanto en zonas de corte como en terraplenes.

**Tamiz.** Aparato, en un laboratorio, usado para separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas.

**Tramo.** Parte continúa de una carretera.

**Tránsito.** Actividad de personas y vehículos que circulan por una vía

**Usuario.** Persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza la vía pública.

**Vehículo.** Cualquier componente del tránsito cuyas ruedas no están confinadas dentro de rieles.

**Vehículo liviano.** Vehículo automotor de peso bruto mayor a 1,5 t hasta 3,5 t.

**Vehículo pesado.** Vehículo automotor de peso bruto mayor a 3,5 t

**Velocidad de diseño.** Máxima velocidad con que se diseña una vía en función a un tipo de vehículo y factores relacionados a: topografía, entorno ambiental, usos de suelos adyacentes, características del tráfico y tipo de pavimento previsto.

**Velocidad de operación.** Máxima velocidad autorizada para la circulación vehicular en un tramo o sector de la carretera.

**Vía.** Camino, arteria o calle.

**Vía urbana.** Arterias o calles conformantes de un centro poblado.

**Vida útil.** Lapso de tiempo previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido.

## ÍNDICE

### 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 Específicos.....	4
1.5 Ubicación y Localización del Proyecto.....	5
1.5.1 Imagen N° 1 Macro Localización.....	5
1.5.2 Imagen N° 1 Micro Localización.....	6
1.6 Clima .....	6

### CAPÍTULO II ESTUDIO DE SUELOS

2.1 Estudio de suelo.....	8
2.2 Suelo .....	8
2.2.1 Meteorización.....	8
2.2.2 Las propiedades Físico - Mecánicas.....	8
2.2.3. Granulometría.....	9
2.3 Trabajo de campo.....	10
2.4 Estudio de laboratorio.....	11
2.5 Resultados obtenidos .....	12
2.5.1. Sondeos manuales.....	12
2.5.2. Estratigrafía de suelo.....	17
2.5.3 Comprobación de Resultados de Ensayos de laboratorio.....	21
2.5.4 Ensayo CBR.....	22

2.6 Bancos de Préstamo.....	24
2.6.1 Comprobación de Granulometría de Banco.....	25
2.6.2 Valoración de Bancos de Préstamo.....	26

### **CAPÍTULO III ESTUDIO DE TRÁNSITO**

3.1 Generalidades .....	29
3.2 Recopilación de Datos.....	29
3.3 Clasificación Vehicular.....	29
3.4 Volumen de Tránsito.....	30
3.4.1 Expansión a 24.0 horas.....	31
3.5 Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS).....	34
3.6 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	34
3.7 Proyección de Tránsito.....	36
3.7.1 Crecimiento Poblacional.....	36
3.7.2 Crecimiento Vehicular.....	37
3.7.3 Producto Interno Bruto (PIB).....	39
3.8 Tránsito de Diseño.....	40
3.8.1. Periodo de Diseño (N).....	40
3.8.2 Factor Direccional (FD).....	41
3.8.3 Factor de Crecimiento (FC).....	41
3.8.4 Factor de Crecimiento Distribución por Carril.....	42
3.8.5 Determinación del Tránsito de Diseño.....	42

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

4.1 Introducción .....	46
------------------------	----

4.2 Criterios del Método AASHTO 93 para cálculo de espesores.....	46
4.3 Variables de Diseño.....	47
4.3.1 Índice de Serviabilidad.....	47
4.3.1.1 Serviabilidad Inicial.....	47
4.3.1.2 Serviabilidad Final.....	47
4.3.2 Perdida de Serviabilidad ( $\Delta$ PSI).....	48
4.3.3 Análisis de Cargas y ejes equivalentes para Diseño de Pavimento.....	48
4.3.4 Confiabilidad (R).....	51
4.3.5 Desviación Estándar (S0).....	52
4.3.6 Coeficiente de Drenaje.....	52
4.3.7 Propiedades de los Materiales.....	53
4.3.7.1 Determinación del CBR de diseño (En suelos).....	53
4.3.7.2 Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar el CBR de Diseño.....	54
4.3.8 Modulo Resiliente (MR).....	56
4.3.9 Coeficientes Estructurales.....	57
4.3.10 Calculo de Espesores de la Estructura de Pavimento Números estructurales (SN).....	58
4.3.11 Cálculo de espesores de capas mediante el programa computarizado: WINPAS 12.....	63

## **CAPÍTULO V EVALUACION AMBIENTAL**

5.1 Introducción .....	65
5.2 Legislación Vigente.....	65
5.3 Descripción del Proyecto.....	67
5.4 Metodología del Análisis Ambiental.....	67
5.5 Evaluación de Emplazamiento.....	68

5.6 Análisis de la calidad ambiental del área de influencia del proyecto .....	70
5.7 Posibles impactos esperados con el proyectos.....	70
5.7.1 Durante la etapa de construcción.....	71
5.7.2 Durante la etapa de funcionamiento.....	71
5.8 Plan de Gestión Ambiental.....	75
5.8.1 Objetivos del PGA.....	76
5.8.2 Responsabilidades.....	76
5.9 Plan de Monitoreo.....	77
5.10 Plan de Contingencia.....	84
5.10.1 Explotación de Bancos de préstamo de Materiales.....	87
5.11 Plantación de árboles.....	90

## **CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1 Conclusiones .....	95
6.2 Recomendaciones .....	96
6.3 Bibliografía.....	97

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla N°. 1. Sondeos Efectuados en el sitio del Proyecto.....	11
Tabla N°. 2. Ensayo de Laboratorios.....	11
Tabla N°. 3. Sondeos efectuados y resultados de ensayo.....	16
Tabla N°. 4. Valores de CBR de los suelos encontrados.....	23
Tabla N°. 5. Características de Banco de Préstamo.....	24
Tabla N°. 6. Granulometría Banco N° 1.....	24
Tabla N°. 7. Granulometría Banco N° 2.....	24
Tabla N°. 8. Compactación Para Bases y Sub Bases.....	26

Tabla N°. 9. Especificación para Base Granulares.....	26
Tabla N°. 10. Cuadro 1003.10 de NIC 2000, Requisitos graduación de agregados para el mejoramiento de la sub rasante.....	27
Tabla N°. 11. Especificación de materiales para la sub-rasante.....	27
Tabla N°. 12. Resultados del Cuento y Clasificación del Tránsito Promedio Diurno (12 .0 horas).....	30
Tabla N°. 13. Factores de Ajustes de la Estación 3806 San Juan de Limay-Paso Hondo.....	32
Tabla N°. 14. Cuento Vehicular expandido a 24.0 Hrs.....	33
Tabla N°. 15. Tabla 15. Tránsito Promedio Diario Semanal .....	34
Tabla N°. 16. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) 2017.....	35
Tabla N°. 17. Tasa de Crecimiento Poblacional (2005-2020)- San Juan de Limay.....	36
Tabla N°. 18. Datos históricos del TPDA.....	37
Tabla N°. 19. Producto interno bruto (PIB).....	39
Tabla N°. 20. Resumen de Tasas de Crecimiento.....	40
Tabla N°. 21. Período de Diseño (N).....	40
Tabla N° 22. Factor de distribución por dirección (FD).....	41
Tabla N°. 23. Factor de distribución por carril (Fc´).....	42
Tabla N°. 24. Tránsito proyectado, para el tramo, Empalme de Tranqueras-Caserío Santa Fé al año 2037.....	43
Tabla N°. 25. Tránsito de Diseño, para el tramo, Empalme de Tranqueras-Caserío Santa Fé.....	44
Tabla N°. 26. Valor de la serviciabilidad final.....	48
Tabla N°. 27. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton).....	51
Tabla N°.28. Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes.....	51
Tabla N°. 29. Desviación estándar para pavimentos flexibles.....	52
Tabla N°. 30. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.....	53
Tabla N°. 31. Límites Para la Selección de Resistencia.....	54
Tabla N°. 32. Cálculo para determinar CBR de Diseño .....	55

Tabla N°. 33 Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para sub rasante....	56
Tabla N°. 34. Espesores mínimos sugeridos por capa .....	60
Tabla N°.35. Resultados del análisis de emplazamiento en el componente Geología-.....	68
Tabla N°. 36. Resultados de la evaluación de emplazamiento en el componente Ecosistema.....	69
Tabla N°. 37. Resultados de la evaluación de emplazamiento en el componente institucional social.....	69
Tabla N°. 38. Análisis de los principales problemas ambientales.....	70
Tabla N°. 39. Principales impactos ambientales que genera el proyecto.....	72
Tabla N°. 40. Principales impactos ambientales que genera el proyecto.....	73
Tabla N°. 41. Medidas de mitigación .....	74
Tabla N°. 42. Medidas de mitigación .....	75
Tabla N° 43. Valoración Ambiental.....	78
Tabla N° 44. Plan de Contingencia.....	85

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°. 1. Estratigrafía del suelo.....	20
Grafico N°. 2. Tránsito Promedio Diario Anual.....	35
Gráfico N°. 3. grafica del CBR de diseño.....	55
Gráfico N°. 4. Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Base Granular y distintos Parámetros Resistentes.....	57
Gráfico N°. 5. Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Sub-Base Granular y distintos Parámetros Resistentes.....	58
Grafico N°. 6. Estructura final de pavimento.....	62

## ÍNDICE DE ANEXOS

### ANEXOS CAPÍTULO I

Anexo N°. 1. Imagen N° 1. Tramo de carretera Empalme de Tranquera – Caserío Santa Fe.....	II
Anexo N°. 2. Imagen N° 2. Tramo de carretera Empalme de Tranquera – Caserío Santa Fe.....	III

## **ANEXOS CAPÍTULO II**

Anexo N°. 1. Clasificación de suelos, según AASHTO.....	V
Anexo N°. 2. Clasificación unificada de suelos, según SUCS.....	VI
Anexo N°. 3. Correlación entre el tipo de material, CBR y K.....	VII
Anexo N°. 4. Resultados de Ensaye de Suelos ASP, Consultores.....	VIII

## **ANEXOS CAPÍTULO III**

Anexo N°. 1. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos.....	XV
Anexo N°. 2. Diagrama de cargas permisibles aplicadas en los puntos de Control.....	XVI
Anexo N°. 3. Diagrama de cargas permisibles.....	XVI

## **ANEXOS CAPÍTULO IV**

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

# **CAPÍTULO I**

## **ASPECTOS GENERALES**

## **1.1 Introducción**

Las carreteras son un fragmento clave en el desarrollo económico y social de cualquier país. El efecto de las carreteras desde el punto de vista de la ordenación del territorio determina el sentido del crecimiento fomentando el desarrollo demográfico y económico. El sistema de transporte genera beneficios de eficacia, efectos de transferencia y efectos de re-localización de actividad, por ello las carreteras inducen cambios en los patrones de distribución de la población y apoyan directamente a las actividades productivas.

El municipio de San Juan de Limay perteneciente al departamento de Estelí ubicado en la Región Central de Nicaragua se localiza a 195 km de la capital Managua y a 45 km de la cabecera departamental (Estelí). Dicho municipio cuenta con una extensión territorial de 530.9 km<sup>2</sup>.

Se localiza en las coordenadas 13°10' de Latitud Norte y 86°36' de Longitud Oeste. Tiene una población de 17, 434 habitantes de la cual 6,230 habitantes pertenecen a la población urbana y 11,204 habitantes a la población rural. La Densidad poblacional es de 32.84 hab/Km.

El sitio en estudio está localizado puntualmente donde termina el adoquinado existente, en el Empalme de Tranquera tomando este sitio como estación inicial (Estación 0+00); dirigiéndose de ahí a la salida este que conduce hacia el municipio de Pueblo Nuevo, específicamente en la entrada del Caserío Santa Fé (Estación 2+000).

El proyecto a realizarse consiste en diseñar la estructura de pavimento con adoquín, que facilite y solvante el transporte de la población y mejore la calidad de vida de los habitantes tanto social como económicamente, por lo tanto, este proyecto se considera una alternativa viable ya que estará beneficiando a todos los habitantes de este municipio.

## **1.2 Antecedentes**

El desarrollo del sistema vial de Nicaragua ha ocupado un lugar preponderante y fundamental en el marco de la economía nacional, el desarrollo de la infraestructura vial en nuestro país tiene sus inicios a principios de 1940, año en que se crea el Departamento de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas, hoy Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). En Nicaragua solo existían 201 Km de carreteras de los cuales solamente 52 Km eran pavimentadas.

En 1860 la comunidad fue creada con el nombre de Villa Limay, donde la única vía terrestre existente entre San Juan de Limay y el Municipio de Pueblo Nuevo era una pequeña trocha, la cual en la temporada de invierno solo era transitada mediante el uso de bestias caballares como medio de transporte.

A medida que la agricultura y la ganadería fueron creciendo la vía de acceso iba tomando importancia y la necesidad de comercializar sus productos y recibir servicios básicos hizo que muchas de ellas se restablecieran como vía de acceso general.

En los últimos años ha venido aumentando la necesidad de carreteras en buen estado en todo tiempo debido a que esta zona perteneciente a la zona rural del Municipio de San Juan de Limay, está sufriendo un crecimiento habitacional acelerado por lo tanto es una necesidad básica poseer carreteras con adecuados diseños de espesores que soporten el tráfico vehicular que por éstas circulan.

### **1.3 Justificación**

Actualmente este tramo cuenta con una superficie de rodamiento que se podría clasificar como un camino de todo tiempo, el cual se encuentra en mal estado por lo que es necesario realizar el diseño de pavimento articulado, esto responderá eficientemente a las cargas producidas por los vehículos que circulan en este lugar.

Cabe mencionar que, ante la ausencia de un adecuado revestimiento de este tramo, los usuarios de esta carretera se ven afectados, ya que la mala condición de la vía genera daños a los vehículos y puede ocasionar accidentes debido a la gran cantidad de baches sobre la vía lo que también causa retrasos y pérdidas económicas.

El proyecto lograría un impacto social económico positivo dentro de su área de influencia el cual beneficiará a la población del municipio, garantizando el acceso permanente a la zona y poblaciones aledañas, teniendo así un sistema de transporte que traiga consigo el desarrollo socioeconómico de la región, así como generar fuentes de trabajo a la población contribuyendo a la disminución del nivel de desempleo durante la ejecución del proyecto, mejoramiento de los niveles de salud y calidad de vida, aumento de la fluidez, mayor confort, disminución del deterioro vehicular, etc.; cumpliendo así con las grandes necesidades que poseen los habitantes de las zonas aledañas al proyecto.

Dicho diseño de pavimento será de adoquín por ser un sistema que tiene ventajas sobre otros materiales; como fácil manejo para su transporte y colocación, no requiere de mano de obra especializada, posee gran resistencia al desgaste lo cual brinda mayor seguridad para los peatones y el tráfico, es de gran durabilidad, mantenimiento y reparaciones de bajo costo.

## **1.4 Objetivos**

### **4.1.1 Objetivo General**

Diseñar la estructura de Pavimento Articulado (adoquín) y Valoración Ambiental de 2 km del tramo de carretera Empalme de Tranquera-Caserío Santa Fé, Municipio de San Juan de Limay.

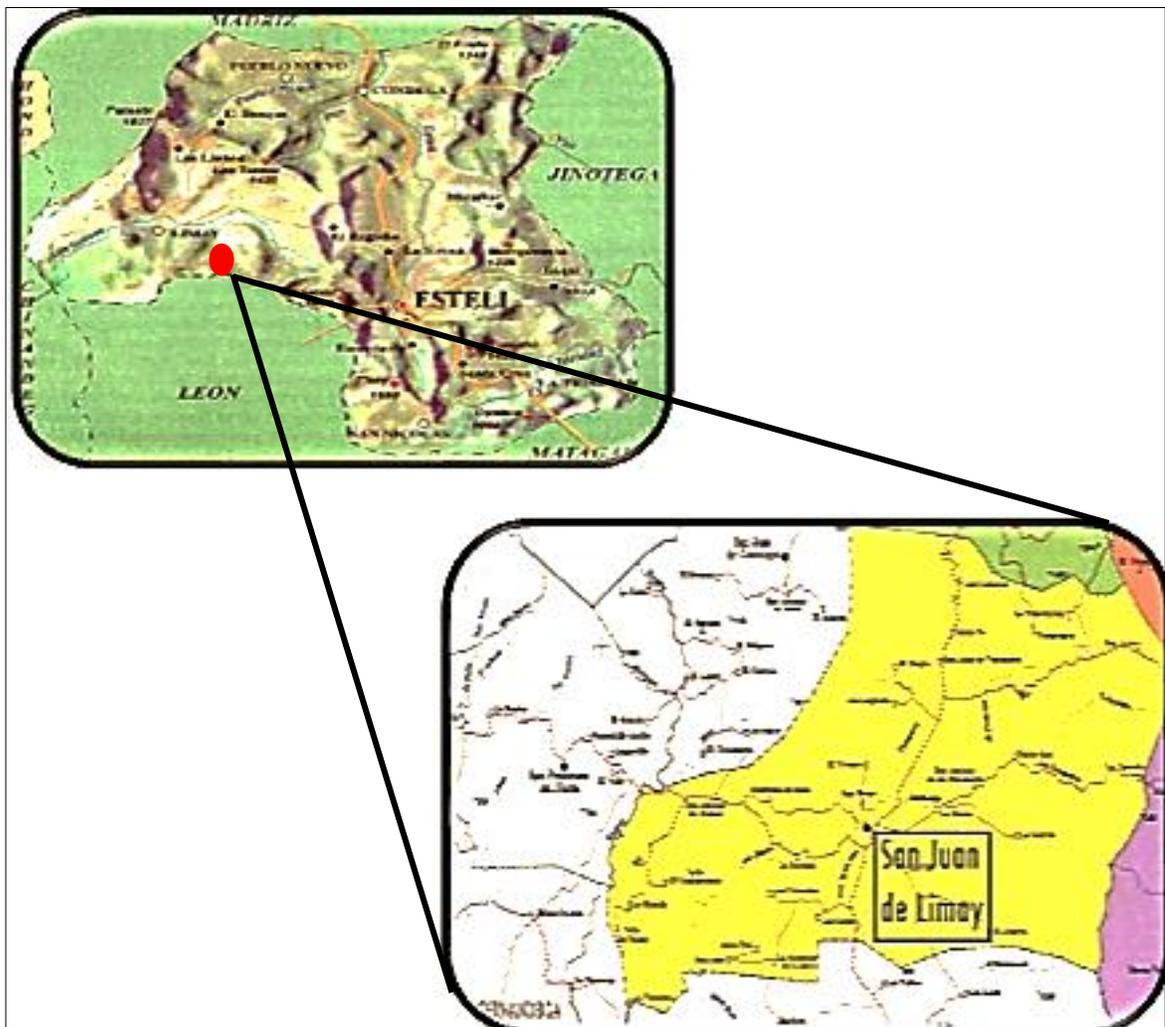
### **4.1.2 Específicos**

- Analizar Estudios de suelos del tramo en estudio y probables bancos de préstamos retomando valores proporcionados por la alcaldía municipal del municipio de San Juan de Limay y realizado por ASP, Consultores para su debida utilización en el diseño.
- Realizar el conteo vehicular con la finalidad de proyectar el TPDA para cuantificar las cargas que circulan sobre dicho tramo.
- Determinar los espesores requeridos para la Estructura de Pavimento, utilizando el método de la AASHTO 93.
- Elaborar una Valoración Ambiental con el fin de establecer los impactos ambientales y sociales generados durante la ejecución del Proyecto.

## 1.5 Ubicación y Localización del Proyecto

El proyecto se realizará en el municipio de San Juan de Limay departamento de Estelí se encuentra localizado puntualmente donde termina el Adoquinado existente, en el empalme de Tranquera tomando dicho tramo como estación inicial (Estación 0+000); dirigiéndose de ahí a la salida este, que conduce hacia el municipio de Pueblo Nuevo específicamente en la entrada del Caserío Santa Fé, (Estación 2+000).

### 1.5.1. Imagen N°. 1 Macro localización



Macro localización Mapa Político de Estelí (Fuente: INTUR)

### 1.5.2. Imagen N°. 2. Micro localización



Micro localización Mapa político de San Juan de Limay (Fuente: Google Earth)

### 1.6 Clima

El clima del Municipio de San Juan de Limay es de sabana tropical seco, con temperaturas que oscilan entre los 24° - 34° C, es de las zonas más áridas del país. Ubicado a 281.34 msnm, topografía quebrada y suelos excesivamente áridos. En su hidrografía cuenta con el Río Negro y el Río Los Quesos.

# **CAPÍTULO II**

## **ESTUDIO DE SUELOS**

## **2.1 Estudio de suelo**

Los estudios de suelos se realizan con el propósito de conocer las diferentes características físicas y mecánicas de estos.

Los métodos más utilizados en Nicaragua para determinar la clasificación de los suelos son: **H.R.B. ASTM D-3282 (AASHTO M-145)**, y **S.U.C.S. ASTM D-2487**. Los resultados obtenidos al practicar los diferentes ensayos son usados para consideraciones de diseño de carreteras (Pavimento).

## **2.2 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).

### **2.2.1 Meteorización**

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

### **2.2.2 Las propiedades Físico-Mecánicas**

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

Estas propiedades de los suelos 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; que posteriormente en el laboratorio permiten determinar: Granulometría, Límite de Atterberg (líquido e índice plástico), Valor Soporte (CBR), Densidad (Proctor) y Humedad.

### 2.2.3 Granulometría

Es importante que el suelo este bien graduado para que al compactarlo, las partículas más finas ocupen los huecos que dejan los áridos de mayor tamaño, reduciendo de esta forma el número de huecos y alcanzando una mayor estabilidad y capacidad portante.

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 (Proctor), Humedad.

La clasificación que mejor se adapta para reflejar las propiedades de un suelo como subrasante es la de la AASHTO<sup>1</sup>.

Un suelo conforme a su granulometría se clasifica así:

- Grava: de un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2 mm)
- 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 N0. 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.

---

<sup>1</sup> Diseño de Pavimentos (AASHTO-93). Página 61.

En este capítulo se plasman los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en el estudio de suelo del proyecto **“Diseño de Estructura de Pavimento Articulado (Adoquín) y Valoración ambiental de 2 km del tramo de carretera Empalme de Tranquera-Caserío Santa Fé, Municipio de San Juan de Limay”**. Dicho estudio se analizó con el propósito de obtener las características principales del sub-suelo, para realizar el diseño de la estructura de pavimento requerida.

### **2.3 Trabajo de campo**

Con el propósito de conocer las condiciones y características del sub-suelo, a lo largo del tramo en estudio, se procedió a la ejecución de 9 (nueve), sondeos manuales de los cuales se tomaron 13 (trece ) muestras representativas de las diferentes capas de materiales encontradas, distribuidos a una distancia aproximada de 250 metros, con una profundidad máxima de 1 metro, los que se distribuyeron de forma racional en todo el tramo en estudio, ubicándose de manera alterna a la izquierda y derecha del eje central, cabe mencionar que este estudio de suelos fue realizado por el laboratorio de materiales y suelos. ASP, Consultores.

Se hizo un recorrido en los alrededores del proyecto, con la finalidad de identificar y muestrear una posible fuente de material, que pueda suplir al proyecto de material de base y sub-base de adecuada calidad. Las muestras obtenidas en el campo, se examinaron y clasificaron In Situ por el personal de campo, tomándose muestra correspondiente a cada estrato, las cuales se trasladaron al laboratorio para realizarle los ensayos básicos necesarios.

**Tabla N° 1. Sondeos Efectuados en el sitio del Proyecto**

Sondeos	Estación
<b>Sm1</b>	0+000
<b>Sm2</b>	0+250
<b>Sm3</b>	0+500
<b>Sm4</b>	0+750
<b>Sm5</b>	1+000
<b>Sm6</b>	1+250
<b>Sm7</b>	1+500
<b>Sm8</b>	1+750
<b>Sm9</b>	2+000

Fuente: Estudio de suelo ASP, Consultores.

## 2.4 Estudio de laboratorio

Las muestras obtenidas en el campo se reagruparon en el laboratorio para realizarle los ensayos básicos necesarios, para tal efecto se utilizaron los procedimientos establecidos por las **Normas de la A.S.T.M.** (Asociación Internacional para la Prueba de Materiales), las que se mencionan a continuación:

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

Tipo de Ensayo	Designación A.A.S.H.T.O
<b>Análisis granulométrico de los suelos</b>	T 311-00 (2004), T11-05
<b>Clasificación Unificada</b>	D 2487-85
<b>Clasificación AASHTO</b>	M 145-91 (2004)
<b>Límite líquido de los suelos %</b>	T 89 – 02
<b>Límite Plástico de los suelos %</b>	T 90 – 00 (2004)
<b>Índice de plasticidad de los suelos %</b>	T 90 – 00 (2004)
<b>Ensayo Proctor Estándar (*)</b>	T 180 – 01 (2004)
<b>Densidad Máxima Kg/m<sup>3</sup></b>	T 99 ó T 180
<b>Humedad Óptima (%)</b>	T 265-93 (2004)
<b>Ensayo C.B.R. (%)</b>	T 193 – 99 (2003)

Fuente: Estudio de suelo ASP, Consultores

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

Los suelos en estudio se clasificaron por el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO** (Asociación Americana de Carreteras) en su designación **M 145 87**.

## **2.5 Resultados obtenidos**

### **2.5.1 Sondeos manuales**

En base a los reportes técnicos de campo y los resultados de laboratorio, se puede afirmar que en todo el tramo en estudio predominan los tipos de suelo siguientes:

#### **Estación 0 + 000.80**

- La primera capa de la vía está conformada por materiales granulares. En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), este material se clasifica del tipo **SM**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-2-4**, con índice de grupo de cero. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se caracteriza de bueno, para ser utilizado como material de estructuras de pavimento.

- En la segunda capa se encuentra un material fino, el cual está constituido por limo inorgánico, de color café. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **CL**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-7-5**, con índice de grupo de 20. Este material es de baja compresibilidad y de baja plasticidad.

#### **Estación 0 + 250.00**

- En este sondeo se encuentran materiales granulares, los que están constituidos por gravas limosas, de color café. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **GM**.

- En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-2-5**, con índice de grupo de cero. La fracción fina que contiene este material es de alta compresibilidad y de alta plasticidad.

#### **Estación 0 + 500.00**

- En este sondeo se encuentran materiales plásticos, los cuales están constituidos por limos arcillosos, de color gris oscuro (negro). En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), este material se clasifica del tipo **CL**. En base al sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-7-5**, con índice de grupo de 10. La compresibilidad de este material es alta y su plasticidad es alta. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se caracteriza de malo, para ser utilizado en estructuras de pavimento.

#### **Estación 0 + 750.00**

- En este sondeo se encuentran materiales granulares, los que están constituidos por gravas limosas, de color café. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **SM**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-2-7**, con índice de grupo de cero. La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de media plasticidad.

#### **Estación 1 + 000.00**

- En este sondeo se encuentran materiales granulares, los que están constituidos por gravas limosas, de color café. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **GM**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-2-5**, con índice de grupo de (0). La fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y de media plasticidad.

### **Estación 1 + 250.00**

- En la primera capa se encuentra un material fino, el cual está constituido por limo inorgánico, de color café. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **ML**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-5**, con índice de grupo de (1).

- En la segunda capa se encuentran materiales plásticos, los cuales están constituidos por limos arcillosos, de color gris oscuro (negro). En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), este material se clasifica del tipo **CL**. En base al sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-7-5**, con índice de grupo de (7). La compresibilidad de este material es alta y su plasticidad es alta. Según el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, este material se caracteriza de malo, para ser utilizado en estructuras de pavimento.

### **Estación 1 + 500.00**

- En la primera capa se encuentran materiales plásticos, los cuales están constituidos por limos arcillosos, de color gris oscuro (negro). En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), este material se clasifica del tipo **CL**. En base al sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-7-5**, con índice de grupo de (4). La compresibilidad de este material es alta y su plasticidad es alta.

- En la segunda capa se encuentran materiales plásticos, los cuales están constituidos por limos arcillosos, de color gris oscuro (negro). En el sistema unificado de clasificación de suelos (**SUCS**), este material se clasifica del tipo **CL**. En base al sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, se clasifica del tipo **A-7-5**, con índice de grupo de (15). La compresibilidad de este material es alta y su plasticidad es alta.

### **Estación 1 + 750.00**

- En la primera capa se encuentra un material fino, el cual está constituido por limo inorgánico, de color café. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **ML**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-4**, con índice de grupo de (1).

- En la segunda capa se encuentra un material fino, el cual está constituido por limo inorgánico, de color café oscuro. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **ML**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-5**, con índice de grupo de (9).

### **Estación 2 + 000.00**

- En este sondeo se encuentran materiales finos, los cuales están conformados por limos arcillosos, de color café. Según el sistema unificado de clasificación de suelos, **SUCS**, este material se clasifica del tipo **CL**. En el sistema de clasificación de suelos de la **AASHTO**, corresponde a la clasificación del tipo **A-7-5**, con índice de grupo (7). Este material es de baja compresibilidad y de alta plasticidad.

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

Sondeo	Estacion	Profundidad (m)	Muestra No.	% que pasa por Tamiz											Limite Liquido %	Limite Plastico %	Indice de Plasticidad					
				3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No.4	No.10	No.40				No.200	AASHTO	S.U.C.S		
Sm-1	0+000	0.00 A 0.30	1		100	93.34	86.7	80.34	75.91	71.47	61.40	53.40	46.10	35.00	26.40	40.40	30.70	9.70	A-2-4 (0)	SM		
		0.30 A 1.00	2								96.50	94.00	90.20	83.90	77.40	61.67	32.02	29.65	A-7-5 (20)	CL		
Sm-2	0+250	0.00 A 1.00	1	100	96.4	92.2	84.6	76.40	57.90	47.60	29.80	18.60	12.40	5.90	2.40	59.30	50.10	9.30	A-2-5 (0)	GM		
Sm-3	0+500	0.00 A 1.00	1								89.50	80.30	72.30	62.10	51.20	57.70	34.20	23.50	A-7-5 (10)	CL		
Sm-4	0+750	0.00 A 1.00	1				100	96.90	95.60	93.10	80.70	62.90	49.10	33.20	25.00	50.74	39.00	11.74	A-2-7 (0)	SM		
Sm-5	1+000	0.00 A 1.00	1												99.10	82.10	28.10	52.80	45.60	7.17	A-2-5 (0)	GM
Sm6	1+250	0.00 A 0.45	1				93.45	91.02	86.5	84.42	79.00	72.40	64.30	53.50	40.10	52.80	43.22	9.58	A-5 (1)	ML		
		0.45 A 1.00	2			100	98.11	94.61	90.85	87.84	80.30	74.00	67.30	57.50	46.20	66.10	44.72	21.38	A-7-5 (7)	CL		
Sm-7	1+500	0.00 A 0.55	1		100	94.39	87.58	82.28	77.18	74.95	68.60	64.80	59.90	54.00	43.30	53.50	36.89	16.61	A-7-5 (4)	CL		
		0.55 A 1.00	2								99.20	98.70	97.90	93.70	80.00	53.20	33.30	19.90	A-7-5 (15)	CL		
Sm-8	1+750	0.00 A 0.15	1		100	96.8	88.7	83.2	77.2	73.7	68.90	64.50	60.10	50.90	38.70	39.00	29.00	10.00	A-4 (1)	ML		
		0.15 A 1.00	2							100	95.20	92.80	90.60	86.30	68.70	54.00	45.00	9.00	A-5 (9)	ML		
Sm-9	2+000	0.00 A 1.00	1									98.50	95.00	76.90	52.40	54.20	39.00	15.20	A-7-5 (7)	CL		

Fuente: Estudio de suelo ASP, Consultores

## 2.5.2 Estratigrafía del suelo

La secuencia estratigráfica del sitio en estudio se describe, considerándose desde la superficie hasta la profundidad investigada, la que se presenta a continuación:

### Sondeo Sm – 1

- En el estrato superior; en el Sm - 1, desde la superficie, hasta la profundidad de 0.30 metros se observa un material granular, correspondiente a una grava limosa, que se clasifica del tipo **SM (A-2-4)**, cuya fracción fina es de nula plasticidad y se clasifica de excelente a bueno, para ser utilizado como base en la estructura de pavimento.
- Subyace al estrato anterior, hasta la profundidad investigada 1 metro, un material fino (limo inorgánico de color café), que se clasifica del tipo **CL (A-7-5)**, de alta plasticidad, este es un material regular o malo para ser utilizado como base.

### Sondeo Sm – 2

- En el estrato superior; en el Sm - 2, desde la superficie, hasta la profundidad investigada de 1 metro se observa materiales granulares, los que están constituidos por gravas limosas, de color café, que se clasifica del tipo **GM (A-2-5)**, cuya fracción fina es de baja compresibilidad y media plasticidad.

### Sondeo Sm – 3

- En el estrato superior; en el Sm - 3, desde la superficie, hasta la profundidad investigada de 1 metro se observa suelos plásticos, los cuales están constituidos por limos arcillosos, de color gris oscuro (negro), que se clasifica del tipo **CL (A-7-5)**, cuya fracción fina es de alta compresibilidad y alta plasticidad.

#### **Sondeo Sm – 4**

- En el estrato superior; en el Sm - 4, desde la superficie, hasta la profundidad investigada de 1 metro se observa materiales constituidos por gravas limosas, de color café, que se clasifica del tipo **SM (A-2-7)**, cuya fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y media plasticidad.

#### **Sondeo Sm – 5**

- En el estrato superior; en el Sm - 5, desde la superficie, hasta la profundidad investigada de 1 metro se observa materiales constituidos por gravas limosas, de color café, que se clasifica del tipo **SM (A-2-5)**, cuya fracción fina que contiene este material es de baja compresibilidad y media plasticidad.

#### **Sondeo Sm – 6**

- En el estrato superior; en el Sm - 6, desde la superficie, hasta la profundidad investigada de 0.45 metro se observa un material fino, el cual está constituido por limo inorgánico, de color café, que se clasifica del tipo **ML (A-5)**.
- Subyace al estrato anterior, hasta la profundidad investigada 1 metro, un material fino (limo inorgánico de color café), que se clasifica del tipo **CL (A-7-5)**, de alta plasticidad, este es un material regular o malo para ser utilizado como base.

#### **Sondeo Sm – 7**

- En el estrato superior; en el Sm - 7, desde la superficie, hasta la profundidad investigada de 0.55 metro se observan materiales plásticos, los cuales están constituidos por limos arcillosos, de color gris oscuro (negro), que se clasifica del tipo **CL (A-7-5)**. Material de alta compresibilidad y alta plasticidad.
- Subyace al estrato anterior, hasta la profundidad investigada 1 metro, un material fino (limo inorgánico de color café), que se clasifica del tipo **CL (A-7-5)**, de alta plasticidad, este es un material regular o malo para ser utilizado como base.

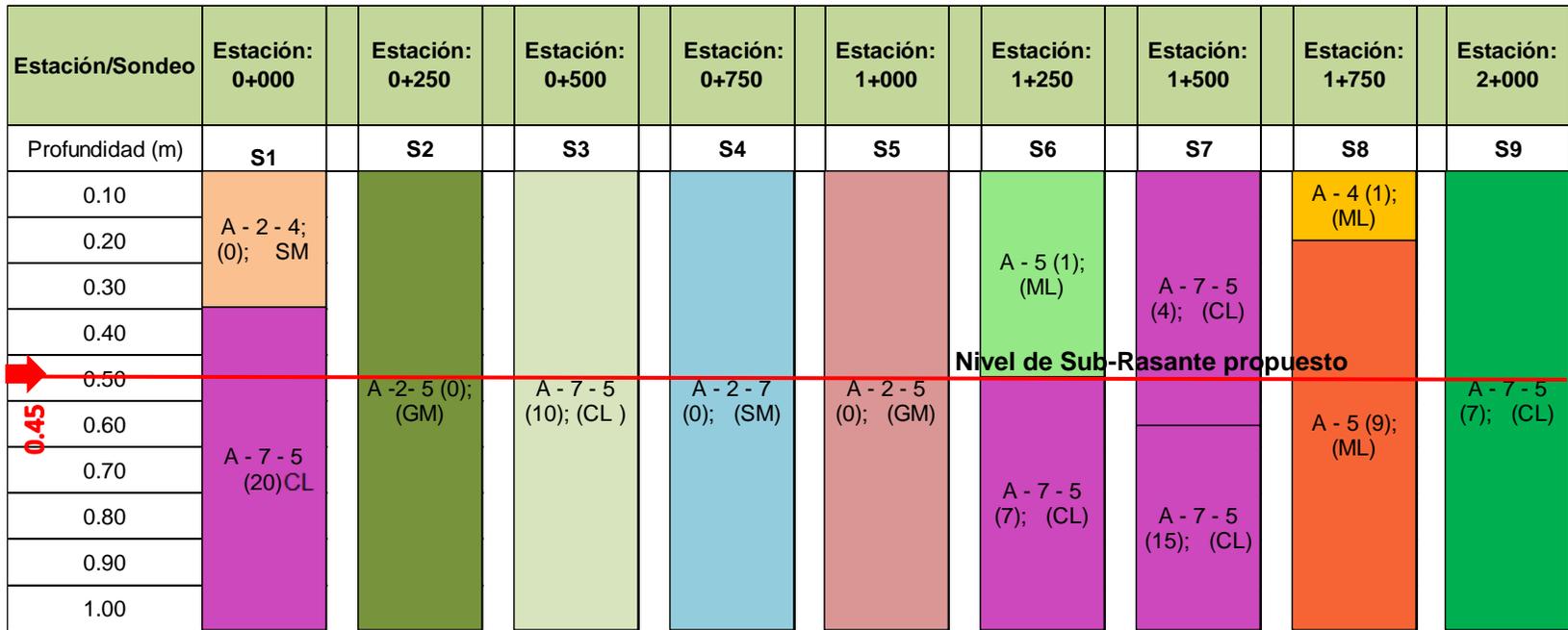
### **Sondeo Sm – 8**

- En el estrato superior; en el Sm - 8, desde la superficie, hasta la profundidad investigada de 0.15 metro se observan un material fino, el cual está constituido por limo inorgánico, de color café, que se clasifica del tipo **ML (A-4)**.
- Subyace al estrato anterior, hasta la profundidad investigada 1 metro, se observa un material fino, el cual está constituido por limo inorgánico, de color café oscuro, que se clasifica del tipo **ML (A-5)**.

### **Sondeo Sm – 9**

- En el estrato superior; en el Sm - 9, desde la superficie, hasta la profundidad investigada de 1 metro se observan materiales finos, los cuales están conformados por limos arcillosos, de color café, que se clasifica del tipo **CL (A-7-5)**. Este material es de baja compresibilidad y de alta plasticidad.

**Gráfico N°. 1. Estratigrafía del suelo**



Fuente: Estudio de suelo ASP, Consultores

### 2.5.3 Comprobación de Resultados de Ensayos de laboratorio

Se realizó la comprobación de los resultados del estudio de suelo proporcionados por la alcaldía municipal de San Juan de Limay (Ver Imagen N°. 3 y N°. 4. Página.21). Dicha comprobación se ejecutó a través del Software del Sistema de Clasificación de la AASHTO, como se muestra en el siguiente ejemplo:

**Imagen N°. 3. Comprobación de Resultados Sm- 1, Muestra 2**

Sistema de Clasificación AASHTO

Pasa malla N° 10: 90.20  
Pasa malla N° 40: 83.90  
Pasa malla N° 200: 77.40

LL:  .....  Otro valor: 61.67

IP:  NP  Otro valor: 29.65

$IG = 0.2(40) + 0.005(40)(20) + 0.01(40)(19.65)$   
 $IG = 20$

**Tipo de Suelo A-7-5(20)**

Elaborado Por: Drewell Cruz Garcia

Buttons: Ok, Limpiar

Fuente: Software del Sistema de Clasificación de la AASHTO.

**Imagen N°. 4. Comprobación de Resultados Sm- 2, Muestra 1**

Sistema de Clasificación AASHTO

Pasa malla N° 10: 12.40  
Pasa malla N° 40: 5.90  
Pasa malla N° 200: 2.40

LL:  .....  Otro valor: 59.30

IP:  NP  Otro valor: 9.30

$IG = 0.2(0) + 0.005(0)(19.3) + 0.01(0)(0)$   
 $IG = 0$

**Tipo de Suelo A-2-5(0)**

Elaborado Por: Drewell Cruz Garcia

Buttons: Ok, Limpiar

Fuente: Software del Sistema de Clasificación de la AASHTO.

En el Gráfico N°. 1. Página 20, se observa que a partir de la estación inicial 0+000 hasta la estación 1+000 que predominan materiales tipo limo-arcilloso A-7-5, seguidos de suelos granulares tipo A-2-5. En las estaciones 1+250, 1+500, 1+750 y 2+000 en su mayoría prevalecen suelos limos-arcillosos A-7-5 que van de regular a mala calidad siendo estos no aptos para Sub-rasante, debido a que los suelos encontrados en su mayoría no son aptos para la construcción se propone realizar un corte de 45 cm bajo el nivel natural del suelo.

#### **2.5.4 Ensayo CBR**

Los valores de CBR, fueron determinados por el laboratorio que realizó el estudio de suelos ASP, Consultores (ver tabla N° 4. Página 24).

**Tabla N° 4. Valores de CBR de los suelos encontrados**

Estación	N°	Profundidad		Densidad Seca Máxima (Kg/m³)	Humedad Óptima	Clasif.  AASHTO	% CBR Saturado 4 días		
		(cm)		P. Estándar	(%)		Compactado al		
	De	A	90			95	100		
0+000	1	0	30	167.44	19.30	<b>A-2-4(0)</b>	5	7.9	10.8
	2	30	100	1,310	33.70	<b>A-7-5(20)</b>		7	12
0+250	1	0	100	1,771	10.20	<b>A-2-5(0)</b>	0	14.7	30.8
0+500	1	0	100	1,524.83	22.70	<b>A-7-5(10)</b>	3.9	5.1	6.2
0+750	1	0	100	1,402	27.20	<b>A-2-7(0)</b>	2.7	6	9.2
1+000	1	0	100	1,169	40.90	<b>A-2-5(0)</b>	2.2	5.9	9.6
1+250	1	0	45	1,527	22.50	<b>A-5(1)</b>	1.8	5.2	8.5
	2	45	100	1,360	27.18	<b>A-7-5(7)</b>		7	7.5
1+500	1	0	55	1,554	19.70	<b>A-7-5(4)</b>	4.4	6.9	9.4
	2	55	100	1,382	28.70	<b>A-7-5(15)</b>		6.7	10.3
1+750	1	0	15	1,621	20.10	<b>A-4(1)</b>	6.1	9.9	13.7
	2	15	100	1,366	29.50	<b>A-5(9)</b>		6	8
2+000	1	0	100	1,396	30.10	<b>A-7-5(7)</b>	6.7	9.6	12.5

Fuente: Estudio de suelo ASP, Consultores.

## 2.6 Bancos de Préstamo

Se realizó el análisis de dos Bancos de Préstamos, los cuales presentan las siguientes características:

**Tabla N° 5. Características de Banco de Préstamo**

No.	Banco	Ubicación	Uso probable del material	Clasificación AASHTO	V.E(m3)	IP (%)	CBR (%)	
							95	100
1	2+900	50 m izquierda	Material Selecto	A-2-4 (0) Grava limosa	10,000	8	56	76
2	5+300	50 m derecha	Material Selecto	A-2-4 (0) Grava limosa	15,000	10	55	75

Fuente: Estudio de suelo ASP, Consultores.

**Tabla N° 6. Granulometría Banco N° 1**

Banco Uriel Morales											Limite Liquido %	Limite Plástico %	Índice de Plasticidad	AASHTO	S.U.C.S
	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200					
2+900		92.00	86.00	74.00	65.00	46.00	33.00	26.00	19.00	13.00	34.00	26.00	8.00	A-2-4 (0)	GM

Fuente: Estudio de suelo ASP, Consultores.

**Tabla N° 7. Granulometría Banco N° 2**

Banco Wilfredo Castillo											Limite Liquido %	Limite Plástico %	Índice de Plasticidad	AASHTO	S.U.C.S
	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200					
5+300		92.19	89.29	72.48	67.53	39.19	30.00	26.30	22.30	11.50	29.00	19.00	10.00	A-2-4 (0)	GM

Fuente: Estudio de suelo ASP, Consultores.

En las tablas N°.6 y N°.7, página 25, se presenta el resumen de la Granulometría de las fuentes de préstamos muestreadas para este estudio. Banco N° 1 Uriel Morales en la estación 2+900 localizado a banda izquierda y Banco N° 2 Wilfredo Castillo en la estación 5+300 ubicado a banda derecha.

### 2.6.1 Comprobación de Granulometría de Banco

Se Comprobaron los resultados granulométricos de los bancos a través del Software del Sistema de Clasificación de la AASHTO, como se muestra a continuación:

**Imagen N°. 5. Comprobación de Resultados Banco N°1**

Fuente: Software del Sistema de Clasificación de la AASHTO.

**Imagen N°. 6. Comprobación de Resultados Banco N°2**

Fuente: Software del Sistema de Clasificación de la AASHTO.

## 2.6.2 Valoración de Bancos de Préstamo

Para la valoración adoptaremos la nueva modificación del porcentaje de Compactación para bases y sub-bases, (ver tabla. 8, página 27), haciendo referencia al Manual de Capacitación “DESARROLLO DE CAPACIDAD ADAPTATIVA PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR TRANSPORTE.

**Tabla N° 8. Compactación Para Bases y Sub Bases**

Compactación	Proctor Modificado % (Anterior)	Proctor Modificado % (Actual)
Sub rasante	95	 97
Base	95	 98
En Grandes Reparaciones 100 %		

Fuente: “Desarrollo de capacidad adaptativa para el cambio climático en el sector transporte, Pág. 147.

Posteriormente se valoraron las características de estas muestras según los requisitos que debe cumplir un material para bases y Sub-rasante granular.

**Tabla N° 9. Especificación para Base Granulares**

Prueba	Requerimiento mínimo Nic-2000	Banco de Préstamo Wilfredo Castillo	Valoración
			<b>Banco # 2</b>
Graduación	Cuadro 1003.10	Cumple	Cumple
Índice de Plasticidad	Max 10 % Máx. 10%	10	Cumple
CBR al 100 % de AASHTO modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación	Min. 80%	75	-

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

**Tabla N° 10. Cuadro 1003.10 de NIC 2000, Requisitos graduación de agregados para el mejoramiento de la sub rasante.**

Designación de tamiz (mm)	% que pasa por los tamices		Valoración
	NIC-2000	Banco Préstamo Wilfredo Castillo	
75	100	100	Cumple
4.75	30-70	30	Cumple
0.075	0-15	11.50	Cumple

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

**Tabla N° 11. Especificación de materiales para la sub-rasante**

N°	Propiedad	Terraplenes	Capa Sub-rasante	Valoración
				Wilfredo Castillo
1	% de malla No. 200	40 % máx.	30% máx.	<b>Cumple</b>
2	Límite Líquido	40 % máx.	30% máx.	<b>Cumple</b>
3	Índice Plástico	15% máx.	10% máx.	<b>Cumple</b>
4	CBR	10% min	20% min.	<b>Cumple</b>

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

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis, se considerará utilizar como fuente de materiales para capa de base y sub rasante el Banco N°2 Wilfredo Castillo, clasificándose como un material A-2-4 con índice de grupo (0) e índice de plasticidad de 10 %, debido a que su granulometría se ajusta a lo establecido en la sección II del Artículo-1003.23 de la NIC-2000.

..

## **CAPÍTULO III**

# **ESTUDIO DE TRÁNSITO**

### **3.1 Generalidades**

La Ingeniería de tráfico es una rama de la ingeniería de transporte (a su vez rama de la ingeniería civil) que trata sobre la planificación, diseño y operación de tráfico en las calles, carreteras y autopistas consiguiendo una movilidad segura, eficiente y conveniente tanto de personas como de mercancías.

En este capítulo se reflejan los resultados obtenidos de un aforo vehicular de la vía en estudio, cuyos datos se proyectaron para obtener el Tráfico promedio Diario Anual (**TPDA**), así como los factores de ajuste estacional, el número promedio de ejes y otros parámetros, estos serán obtenidos de los datos de campo y de los cálculos de gabinete.

### **3.2 Recopilación de Datos**

La estación de Conteo Vehicular está ubicada en una zona con adecuada visibilidad y con amplitud en los hombros a 50 m del Empalme de Tranqueras (0+000) hacia el Caserío Santa Fé carretera Pueblo Nuevo logrando captar el tráfico.

Se realizó un aforo de siete días de duración, iniciando con esta actividad a partir del día lunes 06 de marzo y concluyendo el día domingo 12 de marzo, durante 12.00 horas continuas entre las 06:00 horas y las 18:00 horas.

### **3.3 Clasificación Vehicular**

Para la clasificación de los vehículos el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) ha designado cuatro categorías (Ver Anexo N° 1 Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos, Pág. XVIII.)

### 3.4 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 Articulado. Dicho estudio consiste en la determinación de las cantidades, características del tránsito y tipo de vehículos.

El volumen de tránsito que circula por la vía se determinó a través de aforos.

Los resultados de los conteos y clasificación vehicular del tramo **Empalme de Tranqueras-Caserío Santa Fé, municipio de San Juan de Limay**, se presentan a continuación:

**Tabla 12. Resultados del Conteo y Clasificación del Tránsito Promedio Diurno (12 .0 horas)**

Dia	Bic	Motos	V.Liviamos			V.P	V.Carga		Otros	Total
			Autos	jeep	Cmta	Bus	LivC2	C2		
Lunes	42	61	0	2	12	2	3	2	0	124
Martes	24	48	0	3	8	2	4	1	0	90
Miercoles	22	48	0	1	13	2	2	2	1	91
Jueves	43	54	0	5	12	2	0	2	0	118
Viernes	32	63	0	5	11	2	5	2	1	121
Sabado	33	57	0	2	10	2	3	2	1	110
Domingo	28	55	0	4	8	2	3	2	1	103
<b>Total</b>	<b>224</b>	<b>386</b>	<b>0</b>	<b>22</b>	<b>74</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>757</b>
% Por Tipo de Veh	<b>30</b>	<b>51</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración Propia

### **3.4.1. Expansión a 24.0 horas**

Los volúmenes de tránsito diario de doce horas se expandieron a veinticuatro horas, haciendo uso del Factor de expansión día, de la **Estación N° 3806 San Juan de Limay Paso-Hondo**, debido a que es la estación de conteo permanente más cercana al tramo en estudio. (Ver Tabla 13, Pág.32).

Esta misma corresponde a un único aforo en época de invierno (mayo-agosto) según el Anuario de Tráfico del 2015.

#### **Tabla 13. Factores de Ajustes de la Estación 3806 San Juan de Limay-Paso Hondo**

La expansión a Tránsito Promedio diario de 24.0 horas, se realizó de la siguiente manera:

Tabla N°. 13. Factores de Ajustes de la Estación 3806 San Juan de Limay-Paso Hondo

Camino:	NIC-38		Estación:	3806		Tramo:	SAN JUAN DE LIMAY - PASO HONDO		Periodo	L		Dias:	3		Horas:	Mes/Año agosto 2015		Km:	235.100	
Grupos	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipo Pesado			Total			
		Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s	MnBus 15-30 s	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.		Otros		
		2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18		19	21	
TP(D)	59	2	3	39	1	0	9	7	4	7										131
Factor Dia	1.26	1.34	1.28	1.29	1.29	1.28	1.23	1.32	1.49	1.54	1.00	1.41	1.00	1.00	1.50	1.00	1.18			
Factor Semana	0.96	1.02	0.99	0.95	1.01	1.14	1.01	0.88	0.89	0.85	1.00	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92			
Factor Expansión	1.11	0.95	0.98	1.05	0.86	0.89	0.97	0.99	1.11	1.26	1.33	1.12	1.00	1.00	1.56	1.00	1.57			
TPDA May-Ago	79	3	4	51	1		11	8	5	11										173
% TPDA	45.66	1.73	2.31	29.48	0.58		6.36	4.62	2.89	6.36										100.00
% Vehiculos Livianos		79.77%						% Vehiculos Pesados						20.23%				100%		

Fuente: Anuario de Tráfico del 2015.

Tránsito expandido 24 hrs, = Factor día \* Tránsito 12 hrs. (Ec – N°. 1)

Tránsito expandido 24 hrs, motos día lunes = 1.26\*61 = 76.86 ≈ 77

A continuación, se muestra el Conteo Vehicular de expansión 24 hrs. (ver tabla N°. 19, Pagina. 33).

**Tabla N° 14. Conteo Vehicular expandido a 24.0 Hrs**

Tipo de Vehículo	Factor día	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Domingo		Transito Semanal
		12 Hrs	24 Hrs	12 Hrs	24 Hrs	12 Hrs	24 Hrs	12 Hrs	24 Hrs	12 Hrs	24 Hrs	12 Hrs	24 Hrs	12 Hrs	24 Hrs	
Moto	1.26	61	77	48	61	48	61	54	69	63	80	57	72	55	70	490
Jeep	1.28	2	3	3	4	1	2	5	7	5	7	2	3	4	6	32
Camioneta	1.29	12	16	8	11	13	17	12	16	11	15	10	13	8	11	99
Bus	1.23	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	21
Liv C2	1.32	3	4	4	6	2	3	0	0	5	7	3	4	3	4	28
C2	1.49	2	3	1	2	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	20
Otros	1.18	0	0	0	0	1	2	0	0	1	2	1	2	1	2	8
<b>Total</b>		<b>82</b>	<b>106</b>	<b>66</b>	<b>87</b>	<b>69</b>	<b>91</b>	<b>75</b>	<b>98</b>	<b>89</b>	<b>117</b>	<b>77</b>	<b>100</b>	<b>75</b>	<b>99</b>	<b>698</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5 Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS)

Se determina mediante el tránsito total registrado por semana, entre los siete días de la semana.

$$TPDS = \frac{Ts}{7} \quad \text{Ec - N°. 3}$$

Ejemplo TPDS, Motos:

$$TPDS = \frac{490}{7} = 70 \text{ Vehículos} \quad \text{Ec - N°. 4}$$

TPDS = Tránsito Promedio Diario Semanal.

TS = Tránsito Semanal.

Los valores de TPDS se presentan en la Siguiete tabla:

**Tabla 15. Tránsito Promedio Diario Semanal**

Tipo de Vehículo	T. Semanal	TPDS
Moto	490	70.00
Jeep	32	5.00
Camioneta	99	15.00
Bus	21	3.00
Liv C2	28	4.00
C2	20	3.00
Otros	8	2.00
<b>Total</b>	<b>698</b>	<b>102</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.6 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 TPDA del tramo de carretera Empalme Tranquera – Caserío Santa Fé, se tomó como referencia los datos de la estación sumaria **N° 3806 San Juan de Limay – Paso Hondo**, camino Nic – 38.

Tomando los valores del TPDS, (**Ver Tabla 15, Pág. 34**) y los factores de expansión de la **Estación 3806 San Juan de Limay – Paso Hondo (Ver Tabla 13, Pág. 32)**, determinamos el Tránsito Promedio Diario Anual para cada tipo de vehículo.

$$TPDA = F. Expansión * TPDS$$

**Ec – Nº. 5**

Ejemplo TPDA, Jeep:

$$TPDA = 0.98 * 5 = 5 Vehículos$$

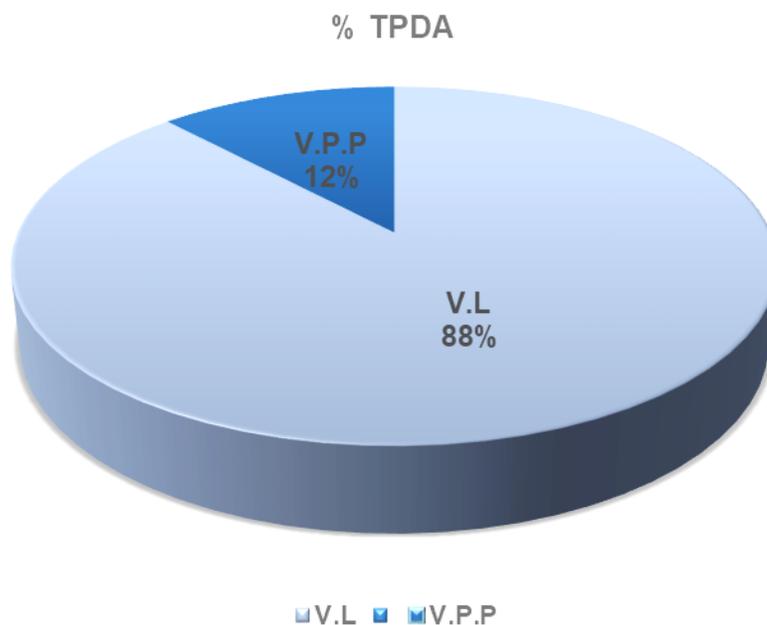
**Ec – Nº. 6**

**Tabla 16. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) 2017**

Vehículos	Moto	Jeep	Camioneta	Bus	Liv C2	C2	Otros	Totales
TPDS	70	5	15	3	4	3	2	<b>102</b>
Factor Expansión	1.11	0.98	1.05	0.97	0.99	1.11	1.57	<b>8</b>
TPDA	78	5	16	3	4	3	3	<b>112</b>
% en TPDA	69.64	4.39	14.10	2.61	3.55	2.98	2.81	<b>100</b>
% de Vehículos	<b>Veh. Livianos=</b>		<b>88</b>	<b>P Pasajeros</b>			<b>12</b>	

Fuente: Elaboración Propia

**Grafico N°2. Tránsito Promedio Diario Anual**



Fuente: Elaboración Propia.

### 3.7 Proyección de Tránsito

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, también tomando en cuenta otras variables como son: Crecimiento poblacional, PIB (Producto Interno Bruto) y el historial de tránsito en la zona según datos del MTI.

#### 3.7.1. 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.

**Tabla 17. Tasa de Crecimiento Poblacional (2005-2020)- San Juan de Limay**

Año	Tasa de Crecimiento %
<b>2005-2010</b>	1
<b>2010-2015</b>	0.7
<b>2015-2020</b>	<b>0.8</b>

Fuente: INIDE. Revisión 2007. Página 48.

Según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE); en el año 2015 la tasa de crecimiento poblacional en el municipio de San Juan de Limay fue de 0.8%.

### 3.7.2. Crecimiento vehicular

La tasa de crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación de las mismas; se realizó a partir del historial de tránsito de la estación sumaria N° 3806 (Nic – 38) San Juan de Limay - Paso Hondo cubierta por el MTI.

Este comportamiento discontinuo del flujo vehicular se considera que ha sido principalmente producto de las diferentes condiciones físicas que ha presentado la superficie de rodamiento a lo largo del tramo.

**Tabla 18. Datos históricos del TPDA**

Empalme San Juan de Limay-Paso Hondo N° 3806			
Año	TPDA	Año	TPDA
2002	96	2009	-
2003	-	2010	-
2004	-	2011	-
2005	-	2012	-
2006	-	2013	-
2007	17	2014	-
2008	-	2015	173

Fuente: Anuario de Tráfico 2015. MTI. Pág. 183.

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

$$Tc = \left[ \left( \frac{TPDAi}{TPDAo} \right)^{1/n} \right] - 1 \quad \text{Ec – N°. 7}$$

**Dónde:**

TC: Tasa de crecimiento vehicular.

TPDAi: Tránsito promedio diario actual.

TPDAo: Tránsito promedio diario del año base.

n : Diferencia de años.

Aplicando la ecuación **Nº 7** se determinó la tasa de crecimiento para los periodos correspondientes según los datos históricos.

**Periodo (2002-2007)**

$$Tc = \left[ \left( \frac{17}{96} \right)^{\frac{1}{5}} \right] - 1 \quad \text{Ec - Nº. 8}$$

En este período el tránsito del tramo presento un factor de decrecimiento de: - 29.26%

**Periodo (2007-2015)**

$$Tc = \left[ \left( \frac{173}{17} \right)^{\frac{1}{8}} \right] - 1 \quad \text{Ec - Nº. 9}$$

En este período el tránsito en el tramo presento un crecimiento del 33.64%

Para determinar la tasa de crecimiento vehicular Final se aplicó la siguiente ecuación

$$Tc = [(Tc_1 * Tc_2 \dots Tc_n)^{1/2} - 1] \quad \text{Ec - Nº. 10}$$

**Tf** = Tasa de Crecimiento Final

**Tc<sub>n</sub>** = Diversas tasas de crecimientos obtenidas de la serie histórica

**N** = Cantidad de Tasas de Crecimiento

$$Tc = [(-29.26 * 33.64)^{1/2} - 1] \quad \text{Ec - Nº. 11}$$

Obteniendo una tasa de crecimiento Final negativa de: -32.37 %

### 3.7.3. 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 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 3.86 %.

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

AÑO	PIB	% Crecimiento PIB
<b>2006</b>	119,235.2	4.2
<b>2007</b>	125,540.1	5.3
<b>2008</b>	129,120.1	2.9
<b>2009</b>	125,557.4	-2.8
<b>2010</b>	129,564.3	3.2
<b>2011</b>	137,638.3	6.2
<b>2012</b>	145,333.0	5.6
<b>2013</b>	151,921.3	4.5
<b>2014</b>	158,856.8	4.6
<b>2015</b>	166,686.8	4.9
Promedio		<b>3.86</b>

Fuente: Estadísticas macroeconómicas, BCN. Anuario 2014.

Relacionando la tasa de crecimiento vehicular, crecimiento económico y la tasa de crecimiento poblacional, se obtuvo un valor promedio negativo de **-9.24 %**; debido a este factor de decrecimiento se tomará la Tasa del PIB (**3.86 %**) por ser esta la tasa más acorde a la economía y crecimiento del país para la proyección de tránsito en la zona, como se muestra a continuación:

**Tabla 20. Resumen de Tasas de Crecimiento**

Tc Vehicular	<b>-32.37%</b>
Tc Poblacional	<b>0.8%</b>
Tc Económica	<b>3.86%</b>
PROMEDIO	<b>-9.24%</b>

Fuente: Elaboración Propia

### **3.8 Tránsito de Diseño**

#### **3.8.1. 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 a alterar el funcionamiento del pavimento.

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 clasificada como colectora rural 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 21. Período de Diseño (N)**

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

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

### 3.8.2. 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 22. Factor de distribución por dirección (FD)**

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2011.

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

### 3.8.3. 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.

$$FC = 365 \times \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] \quad \text{Ec - N°. 12}$$

**Dónde:**

FC: Factor de crecimiento.

Tc: Tasa de crecimiento del tránsito (%).

n: Período de diseño (años).

365: Días del año.

Sustituyendo los valores obtenemos;

$$FC = 365 \times \left[ \frac{(1+0.0386)^{20}-1}{0.0386} \right] = 10,712 \quad \text{Ec - N}^\circ. 13$$

### 3.8.4. 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 23. Factor de distribución por carril (Fc')**

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 2011.

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

### 3.8.5. Determinación del Tránsito de Diseño

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

$$Tn = To(1 + i)^n \quad \text{Ec - N}^\circ. 14$$

Dónde:

To = Tránsito Inicial en el año n.

i= Tasa de crecimiento anual en %

n= Número de año en el período de diseño.

Sustituyendo los valores obtenemos;

$$Tn = 5(1 + 0.0386)^{20} = 10 \text{ Jeep} \quad \text{Ec - N}^\circ \text{ 15}$$

**Tabla 24. Tránsito proyectado, para el tramo, Empalme de Tranqueras-Caserío Santa Fé al año 2037.**

Tipo de Vehículo	TPDA (2017)	Tasa de Crecimiento	N	TPDA Proyectado 2037
Moto	78	0.0386	20	165.72
Jeep	5	0.0386	20	10.45
Camioneta	16	0.0386	20	33.59
Bus	3	0.0386	20	6.21
Liv C2	4	0.0386	20	8.45
C2	3	0.0386	20	7.10
Otros	3	0.0386	20	6.70
<b>Total</b>	<b>112</b>			<b>238.22</b>

Fuente: Elaboración Propia.

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

$$TD = To * FC * FD * Fc' \quad \text{Ec - N}^\circ \text{ 16}$$

**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

Sustituyendo los valores obtenemos;

$$TD = 5 * 10,712 * 0.5 * 1 = 26,244 \text{ (jeep)} \quad \text{Ec - N}^\circ \text{ 17}$$

**Tabla 25. Tránsito de Diseño, para el tramo, Empalme de Tranqueras-Caserío Santa Fé**

Tipo de Vehículo	TPDA (2017)	FC	FD	FC´	TD
Moto	78	10,712	0.5	1	416,179
Jeep	5	10,712	0.5	1	26,244
Camioneta	16	10,712	0.5	1	84,357
Bus	3	10,712	0.5	1	15,586
Liv C2	4	10,712	0.5	1	21,210
C2	3	10,712	0.5	1	17,835
Otros	3	10,712	0.5	1	16,818
<b>Total</b>	<b>112</b>				<b>598,230</b>

Fuente: Elaboración Propia

# **CAPÍTULO IV**

## **DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO**

#### **4.1. Introducción**

Los pavimentos articulados o de adoquín tienen una superficie 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, con un sello de arena entre sus juntas, luego una base de material granular y una sub-base dependiendo si el diseño así lo amerita.

Se utilizó el método de Diseño de la Guía de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 1993. El método toma en cuenta el Estudio Geotécnico, el cual tiene la finalidad de proporcionar la información necesaria, basada en las características y propiedades de los materiales que conforman los suelos de cada capa de la estructura, así como la composición vehicular a la que someterá la estructura de pavimento a las cargas variables de tránsito.

#### **4.2. Criterios del Método AASHTO 93 para cálculo de espesores**

1. Obtener las Variables de diseño:
  - Factores Equivalente de Carga.
  - Peso por ejes.
  - Confiabilidad
  - Desviación Estándar
  - Serviciabilidad.
  - Módulo de Resiliencia.
2. Determinar el número de Ejes Equivalentes (ESAL'S).
3. Establecer las Propiedades de los materiales de cada capa, representada por los coeficientes estructurales ( $a_i$ ).
4. Calcular los espesores del pavimento considerando el esfuerzo a la compresión de cada capa.

El método utilizado para efectuar el diseño es el de la AASHTO-93, el cual recomienda que para pavimentos con adoquín se apliquen 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.

### **4.3. Variables de Diseño**

#### **4.3.1. Índice de Serviciabilidad**

Se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño de pavimento se debe 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 tránsito. Para ello debe asumirse la serviciabilidad inicial,  $p_0$ , en función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción.

La serviciabilidad final o terminal,  $p_t$ , en función de la categoría del camino es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHTO Road Test:

##### **4.3.1.1. Serviciabilidad inicial:**

$P_0 = 4.5$  para pavimentos rígidos.

$P_0 = 4.2$  para pavimentos flexibles. 

##### **4.3.1.2. Serviciabilidad final:**

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

$P_t = 2.0$  para caminos de menor tránsito. 

Para la determinación de la serviciabilidad de un pavimento se toma en cuenta que la serviciabilidad final de un pavimento ( $p_t$ ) depende del tránsito y del índice de servicio inicial ( $p_0$ ).

**Tabla 26. Valor de la serviciabilidad final**

Característica de la vía	Valor de ( $\rho_t$ )
Autopistas Urbanas y troncales de mucho tránsito	2.5 – 3
Autopistas Urbanas y troncales de intensidad de tránsito normal, así como para autopistas interurbanas	2.0 – 2.5
Vías locales, ramales, secundarias y agrícolas	1.8-2.0 

Fuente: Manual AASHTO – 93.

$\rho_0$  (Serviciabilidad Inicial) = 4.2 Para pavimentos flexibles.

$\rho_t$  (Serviciabilidad Final) = 2 Para vías de tráfico normal.

#### 4.3.2. Pérdida de Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI)

La pérdida de la serviciabilidad es la diferencia que existe entre la inicial y la final.

(Diseño de pavimentos AASHTO 93. Edición 2006. Página 172).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta\text{PSI} = \rho_0 - \rho_t \quad (\text{EC} - \text{N}^\circ. 18)$$

Sustituyendo Obtenemos;

$$\Delta\text{PSI} = 4.2 - 2.0 = 2.2 \quad (\text{EC} - \text{N}^\circ. 19).$$

#### 4.3.3. 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 Anexo N° 1 y N° 2. Pág. XXI-XXII).

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 sugiere utilizar el valor de SN 5, el cual transforma la carga por eje a un número de ejes equivalentes

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

$$ESAL'S \text{ ó } W_{18} = TD * Factor \textit{ ESAL'S} \quad (EC - N^{\circ} 20)$$

Para realizar el cálculo del **ESAL'S** 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 jeep, el eje delantero y el eje trasero pesan lo mismo, según el diagrama de carga de vehículos livianos. El peso del eje es: 2,200 Lbs= 2.2 Kips.

Para pavimento articulado, con ejes simples y una serviciabilidad Pt = 2, con un SN=5 se tiene que:

<b>Peso</b>	<b>SN = 5</b>
2 = 2,000	0.0002
4 = 4,000	0.002
4,000 – 2,000 = 2,000	
	0.002 – 0.0002 = 0.0018

Como el peso del jeep es de 2,200 Lbs hacen falta 200 Lbs, por lo que se realiza la siguiente regla de tres.

$$\begin{array}{cc} 2,000 & 0.0018 \\ 200 & X \end{array}$$
$$X = (200 * 0.0018)/2,000$$
$$X = 0.00018$$

Entonces tenemos que el factor equivalente de carga para 2,200 Lbs va a ser:  
 $0.0002 + 0.00018 = \mathbf{0.00038 = \text{Factor ESAL'S.}}$

De igual forma se realizan las demás interpolaciones para los otros tipos de vehículos. Para obtener el ESAL'S de diseño para cada tipo de vehículo sustituimos la ecuación N°. 20.

$$\mathbf{ESAL'S \acute{o} W_{18} = TD * \text{Factor ESAL'S}}$$
$$\mathbf{ESAL'S \acute{o} W_{18} (\text{jeep}) = 26,244 * 0.00038}$$
$$\mathbf{ESAL'S \acute{o} W_{18} (\text{jeep}) = 10 \text{ Veh}}$$

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

**Tabla 27. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton)**

Tipo de vehículos	eje en (Lbs)	eje en (Tn)	Tipo de eje	To. 2017	TD	Factor ESAL'S	ESAL'S de diseño
Jeep	2,200	1	Simple	5	26,244	0.00038	10
	2,200	1	Simple		26,244	0.00038	10
Camioneta	2,200	1	Simple	16	84,357	0.00038	32
	4,400	2	Simple		84,357	0.0034	287
Bus	11,000	5	Simple	3	15,586	0.1265	1,972
	22,000	10	Simple		15,586	2.35	36,627
Liv C2	8,800	4	Simple	4	21,210	0.0502	1,065
	17,600	8	Simple		21,210	0.9206	19,526
C2	11,000	5	Simple	3	17,835	0.1265	2,256
	22,000	10	Simple		17,835	2.35	41,913
Otros	11,000	5	Simple	3	16,818	0.1265	2,127
	22,000	10	Simple		16,818	2.35	39,522
				<b>Total ESAL'S carril de diseño (W18) =</b>		<b>145,347</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**ESAL'S o W18 = 145,347 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.**

#### 4.3.4. Confiabilidad (R)

La guía de la AASHTO-1993 recomienda diferentes niveles de confiabilidad de acuerdo con la clasificación funcional de la vía, para nuestro tramo tomaremos en cuenta su ubicación y tránsito, se asume un valor de confiabilidad (**R**) de **85 %**, que corresponde a un valor recomendado para una clasificación de una zona rural y para tipo de caminos colectores.

**Tabla 28. 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
Colectoras	80 – 95	 <b>75 – 95</b>
Locales	50 – 80	50 – 80

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

#### 4.3.5. Desviación Estándar (S<sub>0</sub>)

La desviación estándar (S<sub>0</sub>), 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<sub>0</sub>. “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<sub>0</sub> comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

**Tabla 29. Desviación estándar para pavimentos flexibles**

Condiciones de diseño	Desviación estándar
Para pavimento flexible	 <b>0.40 – 0.50</b>
En construcción nueva	0.35 - 0.40
<b>En sobre capas</b>	0.5

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento SIECA. Capítulo 7, página 5 135.

Se utilizará un valor de desviación estándar de **S<sub>0</sub> = 0.45**, para este diseño.

#### 4.3.6. 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 30. 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
Bueno	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.

En este diseño se asumieron buenas condiciones de drenaje, por lo que el coeficiente a utilizar será **m=1**, ya que se considera que el tiempo en el que el pavimento está expuesto a la humedad es menor al 25% del tiempo, debido a que la vía cuenta con las obras necesarias de evacuación.

#### **4.3.7. Propiedades de los Materiales**

##### **4.3.7.1. Determinación del CBR de Diseño (En suelos)**

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

#### 4.3.7.2. Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar El CBR de Diseño

El criterio más difundido para la determinación del valor de resistencia de diseño es el propuesto por el Instituto de Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total, que es el 60, 75 o 87.5% de los valores individuales sea igual o mayor que el ESAL'S de diseño de 145,347 vehículos, de acuerdo con el tránsito que se espera circule sobre el pavimento.

**Tabla 31. Límites Para la Selección de Resistencia**

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
 10 <sup>4</sup> a 10 <sup>6</sup>	<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'S o W18 = 145,347 ejes** equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.

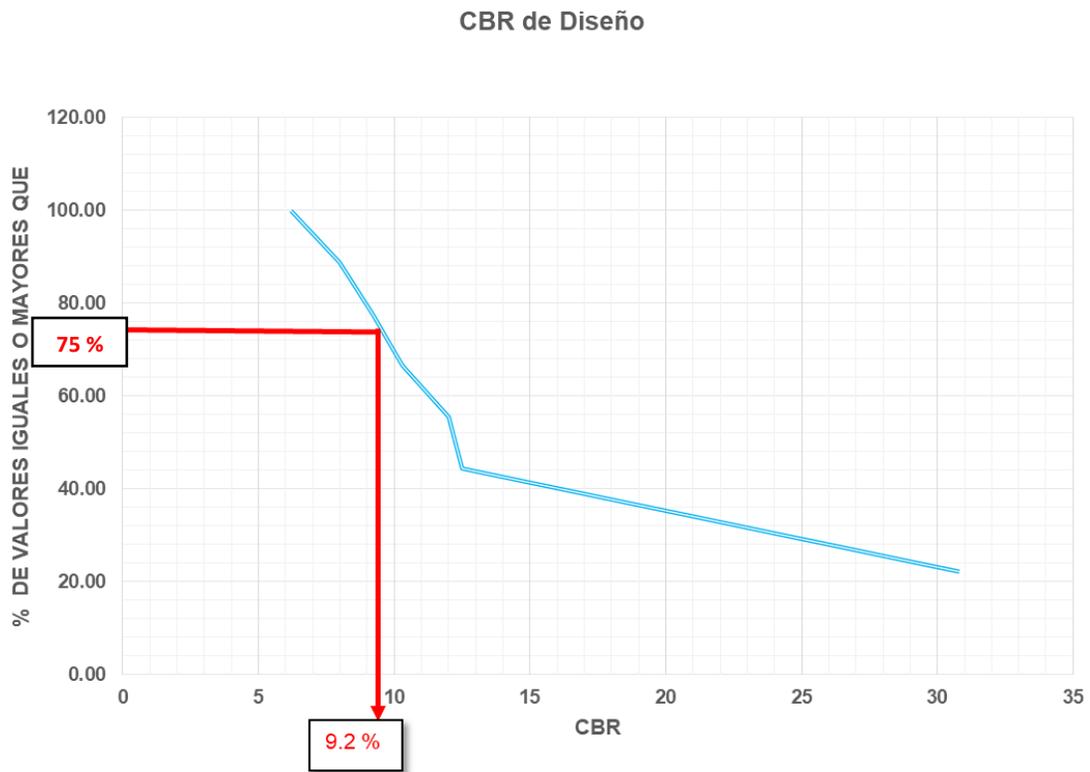
Se ordenaron los valores de resistencia de menor a mayor, luego se determinó la frecuencia y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

**Tabla 32. Cálculo para determinar CBR de Diseño**

Clasificación		CBR (100%)	Frecuencia	No. de Valores $\geq$ que	% de valores iguales o mayores
AASHTO	SUCS				
A-7-5(10)	CL	6.2	1	9	100.00
A-5 (9)	ML	8	1	8	88.89
A-2-7 (0)	SM	9.2	1	7	77.78
A-7-5(15)	CL	10.3	1	6	66.67
A-7-5(20)	CL	12	1	5	55.56
A-7-5(7)	CL	12.5	2	4	44.44
A-2-5(0)	GM	30.8	2	2	22.22
		<b><math>\Sigma</math> Total=</b>	<b>9</b>		

Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N°. 3 grafica del CBR de diseño**



Fuente: Elaboración Propia

Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 75% obtenemos el CBR de diseño para la sub-rasante igual a 9.2 %.

#### 4.3.8. Módulo Resiliente (MR)

Para su determinación se ha establecido correlaciones a partir de otros ensayos como el CBR.

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

**Tabla.33 Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para sub rasante**

Valor de CBR	Consideración
CBR<7.2%	Mr=1,500*CBR
 7.2%<CBR<20%	<b>Mr=3,000*CBR<sup>0.65</sup></b>
CBR>20%	Mr=4326*Ln(CBR)+241

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

En este caso como se obtuvo un CBR de diseño para la sub rasante de 8.5 %, utilizaremos el segundo criterio para calcular el módulo resiliente de la sub rasante, por tanto.

$$\mathbf{Mr = 1,500 \times CBR}$$

$$\mathbf{Mr = 1,500 \times 9.2\%}$$

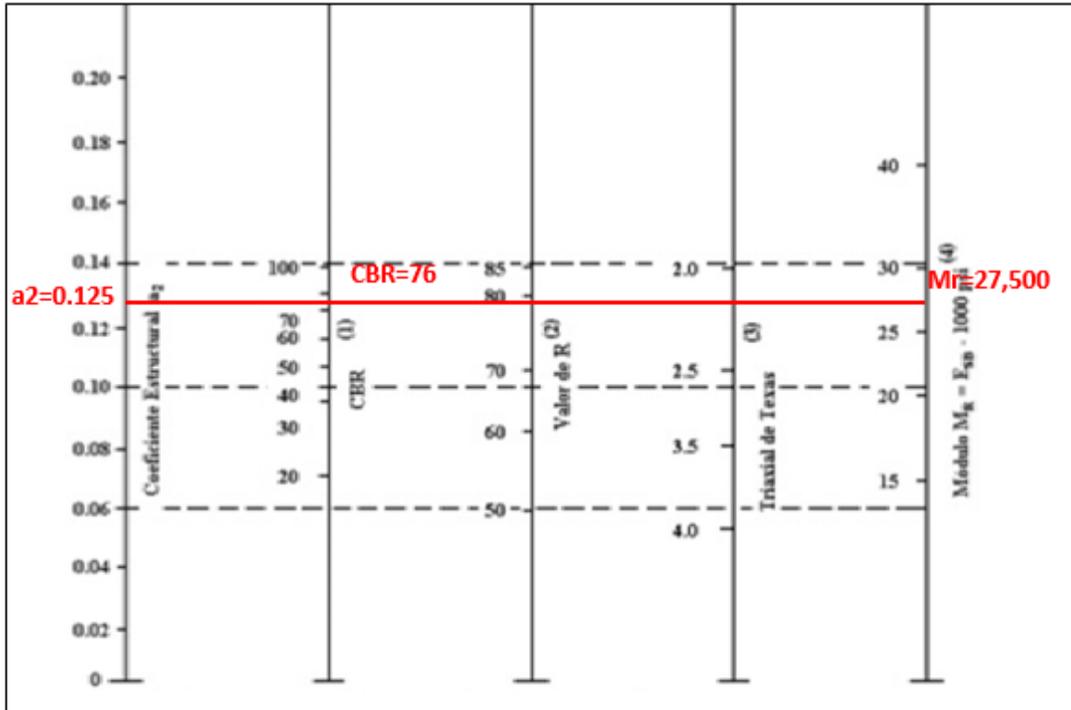
$$\mathbf{Mr = 13,800}$$

Hay que destacar que el material usado en el diseño de la base pertenece al banco de materiales Wilfredo Castillo, con CBR 76%.

El módulo resiliente de la sub rasante es, **Mr = 13,800 psi.**

El módulo resiliente de la base nos dio un resultado de 27,500 PSI, se calculó por medio del nomograma de relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes, (ver gráfico N° 4. Página 57).

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



#### 4.3.9. Coeficientes Estructurales

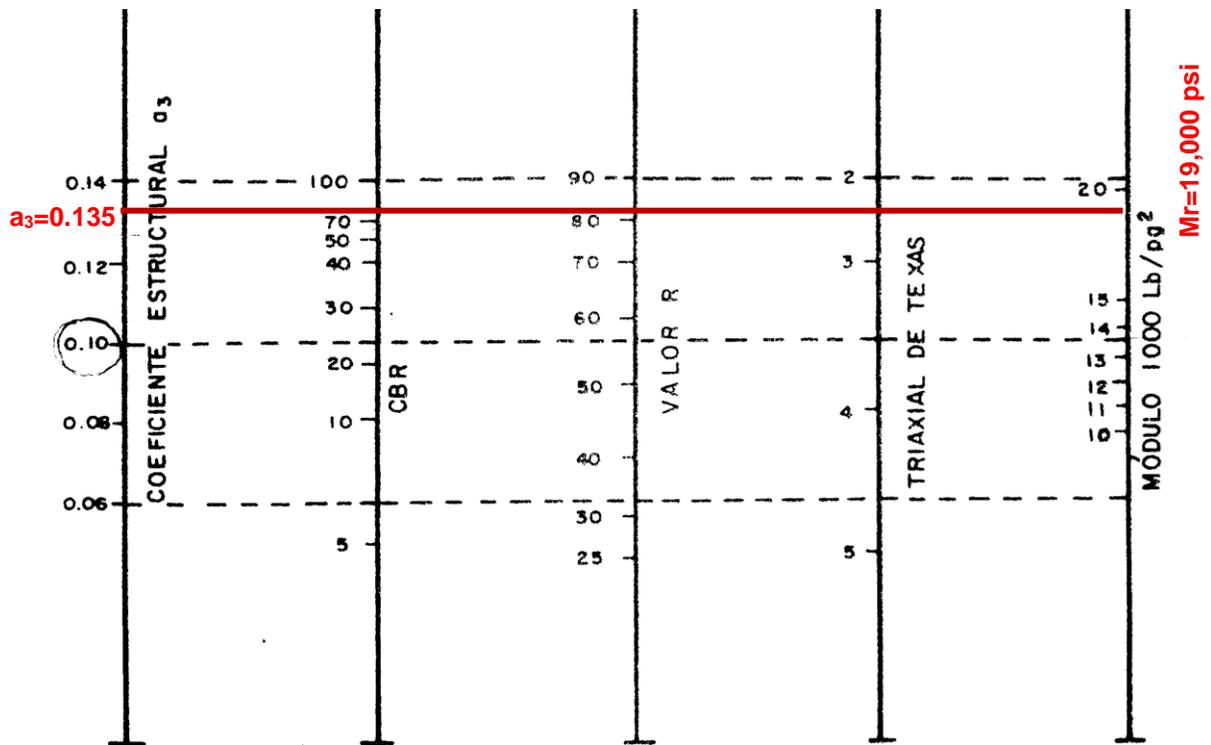
Estos coeficientes son una medida de la capacidad relativa de cada capa como componente estructural de un pavimento, aunque directamente no sean un índice de la resistencia del material. No obstante, estos coeficientes están correlacionados con distintos parámetros resistentes. (AASHTO, 1993).

Para el coeficiente estructura  $a_1$  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.

El coeficiente  $a_2$ , se obtuvo en base a la figura 5.29 del manual de diseño AASHTO 93, la cual relaciona los parámetros de: CBR, Confiabilidad y Modulo Resiliente, obteniendo como resultado un  $a_2=0.125$

Para el coeficiente de la sub base, se usó la figura 5.32 de la AASHTO 93 dando como resultado un  $a_3=0.135$ , que se puede observar en el Grafico N°5, pág. 58

**Gráfico N°. 5. Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Sub-Base Granular y distintos Parámetros Resistentes.**



#### 4.3.10. Cálculo de Espesores de la Estructura de Pavimento Números estructurales (SN).

Es la capacidad que posee la estructura de soportar las cargas bajo las condiciones de diseño.

Para obtener los números estructurales (SN), se hará uso del ábaco de diseño para pavimentos flexibles propuesto por la AASHTO, donde se deben tener en cuenta ciertas variables como: Confiabilidad, desviación estándar, Esal's de diseño, el módulo resiliente de la capa inferior a la que se pretende calcular y la pérdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ).

**Figura 1. Ábaco de diseño AASTHO para pavimentos flexibles**

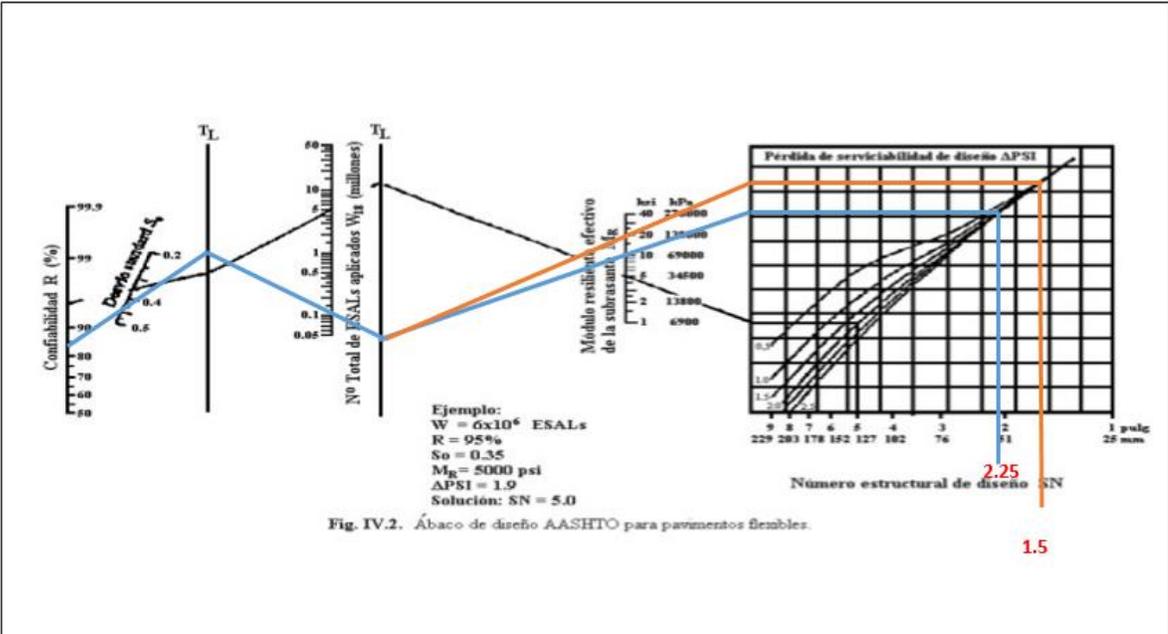


Fig. IV.2. Ábaco de diseño AASTHO para pavimentos flexibles.

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993, pág. 174.

Utilizando la figura anterior se determinó los números estructurales requerido para proteger cada capa no tratada reemplazando el módulo resiliente de la sub rasante por el módulo resiliente de la capa que está inmediatamente abajo.

**Tabla 34. Espesores mínimos sugeridos por capa**

Numero de ESAL'S	Concreto Asfáltico (cm)	Base Granular(cm)
<b>Menos de 50,000</b>	2.50	10.00
 <b>50,000 a 150,000</b>	5.00	10.00
<b>150,000 a 500,000</b>	6.50	10.00
<b>500,000 a 2,000,000</b>	7.50	15.00
<b>2,000,000 a 7,000,000</b>	9.00	15.00
<b>Más de 7,000,000</b>	10.00	15.00

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993, pág. 175

El espesor del adoquín es estándar de 4 pulgadas. Por tanto,  $D_1$  ya está dado:  
 $D_1 = 4$  Pulg de espesor.

Conociendo el espesor de la carpeta de rodamiento, se puede obtener el número estructural corregido ( $SN_1^*$ ), donde:

$$SN_1^* = a_1 * D_1$$

$$SN_1^* = 0.45 * 4 \text{ pulg}$$

$$SN_1^* = 1.8$$

El  $SN_2$ , se obtuvo graficando la relación entre los parámetros de Confiabilidad, Desviación estándar, ESAL's de diseño y el Módulo resiliente de la sub rasante, obteniendo un  $SN_2 = 2.25$  Pulg; por tanto, el espesor será;

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SN_1^*)}{a_2 m_2} = \frac{(2.25 - 1.8)}{0.125 * 1}$$

$$D_2 = 3.6 \text{ pulg} \approx 4 \rightarrow \text{Cumple espesor mínimo}$$

Entonces  $D_2$  a usar: Espesor mínimo 10cm  $\rightarrow 4$  plg

Atendiendo la recomendación de la AASHTO 93 se determina que para nuestro ESAL's de diseño de 145,347 el espesor mínimo para base granular será de 4 pulgadas, por lo tanto, Cumple.

$$SN_2 = a_2 \times D_2 \times m_2$$

$$SN_2 = 0.125 \times 4 \times 1$$

$$SN_2 = 0.5$$

Para el número estructural  $SN_3$ , se utilizó el Ábaco de diseño AASTHO para pavimentos flexibles  $SN_3=1.5$ , luego se procedió a calcular el espesor de la sub base

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 m_3} = \frac{1.5 - (2.25 + 1.8)}{0.135 * 1}$$

$$D_3 = -28.50 \text{ pulg}$$

Como el espesor de la sub base resulta negativo, esto nos indica que no es necesario en la estructura de pavimento.

También se puede comprobar el diseño estructural aplicando el siguiente criterio:

$$SN_1 + SN_2 \geq SN_{Req}$$

$$1.8 + 0.5 = 2.25$$

$$SN_{req} 2.3 = 2.25$$

$$2.3 \geq 2.25 \text{ O.K!}$$

Para el número estructural  $SN_3$ , se utilizó el Ábaco de diseño AASTHO para pavimentos flexibles  $SN_3=1.5$ , luego se procedió a calcular el espesor de la sub base

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 m_3} = \frac{1.5 - (2.25 + 1.8)}{0.135 * 1}$$

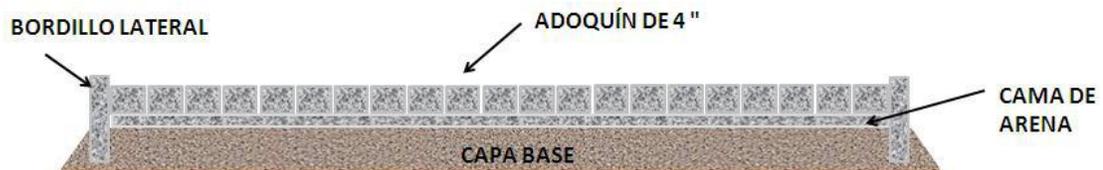
$$D_3 = -28.50 \text{ pulg}$$

Como el espesor de la sub base resulta negativo, esto nos indica que no es necesario en la estructura de pavimento.

En resumen, como resultado da la siguiente estructura de pavimento

**Grafico N° 6. Estructura final de pavimento.**

- ✓ Capa de rodamiento (adoquín) = 4 " (10 centímetros)
- ✓ Capa de arena = 2" (5 centímetros)
- ✓ Base = 12 " (30 centímetros), se cortarán 45 cm dado a que los suelos del sitio del proyecto son malos



Fuente: Elaboración propia.

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

**Los valores de los parámetros de entrada se muestran a continuación:**

Grado de Confiabilidad	R=85 %
Desviación Estándar	So=0.45
Capacidad de Servicio Inicial	Po=4.20
Capacidad de Servicio Final	Pt=2.0
Número de Ejes Equivalentes	ESAL's o W18= 145,347.00
C.B.R. de Diseño	Sub Rasante= 9.2%.
Módulo Resiliente Subrasante	Mr = 13,800 psi

### 4.3.11 Cálculo de espesores de capas mediante el programa computarizado: WINPAS 12

Asphalt Design Inputs

Asphalt Pavement Design/Analysis Inputs

Asphalt Structural Number

Total Flexible ESALs

Reliability  %

Overall Standard Deviation

Subgrade Resilient Modulus  psi

Initial Serviceability

Terminal Serviceability

---

Asphalt Pavement Design/Analysis

Asphalt Structural Number: 2.25

Calculate Asphalt Structural Number

			inches	inches		
Layer Material	Layer Coefficient, a	Drainage Coefficient, m	Layer Thickness	Layer Struct No, SNi	Additional Thickness	
Asphalt Cement Concrete	0.45	1	4	1.8	0	
Graded Stone Base	0.125	1	4	0.5	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	

Sum of SN      2.3      [OK](#)

SN                2.25

# **CAPÍTULO V**

## **EVALUACION AMBIENTAL**

## **5.1 Introducción**

El presente capítulo corresponde a la elaboración de la Evaluación Ambiental del proyecto “Diseño de estructura de pavimento articulado (Adoquín) y Evaluación de impacto ambiental de 2 km del tramo de carretera Empalme de Tranquera-Caserío Santa Fé, municipio de San Juan de Limay en la etapa de construcción.

El punto de partida para este estudio fue la definición de la línea base ambiental afectada por el proyecto. Posteriormente se identificaron los impactos perjudiciales en los factores del medio, se procedió a valorar cualitativamente dichos impactos a través de matrices de Leopold.

En la evaluación se abordan factores que son afectados como: el suelo, la salud y el ambiente humano, fauna etc. a la vez se propone medidas de mitigación para los impactos negativos críticos de la obra que se detallara posteriormente.

## **5.2. Legislación Vigente**

La Ley No 217<sup>2</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.

---

<sup>2</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

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 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 suburbanas preexistentes, medido en una longitud continua 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 2 km de pavimento articulado por el método AASHTO 93, del tramo Empalme de Tranquera – Caserío Santa Fé en el municipio de San Juan de Limay – departamento de Estelí.

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. Descripción del Proyecto**

El proyecto está ubicado en la salida a la ciudad de pueblo nuevo, 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 y los conductores que hacen uso de la vía.

El proyecto se basa en la construcción de 2 km de adoquinado, este ofrece beneficios no solo al área donde está ubicado, sino también a todos los habitantes que hacen uso de la vía.

### **5.4. 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 =  $\frac{ExPx F}{Px F}$ . (Ec – N°. 17).

### 5.5. Evaluación de Emplazamiento

En proyectos horizontales, como el adoquinado de 2 km de carretera en el tramo Empalme de Tranquera – Caserío Santa Fe, 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			ExPx F	Px F
						P	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: $\frac{(ExPx F)}{(Px F)} =$			2.67						

Fuente: Elaboración Propia.

Este proyecto según el componente de Geología descrito en la tabla N°. 35, página 68, alcanzo 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							
E	Hidrología superficial	Hidrología subterránea	Mar y lagos	P	F	ExPxF	PxF
	1				3	0	0
2				2	0	0	0
3	x	x	x	1	3	9	3
						9	3
Valor total: (ExPxF) / (PxF) =			3				

Fuente: Elaboración Propia.

Como se logra apreciar en la tabla N°. 36, página 69, 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							
E	Conflictos territoriales	Participación ciudadana	Plan de inversión y sostenibilidad	P	F	ExPxF	PxF
	1				3	0	0
2				2	0	0	0
3	x	x	x	1	3	9	3
						9	3
Valor total: (ExPxF) / (PxF) =			3				

Fuente: Elaboración Propia.

Desde la óptica del componente institucional social, el resultado de la tabla N°. 37, página 69, 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.

## 5.6. 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**

Factor ambiental	Causas	Efectos	Nivel de Calidad
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
Suelos	Uso del suelo en sitios inadecuados, sin tomar en cuenta su capacidad de uso.	Erosión hídrica y eólica.	3
Geología	Modificación de la topografía sin drenajes	Erosión hídrica	2
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° 38, página 70, se reflejan de manera general, los niveles de impacto; cuyos niveles oscilan entre medios y bajos (escala 2 y 3, respectivamente).

## 5.7. 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.

En la siguiente tabla N°. 39, página 71 se reflejan de manera general, los niveles de impacto; cuyos niveles oscilan entre medios y bajos (escala 2 y 3, respectivamente). Sin embargo, 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).

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.

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

#### **5.7.1. 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.

#### **5.7.2 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 2 km de adoquinado en el tramo Empalme de Tranquera – Caserío Santa Fe	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.

**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 2 km de adoquinado en el tramo Empalme de Tranquera – Caserío Santa Fe	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.

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

Tipo de proyecto	Acciones impactantes	Efectos	Medidas de mitigación
Construcción de 2 km de adoquinado en el tramo Empalme de Tranquera – Caserío Santa Fe	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**

Tipo de proyecto	Acciones impactantes	Efectos	Medidas de mitigación
Construcción de 2 km de adoquinado en el tramo Empalme de Tranquera – Caserío Santa Fe	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.

### 5.8. Plan de Gestión Ambiental

El Plan de Gestión Ambiental es el instrumento que describe las medidas de mitigación y las pautas para el monitoreo ambiental. Es un instrumento básico de gestión ambiental. En el Plan se desarrollan las medidas de manejo ambiental y social necesarias para prevenir, mitigar, controlar, proteger o compensar los posibles impactos negativos que se deriven de las actividades del Proyecto de Adoquinado de 2 km, del tramo de carretera Empalme de Tranquera-Caserío Santa Fé, municipio de San Juan de Limay. En la etapa de construcción La

ejecución del Plan, requiere de la participación de diferentes sectores entre ellos: el Gobierno Municipal, Instituciones de Gobierno presentes en la zona, MCA y Contratista, los cuales jugarán un papel preponderante en cuanto al mantenimiento de la vía y al control de los dispositivos sobre, uso de recursos naturales, manejo de desechos y derecho de vía.

### **5.8.1. Objetivos del PGA**

Este Plan de Gestión Ambiental contiene un conjunto estructurado de medidas que tienen como objetivo prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos ambientales y sociales negativos del proyecto, así como fortalecer los positivos, que pudieran derivarse como consecuencia de las actividades de construcción y operación del presente proyecto. A través del PGA se define la responsabilidad en la ejecución, supervisión y monitoreo de las medidas de mitigación, protección y control, considerando al mismo tiempo su costo en los alcances de obras del proyecto. El PGA constituye un documento legal de responsabilidad ambiental que debe ser seguido en todo momento por los ejecutores de las obras.

### **5.8.2. Responsabilidades**

Tal y como se describió con anterioridad, en este proyecto de adoquinado se da la participación de un elevado número de actores, cada uno de los cuales tiene una serie de responsabilidades que quedan definidas en este Plan de Gestión Ambiental. Para las actividades de movimientos de tierra, cortes, explotación de bancos de materiales y preparación de la superficie de rodamiento, se va a contar con un contratista. El contratista tiene la obligación de ejecutar todas las medidas de mitigación y planes de manejo que le corresponda, tal y como se detalla más abajo. Para las actividades de colocación de los adoquines sobre la superficie de rodamiento terminada se va a contar con una estructura de Módulo Comunitario de Adoquinado, MCA. El MCA está compuesto por trabajadores locales de las poblaciones cercanas. El MCA también tiene que cumplir con medidas de mitigación y planes de manejo detallados a continuación.

La Municipalidad en la que se desarrolla el proyecto va a contratar una supervisión ambiental de los trabajos. Este supervisor está encargado de vigilar el cumplimiento de las medidas de mitigación y de los planes de manejo. En este PGA se le da el nombre de supervisión. Por último, la Unidad de Gestión Ambiental del Ministerio de Transporte e Infraestructura realizará tareas de coordinación, visitas periódicas, revisión de la obtención de los permisos, cumplimiento de la legislación vigente y seguimiento de las políticas de salvaguarda del Banco Mundial.

#### **5.9. Plan de Monitoreo**

Se presenta a continuación en la Tabla No. 43, el Plan de Monitoreo que establece las Medidas de Mitigación de los impactos negativos del proyecto, así como los responsables de su cumplimiento.

**Tabla N° 43. Valoración Ambiental**

**Adoquinado del tramo de 2 Km de carretera Empalme de Tranquera-Caserío Santa Fé**

IMPACTO	MEDIDA	PARÁMETRO DE MEDICIÓN	PUNTO DE CONTROL	FRECUENCIA	RECURSOS REQUERIDOS	RESPONSABLES
	cierre del área se deberá compactar, estabilizar, revegetar y/o reforestar con especies del lugar					
	<p>Instalación de letrinas móviles en sitios de concentración de trabajadores, cada 20 a 25 se deben instalar una letrina.</p> <p>Todos los desechos serán dispuestos en el sitio autorizado por la Alcaldía Municipal; para ello el contratista deberá presentar una constancia o aval emitida por la Alcaldía.</p> <p>El personal que esté expuesto a sustancias que generen emisiones o fuertes olores deberá utilizar</p>	<p>Se instalan letrinas móviles por áreas de trabajo con concentración de más de 20 trabajadores</p> <p>Constancia de Permiso emitida por la Alcaldía</p> <p>Equipo de protección</p>	En todo el proyecto donde se ejecuten obras.	Cada 15 días	Lista de personal por área de trabajo	

<p> mascarillas protectoras y anteojos de protección ocular. </p> <p> Los desechos de lubricantes deberán recolectarse y almacenarse adecuadamente, para entregarse al suplidor. </p> <p> El contratista deberá exigir al proveedor la recolección de estos desechos para su tratamiento. </p> <p> El contratista debe cumplir con la NTON-05 032- 10 Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Aceites y Lubricantes usados. </p> <p> Las actividades de reparación y mantenimiento de maquinarias se deben realizar en lugares autorizados para estos servicios, prohibiendo </p>					
---	--	--	--	--	--

	<p>realizar estas actividades dentro del área o zona cercana al proyecto.</p> <p>El repostaje de combustible se dará después de terminada la jornada laboral sin tener estacionada en el zona de las obras un tanque de combustible, será con cisternas móviles las que se retirarán después de realizado el repostaje.</p>					
Generación de gases y partículas en suspensión durante la construcción	Mantener el equipo y la maquinaria en perfecto estado mecánico. Garantizar su mantenimiento periódico.	Se utiliza carpa para cubrir el material transportado en las unidades de acarreo.	Unidades que trasladan materiales (bancos de préstamos, planteles)	Cada 15 días	Cantidad de unidades, sitios de carga de materiales, programa de trabajo.	Del monitoreo: UGA-MTI/Alcaldía Municipal/UCP-BM De aplicación de la medida:
	<p>Todo mantenimiento de maquinaria deberá realizarse en lugares de servicios autorizado para tal fin.</p> <p>Queda prohibido realizar actividades de</p>					

	<p>mantenimiento dentro del área de trabajo.</p> <p>No se realizará mantenimiento y reparación de equipos en la zona de las obras, en caso de darse un desperfecto mecánico estos serán trasladados al plantel para su reparación.</p> <p>Todos los vehículos del contratista, no deben emitir niveles de contaminación que excedan los límites permisibles, de acuerdo a las disposiciones establecidas en el Decreto N° 32-97, Reglamento General Para el Control de Emisiones de los Vehículos Automotores de Nicaragua.</p>					
Generación de polvo	Humedecimiento periódico de las zonas donde se estén ejecutando actividades. Se debe prohibir, el uso de aceite quemado para el	Las unidades que trasladan materiales circulan a velocidades	Desvíos	Cada 15 días	Cantidad de unidades y equipos utilizados por la empresa	

	control de polvo en las áreas de trabajo. Establecer límites de velocidad en camiones para evitar emisiones de polvo	menores de 40 Km/h. en sitios poblados y en desvíos. Riegos con agua en las áreas de rodamiento en desvíos al menos 2 veces al día en el periodo seco.			constructora, programa de trabajo, número de desvíos.	
Producción de ruidos	Brindar mantenimiento periódico a la maquinaria y equipo para garantizar su buen funcionamiento	Ordenes de mantenimiento de vehículo y maquinaria realizadas	Plantel donde se estacionan los vehículos y la maquinaria	Cada 15 días	Listado de vehículos y maquinaria	Del monitoreo: UGA-MTI/Alcaldía Municipal/UCP-BM De aplicación de la medida: MCA
Riesgo de accidentes durante la ejecución de obras y transporte de materiales	Deberá cumplirse con el Plan de Higiene y Seguridad Ocupacional.  Brindar Equipo de Protección Personal a trabajadores.  Mantener señalización nocturna, luminosa de	Personal que utiliza equipo de protección. Instrumentos de señalización nocturna	Sitio de trabajo	Cada 15 días	Listado de Actividades a realizarse durante la ejecución de la obra y listado de personal	Del monitoreo: UGA-MTI/Alcaldía Municipal/UCP-BM De aplicación de la medida: MCA

	<p>buena calidad de manera permanente mostrando el paso seguro de los vehículos.</p> <p>Prohibir la presencia de observadores, especialmente niños, en los sitios donde se esté trabajando con maquinaria pesada. Colocar señalización temporal preventiva tanto en los pasos reducidos como en los equipos de construcción parqueados para su clara identificación nocturna.</p> <p>Colocar señales visibles en los lugares de salida y entrada de camiones</p> <p>Regular la velocidad de circulación de la maquinaria que se encuentra trabajando en el proyecto</p>					
--	---	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

## **5.10 Plan de Contingencia**

El objetivo principal es proporcionar una respuesta inmediata y eficiente ante las posibles eventualidades e inconvenientes que puedan obstaculizar las actividades del proyecto. Para lograrlo es necesario un programa de prevención y atención de contingencias, del cual participen todos los actores relacionados con el proyecto, con el fin de proteger la salud y vida humana, los recursos naturales y los bienes del proyecto, así como para evitar retrasos y costos adicionales.

El programa está dirigido principalmente a accidentes de trabajadores, derrames de productos tóxicos, deterioro de la salud de los trabajadores, derrumbes, incendios y daños a terceros. El contratista deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Identificar posibles amenazas durante la ejecución, y definir contingencias apropiadas para cada eventualidad.
- Definir una estructura organizacional del personal que estará involucrado en una respuesta a emergencia.
- Definir medidas de seguridad para evitar la ocurrencia de contingencias. - Establecer claros canales de comunicación con los ejecutores del proyecto. - Identificar áreas vulnerables que puedan requerir acción prioritaria en caso de emergencia.
- Dar entrenamiento práctico del personal frente a la ocurrencia de emergencias. - Localizar de forma clara y permanente el equipo requerido para responder a las contingencias. Para la zona se han determinado los siguientes riesgos:
  - Sismología
  - Inundaciones
  - Erupciones volcánicas

Para dichas amenazas naturales determinadas se procederá a establecer la actuación del contratista y el personal en caso de acontecer dicha eventualidad. El proceder se expondrá en la tabla siguiente.

**Tabla N° 44. Plan de Contingencia**

Riesgo	Etapa	Medida	Responsable
Sismicidad	Antes	Capacitar al personal sobre actuar ante la ocurrencia de sismos	El contratista
		Establecer puntos de reunión del personal que se encuentren alejados de infraestructura vertical y vegetación	El contratista
		Contar con botiquín de primeros auxilios que contenga como mínimo linterna, ropa de abrigo e impermeable, radio de pilas, guantes y botas de goma, botiquín, mantas y la medicación.	El contratista
	Durante	Acudir a los puntos de seguridad establecidos	El contratista
		Detener la maquinaria	El contratista
		Evitar el pánico y establecer la calma	El contratista
	Después	Llamar a autoridades competentes en caso de ocurrir accidentes	El contratista
		Precaución por replicas	El contratista
		Evalúe daños de infraestructura y maquinarias	El contratista
Inundaciones	Antes	Contar con botiquín de primeros auxilios que contenga como mínimo linterna, ropa de abrigo e impermeable, radio de pilas, guantes y botas de goma, botiquín, mantas y la medicación	El contratista
		Capacitar al personal sobre actuar ante la ocurrencia de inundaciones	El contratista
Inundaciones	Antes (Cont.)	Establecer puntos de reunión en zonas altas	El contratista
		Tener números de emergencia a mano	El contratista
	Durante	Apagar la maquinaria	El contratista
		Trasladarse a las zonas de reunión establecidas	El contratista

		Evitar entrar en contacto con el agua ya que puede haber obstáculos que imposibiliten el tránsito o esta puede estar en contacto con aguas residuales	El contratista
	Después	Llamar a los teléfonos de emergencia en caso necesario	El contratista
		Escuche los medios de comunicación y siga las instrucciones de las autoridades y la ruta de evacuación recomendada	El contratista
Erupciones volcánicas	Antes	Establecer puntos de reunión en zonas altas y que se encuentren en dirección contraria a la dirección del viento.	El contratista
		Tener números de emergencia a mano	El contratista
		Contar con botiquín de primeros auxilios que contenga como mínimo linterna, ropa de abrigo e impermeable, radio de pilas, guantes y botas de goma, gasas, alcohol, jabón neutro, mantas y mascarillas	El contratista
	Durante	Apagar los equipos	El contratista
	Durante (cont.)	Trasladarse a las zonas establecidas, las cuales deben estar bajo techo preferiblemente, si no lo encuentra, procure respirar a través de una tela humedecida de agua o vinagre, eso evita el paso de los gases y el polvo volcánico.	El contratista
		En caso de encontrarse atrapado durante la emisión de cenizas es recomendable encullarse y cubrir la cabeza	El contratista
		Evitar las áreas bajas donde se pueden depositar gases venenosos y donde los aluviones pueden ser de mayor peligro.	El contratista
		Proteja sus ojos cerrándolos tanto como sea posible. Emplee gafas de seguridad	El contratista
		Escuche los medios de comunicación y siga las instrucciones de las autoridades	El contratista

		Emplear ropa que cubra brazos y piernas que permita protegerlos de cenizas, gases, etc.	El contratista
	Después	Llamar a los teléfonos de emergencia en caso necesario	El contratista
		Escuche los medios de comunicación y siga las instrucciones de las autoridades y la ruta de evacuación recomendada	El contratista
		Alejarse de la ceniza volcánica	El contratista
		Mantenga cubierta la piel para evitar irritaciones o quemaduras	El contratista
		Manténgase en sitios de reunión hasta nuevo aviso	El contratista

Fuente: Elaboración propia.

### **5.10.1 Explotación de Bancos de préstamos de Materiales**

Previo al inicio de los trabajos, el contratista debe identificar, conjuntamente con el supervisor y el Municipio, los bancos de materiales necesarios.

Para la obtención de explotación deben obtener los permisos ambientales de la Delegación Territorial del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), Ministerio de Energía y Minas (MEM), Aval de la Alcaldía Municipal, así como los permisos respectivos de los dueños de los bancos de préstamos, todo según lo establecido en la Ley 730 y su reglamento.

El contratista debe preparar y presentar un PGA de cada banco de préstamos, y debe de obtener la aprobación por el MARENA, antes de iniciar la explotación de los mismos. El contratista deberá preparar un Plan de Gestión Ambiental del banco de materiales incluyendo en él, todas las actividades a ejecutarse en ellos, como son las voladuras, esta tarea es una de las más peligrosas y debe ser considerada como un quehacer puntual; estas detonaciones se realizarán en las canteras que presenten material con características de roca basáltica; además de posibles aterramientos de personal por taludes altos y verticales, niveles de polvo y

sonoros. Se afectará directamente a vegetación, fauna, geomorfología, arrastres de materiales a cuerpos de agua y desestabilización de taludes.

Algunas de las consideraciones que deberán ser incluidas en los planes de manejo de los bancos de materiales son:

Protección de la capa vegetal. En el Banco de Material donde se cortará la capa vegetal debe protegerse y almacenarse en un área previamente seleccionada. Al finalizar la extracción de material deberá colocarse y dar paso al nacimiento de nueva vegetación.

Estabilización de los taludes. Es importante que durante el aprovechamiento se siga una metodología por banqueo, procurando ir dejando la inclinación óptima del talud de corte en cada Banco de Material, según las características de los materiales presente, lo ideal es 1:1. Al finalizar la explotación debe llevarse a efecto la tarea de ir identificando los sitios inestables y proceder a la reconfiguración.

Protección del suelo por posible derrame de hidrocarburo. El supervisor responsable del aprovechamiento deberá establecer un minucioso control y chequeo de todos los equipos que se están utilizando de tal manera que no se observen fugas o filtraciones de hidrocarburos, es caso de identificarse una posible filtración el equipo deberá salir temporalmente de operación y retornarlo hasta que la falla sea superada o reparada.

Debe descartarse todas las posibilidades de almacenamiento de combustible, en grandes cantidades, en las áreas de explotación de material. El Contratista dispondrá de un medio para abastecer a los equipos que laboran en la extracción de material. Para el almacenamiento de las pequeñas cantidades de combustible, aceites o lubricantes el Contratista debe seleccionarse un área e impermeabilizarla y disponer una fosa con capacidad de al menos 1/3 del almacenamiento.

Saneamiento ambiental. Deben instalarse letrina para los trabajadores. Dicha letrina deberá estar equipada de su caseta. Esta letrina deberá estar ubicada de

manera estratégica, analizando posibles fuentes de contaminación debido a su ubicación. El aseo debe realizarse diariamente. Al finalizar las actividades de extracción la fosa deberá rellenarse con material del Banco.

Drenaje superficial. El Contratista deberá asegurar el drenaje superficial en el piso del Banco de Material, principalmente en las áreas que fueron explotadas considerando la pendiente natural del sitio. Para ello, el Contratista rellenará todas las oquedades eliminando así las charcas y la pendiente conveniente que evite erosión.

Utilización de equipos de protección. Es obligatorio que la Empresa Constructora suministre el equipo necesario, tales como: casos, guantes, orejeras, anteojos, máscaras anti-polvo y botas a todos los trabajadores que están en el área de explotación. Será exigido el uso de los equipos de protección. Riego. El Contratista debe disponer de una cisterna para mitigar el polvo que se provoca con el paso de los camiones volquetes sobre los caminos de acceso, dando mayor atención en áreas pobladas, sector de escuelas, entre otros. Igualmente, deberá realizar riego para disminuir el polvo en el Banco de Material.

Protección de la fauna local. Deben establecerse sanciones hasta de despido para aquellos trabajadores que causen daño a esta especie considerada como en peligro de extinción.

Señalamiento preventivo. Es obligación del Contratista la ubicación de señales preventivas que ayudará de gran manera a la reducción de accidentes con los usuarios de la Carretera. Los sitios obligatorios para la ubicación de estas señales serán: la entrada a los Bancos de Material en ambos lados por la salida de los camiones volquetes; en el camino de acceso; intersecciones con el camino. Tanto en la salida del Banco como en las intersecciones debe garantizarse banderilleros (persona con bandera roja indicando el peligro por el paso de los camiones volquetes).

Cubrir la carga de los camiones. Será también obligación del Contratista que todos los camiones volquetes en actividades de carga y traslado de material deban contener una lona o carpa para cubrir el material al momento del transporte sobre la vía, de lo contrario este o estos camiones no deberán circular.

Legalización de acuerdo con el propietario del Banco de Material. Se debe negociar con el propietario un costo justo por compensación del aprovechamiento en sus terrenos. Esta Legalización será a través de un Abogado señalando los acuerdos alcanzados para el permiso de explotación del Banco de Material.

Conformación de las áreas explotadas. Debe identificarse y definirse adecuadamente las áreas que serán objeto de conformación, seleccionándose los sitios que fueron afectados por la extracción de los materiales, entre ellos están: los caminos de accesos, las áreas descapotadas, zonas de acopio, corte de materiales, taludes inestables y piso del Banco. Identificados los sitios debe procederse a la ejecución propiamente dicha de los trabajos y actividades de cierre y conformación de los Bancos. Dentro de ellos debe considerarse, la limpieza del material de Banco cuyo uso futuro no fue definido; limpieza de las ramas y troncos de árboles tumba para el aprovechamiento de material; cierre satisfactorio de fosas u oquedades. Perfilado de taludes, habilitación del drenaje en cada sitio; restauración de la capa vegetal; nivelación de sitios de accesos.

### **5.11 Plantación de árboles**

Las actividades de siembra de árboles con especies nativas presentan beneficios que se reflejan principalmente en la conservación de suelos, disminución de la escorrentía, aumento de la infiltración de agua de lluvia favoreciendo a las demás plantas a disponer de agua durante más tiempo.

Cabe destacar que debido a que el proyecto se desarrolla sobre un derecho de vía ya existente, por lo cual no habrá impactos significativos a la cobertura vegetal, no hubo necesidad de realizar un inventario forestal. No obstante, se pretende a través de este Plan de Siembra, contribuir a mejorar las condiciones de degradación en que se encuentra la micro-cuenca hidrográfica donde se ubica el proyecto, al mismo tiempo, las actividades a realizarse dentro de este Plan se constituyen en “obras y/o medidas de Adaptación al cambio climático”, las cuales aportan a la sostenibilidad de la inversión. A través de la revegetación, se dará

mantenimiento a la cobertura boscosa, garantizando la estabilidad de los taludes y reduciendo el riesgo de deslizamientos violentos.

Los por menores del Plan de Siembra se describen a continuación en la Tabla No. 7 en la cual se presenta: definición de las especies, tamaños, distancias de siembra, criterios de verificación, propuesta de lugares para la siembra y el responsable de aplicar la medida.

→ **Objetivos Específicos**

- Sembrar 5,000 árboles con el fin de contribuir a mejorar las condiciones de degradación en que se encuentra la micro-cuenca hidrográfica donde se ubica el proyecto.
- Contribuir a crear conciencia de la protección del medio biótico de importancia y de las especies existentes dentro del área de influencia directa del proyecto.
- Desarrollo del Plan de Siembra

Para la implementación del plan se desarrollarán las siguientes actividades:

- Selección de lugares específicos donde se van a hacer las siembras. Se deben seleccionar lugares de propiedad pública y que beneficien a la comunidad. Los árboles sembrados serán propiedad del Municipio, quien se encargará de su cuidado y mantenimiento al finalizar el proyecto. Estos lugares se definirán en conjunto entre la Unidad Ambiental Municipal, MARENA, INAFOR y la UGA-MTI, en coordinación con el Supervisor Ambiental de la Empresa Constructora. Se dará prioridad a la plantación de especies a ambos lados de la vía y fuera del derecho de vía, para reducir ruidos e impacto visual.

- Se dará prioridad a la plantación de especies a ambos lados de la vía y fuera del derecho de vía, para reducir ruidos e impacto visual.

- Limpieza y preparación del área: Esta actividad comprende chapea del área de manera que permita mayor facilidad de establecer los árboles, eliminar malezas que puedan competir con las plantas y facilitar el crecimiento de las mismas.

- Obtención de material vegetativo: Se recomienda que las plántulas se obtengan a través de MARENA o de INAFOR de la región y de los viveros próximos para evitar pérdidas en viveros y transporte al proyecto.

- Siembra: Las plantas serán sembradas con el método de raíz cubierta abriéndose hoyos de al menos 20 cm de profundidad. La distancia entre plantas será de 6 m. Se deberá cumplir con lo siguiente:

- La planta deberá estar regada recientemente antes de plantarla.
- Las partes muertas de las raíces dañadas se eliminarán antes de proceder a la plantación.
- Una vez colocada la planta en el hoyo se añadirá la cantidad de tierra precisa para que el cuello de la raíz quede ligeramente enterrado. Se compactará ligeramente y se realizará el alcorque del tamaño adecuado para recoger la dosis de riego prevista.
- En caso necesario, para evitar que los pies plantados crezcan torcidos y asegurar la estabilidad, se colocarán tutores de longitud proporcional al tamaño de la planta, asegurando su correcto anclaje al suelo y que no dañe o estrangule la planta.
- Las plantas de talla pequeña dispondrán de protectores individuales perforados siempre y cuando pueda existir presencia de ganado o animales pequeños que puedan dañarlas, o cuando sea necesario proteger a determinadas especies de la insolación directa.
- Una vez acabada la plantación, antes de que transcurran 24 horas, es necesario realizar un riego generoso de plantación.
- La dosis de riego a cada planta será de 5-8 litros de agua por planta.

La alcaldía será la encargada de las actividades de mantenimiento de siembras y plantaciones:

- Mantenimiento: Consistirá en la limpieza de malezas para mantener las plantas saludables y con buen crecimiento.

- Replantación y resiembras: sustitución de individuos muertos o enfermos y siembra en claros de vegetación. Esta operación se realizará en época óptima para plantación.

- Riego de mantenimiento: se obviará esta labor cuando las condiciones meteorológicas locales aporten una precipitación suficiente para garantizar la supervivencia de las siembras y plantaciones. De manera general se aplicarán de 4 a 8 riegos de mantenimiento al año durante 2 años.

- Mantenimiento de alcorques: para garantizar que se encuentren siempre en buenas condiciones para recoger el agua. Se realizará al menos 2 veces al año e inmediatamente antes de proceder al primer riego de mantenimiento del año.

- Mantenimiento de tutores y protectores.

- Podas y desbroces. La poda se realizará sólo en caso necesario. El contratista deberá colocar rótulos acerca de la plantación indicando la finalidad de la reforestación y el proyecto que la promueve. Así mismo, se colocarán rótulos informativos sobre las especies que son sembradas y su importancia biológica.

# **CAPÍTULO VI**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1 Conclusiones

- Se cortarán 45 cm para la subrasante ya que los suelos buenos están en la capa superficial y a partir de los 20 cm se encuentra una capa de suelos regulares o malos.
- Los estudios geotécnicos que se realizaron en la investigación de la fuente de materiales “**Wilfredo Castillo ubicado en la estación 5+300**” determinaron que los materiales existentes en ella son aptos para su uso en la capa de base ya que cumple con especificaciones de la norma del Nic – 2000.
- El estudio de tránsito refleja que la afluencia vehicular es mayoritariamente de vehículos livianos con un 88%. El ESAL's obtenido fue **145,347** ejes equivalentes por carril de diseño.
- 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 3.3 obteniendo los siguientes resultados:
- La estructura de pavimento está conformada por tres capas: la capa de rodadura (adoquín) de 4 pulgadas; la cama de arena de 2 pulgadas y la base de 12 pulgadas de espesor, el cual cumple con las especificaciones de la AASHTO – 93.
- Los impactos ambientales detectados pueden ser considerados de baja significancia en vista de que no representan una alteración permanente al medio ambiente cuya afectación no va más allá del período de ejecución de las mismas.
- Las medidas de mitigación no representan una inversión significativa, están limitadas al cumplimiento de prácticas adecuadas de manejo de desechos, limpieza, mantenimiento preventivo de los equipos y selección adecuada de sitios para depósitos de materiales.

## 6.2 Recomendaciones

- Se deberá llevar un estricto control de compactación de campo al momento de colocar los materiales de los bancos.
  
- Realizar conteos vehiculares o de tránsito de forma periódica para verificar si el ESAL's de diseño cumple con el correspondiente periodo de diseño.
  
- Realizar mantenimiento periódico (cuando la estructura de pavimento tiene fallas estructurales principalmente, deformaciones considerables, Fallas que ameriten baches profundos, fallas en obras hidráulicas etc.) que permitan que la vía recupere las condiciones iniciales de construcción.
  
- Realizar pruebas de resistencia a los adoquines, para comprobar que cumple las especificaciones técnicas requeridas.
  
- Garantizar que los materiales a utilizarse sean adquiridos en fábricas certificadas una de estas podría ser Agrenic, como una forma de asegurarse de que cumplan con la calidad requerida.
  
- Construir vigas longitudinales a lo largo del tramo a adoquinar para evitar el movimiento de adoquines, y vigas transversales en función de las pendientes.
  
- Garantizar el debido cumplimiento de las medidas de Mitigación y Correctoras propuestas para la protección del Medio ambiente evaluadas acorde a los factores afectados en la etapa de Construcción de la Obra.

### **6.3 Bibliografía**

Alfonso Montejo Fonseca. (2001). Ingeniería de Pavimentos para Carretera (2da. Edición ed).

García, L., & Aburto, A. (2003). Manual Elemental de Servicios Municipales. Managua.

INIDE. (2007). Estimaciones y Proyecciones de Población, Nacional, Departamental y Municipal. Managua.

Iturbide, I. J. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (SIECA). Guatemala, Guatemala.

Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón. (2006). Diseño de Pavimentos AASHTO - 93 (3ra. Edición ed.). La Paz, Bolivia.

NIC – 2000. (Año 1999). Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes.

(MTI), M. d. (2015). Anuario de Aforos de Tráfico. Managua.

(MTI). (2000). Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes (Nic - 2000). Managua.

(MTI). (2008). Clasificación vehicular del MTI.

Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93

Rivera, M. A. (2007). Manual de Impacto Ambiental. Managua.

# **ANEXOS CAPÍTULO I**

**Anexo N°. 1. Imagen N° 1. Tramo de carretera Empalme de Tranquera – Caserío Santa Fé**



Fuente: Elaboración propia. Estación 0 + 650

**Anexo N°. 2. Imagen N° 2. Tramo de carretera Empalme de Tranquera –  
Caserío Santa Fé**



Fuente: Elaboración propia. Estación 1 + 500

# **ANEXOS CAPÍTULO II**

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

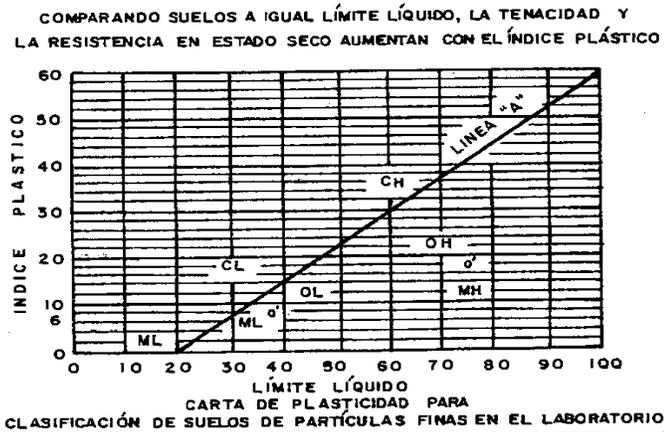
<b>Clasificación de suelos por el método AASHTO</b>											
<b>Clasificación general</b>	<b>Materiales granulares (35%, ó menos, pasa el tamiz No. 200)</b>							<b>Materiales limo-arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz No. 200)</b>			
<b>Grupos</b>	<b>A - 1</b>		<b>A - 2</b>								<b>A-7</b>
<b>Subgrupos</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.
Índice de plasticidad	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	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 Montejó, pág 46.

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

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO						
<b>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS</b> MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA Nº200 (φ) PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO	<b>ARENAS</b> MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA LA MALLA Nº4 (Úsese la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo)	ARENAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS) SC	SIMBOLOS DEL GRUPO GW	DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRASA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA Nº200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUIEN: MENOS DE 5% : GW, GP, SW, SP MÁS DE 12% : GM, GC, SM, SC	COEF DE UNIFORMIDAD (C <sub>u</sub> ) = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$ , MAYOR DE 4 COEF DE CURVATURA (C <sub>c</sub> ) = $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ , ENTRE 1 y 3	
		ARENAS LIMPÍAS (POCO O NADA DE PART. FINAS) SP	GP			NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW
		ARENAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS) SM	GM			LÍMITES DE PLASTICIDAD ABAJO DE LA LÍNEA "A" O I <sub>p</sub> MENOR QUE 6
		ARENAS LIMPÍAS (POCO O NADA DE PART. FINAS) SW	GC			LÍMITES DE PLASTICIDAD ARRIBA DE LA LÍNEA "A" CON I <sub>p</sub> MAYOR QUE 6
		ARENAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS) GP	GW			COEF DE UNIFORMIDAD (C <sub>u</sub> ) = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$ , MAYOR DE 6 COEF DE CURVATURA (C <sub>c</sub> ) = $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ , ENTRE 1 y 3
	<b>GRAVAS</b> MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA ES RETENIDA EN LA MALLA Nº4	GRAVAS LIMPÍAS (POCO O NADA DE PART. FINAS) GP	SIMBOLOS DEL GRUPO GW			NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW
		GRAVAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS) GM	GP			LÍMITES DE PLASTICIDAD ABAJO DE LA LÍNEA "A" O I <sub>p</sub> MENOR QUE 6
		GRAVAS LIMPÍAS (POCO O NADA DE PART. FINAS) SW	GM			LÍMITES DE PLASTICIDAD ARRIBA DE LA LÍNEA "A" CON I <sub>p</sub> MAYOR QUE 6
		GRAVAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS) GP	GW			COEF DE UNIFORMIDAD (C <sub>u</sub> ) = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$ , MAYOR DE 6 COEF DE CURVATURA (C <sub>c</sub> ) = $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ , ENTRE 1 y 3
		GRAVAS LIMPÍAS (POCO O NADA DE PART. FINAS) GP	GW			NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA SW
<b>SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS</b> MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA LA MALLA Nº200 (ÚSESE LA CURVA GRANULOMÉTRICA)	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LÍMITE LÍQUIDO MENOR DE 50	ML	EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS G. GRAVA M. LIMO O. SUELOS ORGÁNICOS W. BIEN GRADUADOS L. BAJA COMPRESIBILIDAD S. ARENA C. ARCILLA P. TURBA P. MAL GRADUADA H. ALTA COMPRESIBILIDAD			
		CL				
		OL				
	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50	MH				
		CH				
		OH				
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>	P <sub>t</sub>					



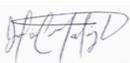
Fuente: Ing. de Pavimentos para Carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejo, pág 53.

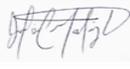
### Anexo N°. 3. Correlación entre el tipo de material, CBR y K

Clasificación AASHTO	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.

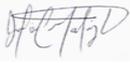
## Anexo N°. 4. Resultado de Ensayes de Suelo ASP, Consultores

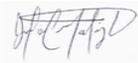
INFORME DE PRUEBAS DE SUELOS					
	Elaborado por: Pamela Henríquez O.		Elaborado: 19/07/2010	Nombre y Firma de Aprobación: Ing. Mariana Giron 	
			Fecha última Versión: 05/11/2013		
PROYECTO: <i>Proyecto de Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras Tramo N.º 5 Empalme la Sirena- San Juan de Limay</i>					
LOCALIZACIÓN: <b>Laboratorio Central</b>		FECHA O PERIODO DE ENTREGA: <b>08-m</b>			
DATOS GENERALES					
FECHA DE ANALISIS	5/3/2016		5/3/2016		
CODIGO DE SOLICITUD	LC-1840		LC-1840		
CODIGO DE MUESTRA	SO-MTI-2012-55(009)		SO-MTI-2012-55(010)		
TIPO DE MUESTRA	MATERIAL SELECTO EXISTENTE		SUB RASANTE EXISTENTE		
ESTACION	0+000		0+000		
No. DE MUESTRA	MUESTRA#1 CALICATA#1		MUESTRA#2 CALICATA#2		
PROFUNDIDAD DE METROS	0.00 A 0.30		0.30 A 1.00		
UBICACIÓN DEL MUESTREO	LADO DERECHO		LADO DERECHO		
GRANULOMETRIA Y CLASIFICACIONES					
% PASA CADA TAMIZ	MATERIALES GRUESOS	NORMA			
	75mm(3")		<b>100</b>		
	63mm(2-1/2")		<b>93.34</b>		
	50mm(2")		<b>86.7</b>		
	37.5mm(1-1/2")		<b>80.34</b>		
	25mm(1")		<b>75.91</b>		
	19mm(3/4")		<b>71.47</b>		
	9.5mm(3/8")		<b>61.4</b>	<b>96.5</b>	
	4.75mm(No.4)		<b>53.4</b>	<b>94</b>	
	MATERIALES FINOS				
	2.00mm(No.10)		<b>46.1</b>	<b>90.2</b>	
	425mm(No.40)		<b>35</b>	<b>83.9</b>	
75mm(No.200)	<b>26.4</b>		<b>77.4</b>		
CLASIFICACION UNIFICADA	D 2487-85	<b>SM, Arena Limosa</b>	<b>CL, Arcilla elastica altamente plastica</b>		
CLASIFICACION ASSHTO	M 145-91(2004)	<b>A-2-4; Arena Limosos</b>	<b>A-7-5; Suelos Arcilloso</b>		
LIMITES DE ATTERBERG					
LIMITE LIQUIDO, %		<b>40.4</b>	<b>61.67</b>		
LIMITE PLASTICO, %		<b>30.7</b>	<b>32.02</b>		
INDICE DE PLASTICIDAD, %		<b>9.7</b>	<b>29.65</b>		
OTROS ENSAYOS					
P.U ESTANDAR COMP. Kg/m (lbs/pie)		<b>1667.44</b>	<b>1310.00</b>		
HUMEDAD OPTIMA		<b>19.30</b>	<b>33.70</b>		
Norma: todas las normas son ASSTHO, excepto ASTM, NLT					
OBSERVACIONES:					
 <b>LABORATORISTA: Hector Pagoada</b>		 <b>NOMBRE Y FIRMA</b>	 <b>INGENIERO RESPONSABLE: Ing. Julio Martinez Discua</b> <b>NOMBRE Y FIRMA</b>		

		INFORME DE PRUEBAS DE SUELOS		
		Elaborado por: Pamela Henriquez O.	Elaborado: 19/07/2013 Fecha ultima Version: 05/11/2016	Nombre y Firma de Aprobacion: Ing. Mariana Giron
PROYECTO: <i>Proyecto de Rehabilitacion y Mantenimiento de Carreteras Tramo N°5 Empalme la Sirena- San Juan de Limay</i>				
LOCALIZACION: <b>Laboratorio Central</b>		FECHA O PERIODO DE ENTREGA: <b>08-m</b>		
DATOS GENERALES				
FECHA DE ANALISIS	5/3/2016	5/3/2016	5/3/2016	5/3/2016
CODIGO DE SOLICITUD	LC-1840	LC-1840	LC-1840	LC-1840
CODIGO DE MUESTRA	SO-MTI-2012-55(0011)	SO-MTI-2012-55(0012)	SO-MTI-2012-55(0013)	SO-MTI-2012-55(0013)
TIPO DE MUESTRA	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO
ESTACION	0+250	0+500	0+750	0+750
No.DE MUESTRA	MUESTRA#1	MUESTRA#1	MUESTRA#1	MUESTRA#1
PROFUNDIDAD DE METROS	0.00 A 1.00	0.00 A 1.00	0.00 A 1.00	0.00 A 1.00
UBICACION DEL MUESTREO	LADO DERECHO	LADO DERECHO	LADO DERECHO	LADO DERECHO
GRANULOMETRIA Y CLASIFICACIONES				
% PASA CADA TAMIZ	MATERIALES GRUESOS	NORMA		
	90mm(3-1/2")		100	
	75mm(3")		96.4	
	63mm(2-1/2")		92.2	
	50mm(2")		84.6	100
	37.5mm(1-1/2")		76.4	96.6
	25mm(1")		57.9	95.6
	19mm(3/4")		47.6	93.1
	9.5mm(3/8")		29.8	89.5
	4.75mm(No.4)		18.6	80.3
	MATERIALES FINOS			
	2.00mm(No.10)		12.4	72.3
	425mm(No.40)		5.9	62.1
	75mm(No.200)		2.4	51.2
CLASIFICACION UNIFICADA	D 2487-85	GM, Grava Limosa con arena	CL, Arcilla elastica altamente plastica	SM, Arena con presencia de limos
CLASIFICACION ASSHTO	M 145-91(2004)	A-2-5 Gravas y Arenas limosas	A-7-5; Suelos Arcilloso	A-2-7; Arena Limosa
LIMITES DE ATTERBERG				
LIMITE LIQUIDO, %		59.3	57.7	50.74
LIMITE PLASTICO, %		50.1	34.2	39
INDICE DE PLASTICIDAD, %		9.3	23.5	11.74
OTROS ENSAYOS				
P.U.ESTANDAR COMP. Kg/m (lbs/pie)		1771.00	1524.83	1402.00
HUMEDAD OPTIMA		10.20	22.70	27.20
Norma: todas las normas son ASSHTO, excepto ASTM, NLT				
OBSERVACIONES:				
 LABORATORISTA: <i>Hector Pagoda</i>		 NOMBRE Y FIRMA	 INGENIERO RESPONSABLE: <i>Ing. Julio Martinez Discua</i> NOMBRE Y FIRMA	

		INFORME DE PRUEBAS DE SUELOS		
		Elaborado por:	Elaborado: 19/07/2010 Fecha ultima Version: 05/11/2013	Nombre y Firma de Aprobacion: Ing. Mariana Giron 
PROYECTO: <u>Proyecto de Rehabilitacion y Mantenimiento de Carreteras Tramo N°5 Empalme la Sirena- San Juan de Limay</u>				
LOCALIZACION: <b>Laboratorio Central</b>		FECHA O PERIODO DE ENTREGA: <b>09-m</b>		
DATOS GENERALES				
FECHA DE ANALISIS	5/3/2016	6/3/2016	6/3/2016	6/3/2016
CODIGO DE SOLICITUD	LC-1840	LC-1840	LC-1840	LC-1840
CODIGO DE MUESTRA	SO-MTI-2012-55(009)	SO-MTI-2012-55(010)	SO-MTI-2012-55(011)	SO-MTI-2012-55(011)
TIPO DE MUESTRA	MATERIAL SELECTO EXISTENTE	SUB RASANTE EXISTENTE	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO
ESTACION	1+000	1+250	1+250	1+250
No.DE MUESTRA	MUESTRA#1	MUESTRA#1 CALICATA#	MUESTRA#2	MUESTRA#2
PROFUNDIDAD DE METROS	0.00 A 1.00	0.00 A 0.45	0.45 A 1.00	0.45 A 1.00
UBICACIÓN DEL MUESTREO	LADO DERECHO	LADO DERECHO	LADO DERECHO	LADO DERECHO
GRANULOMETRIA Y CLASIFICACIONES				
% PASA CADA TAMIZ	MATERIALES GRUESOS			
	75mm(3")			
	63mm(2-1/2")			100
	50mm(2")		93.45	98.11
	37.5mm(1-1/2")		91.02	94.61
	25mm(1")		82.5	90.85
	19mm(3/4")		84.42	87.84
	9.5mm(3/8")		79	80.3
	4.75mm(No.4)		72.4	74
	MATERIALES FINOS			
	2.00mm(No.10)		99.1	64.3
	425mm(No.40)		82.1	53.5
75mm(No.200)		28.1	40.1	
CLASIFICACION UNIFICADA	D 2487-85	GM; Grava Limosa con presencia de arena	ML, Limos arenosos ligeramente plastico	CL, Arcilla altamente plastica
CLASIFICACION ASSHTO	M 145-91(2004)	A-2-5; Arena Limosos	A-5; Suelos Arenoso	A-7-5; Suelos Arcilloso
LIMITES DE ATTERBERG				
LIMITE LIQUIDO, %		52.8	52.8	66.1
LIMITE PLASTICO, %		45.6	43.22	44.72
INDICE DE PLASTICIDAD, %		7.17	9.58	21.38
OTROS ENSAYOS				
P.U ESTANDAR COMP. Kg/m (lbs/pie)		1169.00	1527.00	1360.00
HUMEDAD OPTIMA		40.90	22.50	27.18
Norma: todas las normas son ASSHTO, excepto ASTM, NLT				
OBSERVACIONES:				
 LABORATORISTA: <i>Hector Pagoada</i>		 INGENIERO RESPONSABLE: <i>Ing. Julio Martinez Discua</i>		
NOMBRE Y FIRMA		NOMBRE Y FIRMA		

		INFORME DE PRUEBAS DE SUELOS		
		Elaborado por: Pamela Henríquez O.	Elaborado: 19/07/2010 Fecha última Versión: 05/11/2013	Nombre y Firma de Aprobación: Ing. Mariana Giron 
PROYECTO: <u>Proyecto de Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras Tramo N°5 Empalme la Sirena- San Juan de Limay</u>				
LOCALIZACIÓN: <b>Laboratorio Central</b>		FECHA O PERIODO DE ENTREGA: <b>09-m</b>		
DATOS GENERALES				
FECHA DE ANALISIS	6/3/2016	6/3/2016		
CODIGO DE SOLICITUD	LC-1840	LC-1840		
CODIGO DE MUESTRA	SO-MTI-2012-55(012)	SO-MTI-2012-55(013)		
TIPO DE MUESTRA	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO		
ESTACION	1+500	1+500		
No.DE MUESTRA	MUESTRA#2	MUESTRA#2		
PROFUNDIDAD DE METROS	0.00 A 0.55	0.55 A 1.00		
UBICACIÓN DEL MUESTREO	LADO DERECHO	LADO DERECHO		
GRANULOMETRIA Y CLASIFICACIONES				
% PASA CADA TAMIZ	MATERIALES GRUESOS	NORMA		
	75mm(3")		100	
	63mm(2-1/2")		94.39	
	50mm(2")		87.58	
	37.5mm(1-1/2")		82.28	
	25mm(1")		77.18	
	19mm(3/4")		74.95	
	9.5mm(3/8")		86.6	99.2
	4.75mm(No.4)		64.8	98.7
	MATERIALES FINOS			
	2.00mm(No.10)		59.9	97.9
	425mm(No.40)		54	93.7
75mm(No.200)		43.3	80	
CLASIFICACION UNIFICADA	D 2487-85	CL, Arcilla altamente plastica	CL, Arcilla altamente plastica	
CLASIFICACION ASSHTO	M 145-91(2004)	A-7-5; Suelos Arcilloso	A-7-5; Suelos Arcilloso	
LIMITES DE ATTERBERG				
LIMITE LIQUIDO, %		53.5	53.2	
LIMITE PLASTICO, %		36.89	33.3	
INDICE DE PLASTICIDAD, %		16.61	19.9	
OTROS ENSAYOS				
P.U ESTANDAR COMP. Kg/m (lbs/pie)		1554	1382.00	
HUMEDAD OPTIMA		19.70	28.70	
Norma: todas las normas son ASSTHO, excepto ASTM, NLT				
OBSERVACIONES:				
 LABORATORISTA: <i>Hector Pagoada</i>		 NOMBRE Y FIRMA	 INGENIERO RESPONSABLE: <i>Ing. Julio Martinez Discua</i> NOMBRE Y FIRMA	

		INFORME DE PRUEBAS DE SUELOS			
		Elaborado por: Pamela Henriquez O.	Elaborado: 19/07/2010 Fecha ultima Version: 05/11/2013	Nombre y Firma de Aprobacion: Ing. Mariana Giron 	
PROYECTO: <u>Proyecto de Rehabilitacion y Mantenimiento de Carreteras Tramo N°5 Empalme la Sirena- San Juan de Limay</u>					
LOCALIZACION: <b>Laboratorio Central</b>		FECHA O PERIODO DE ENTREGA: <b>09-m</b>			
DATOS GENERALES					
FECHA DE ANALISIS	6/3/2016	6/3/2016	6/3/2016	6/3/2016	
CODIGO DE SOLICITUD	LC-1840	LC-1840	LC-1840	LC-1840	
CODIGO DE MUESTRA	SO-MTI-2012-55(009)	SO-MTI-2012-55(010)	SO-MTI-2012-55(011)	SO-MTI-2012-55(011)	
TIPO DE MUESTRA	MATERIAL SELECTO EXISTENTE	SUB RASANTE EXISTENTE	MATERIAL SELECTO	MATERIAL SELECTO	
ESTACION	1+750	1+750	2+000	2+000	
No. DE MUESTRA	MUESTRA#1 CALICATA#1	MUESTRA#2 CALICATA#2	MUESTRA#1	MUESTRA#1	
PROFUNDIDAD DE METROS	0.00 A 0.15	0.15 A 1.00	0.00 A 1.00	0.00 A 1.00	
UBICACIÓN DEL MUESTREO	LADO DERECHO	LADO DERECHO	LADO DERECHO	LADO DERECHO	
GRANULOMETRIA Y CLASIFICACIONES					
% PASA CADA TAMIZ	MATERIALES GRUESOS	NORMA			
	75mm(3")		100		
	63mm(2-1/2")		96.8		
	50mm(2")		88.7		
	37.5mm(1-1/2")		83.2		
	25mm(1")		77.2		
	19mm(3/4")		73.7	100	
	9.5mm(3/8")		68.9	95.2	
	4.75mm(No.4)		64.5	92.8	
					98.5
	MATERIALES FINOS				
	2.00mm(No.10)		60.1	90.6	95
425mm(No.40)		50.9	86.3	76.9	
75mm(No.200)		38.7	68.7	52.4	
CLASIFICACION UNIFICADA	D 2487-85	ML, Limos Arenosos con presencia de grava	ML, Limos arenosos ligeramente plastico	CL, Arcilla moderadamente plastica	
CLASIFICACION ASSHTO	M 145-91(2004)	A-4; Limos Arenosos	A-5; Suelos Arenoso	A-7-5; Suelos Arcilloso	
LIMITES DE ATTERBERG					
LIMITE LIQUIDO, %		39	54	54.2	
LIMITE PLASTICO, %		29	45	39	
INDICE DE PLASTICIDAD, %		10	9	15.2	
OTROS ENSAYOS					
W <sub>L</sub> ESTANDAR COMP. Kg/m (lbs/pi)		1621	1366.00	1396.00	
HUMEDAD OPTIMA		20.10	29.50	30.10	
Norma: todas las normas son ASSTHO, excepto ASTM, NLT					
OBSERVACIONES:					
 LABORATORISTA: <u>Hector Pagoada</u>		 NOMBRE Y FIRMA	 INGENIERO RESPONSABLE: <u>Ing. Julio Martinez Discua</u> NOMBRE Y FIRMA		

		INFORME DE PRUEBAS DE SUELOS		
		Elaborado por: Pamela Henriquez O.	Elaborado: 19/07/2010 Fecha ultima Version: 05/11/2013	Nombre y Firma de Aprobacion: Ing. Mariana Giron 
PROYECTO: <u>Proyecto de Rehabilitacion y Mantenimiento de Carreteras Tramo N.º5 Empalme la Sirena- San Juan de Limay</u>				
LOCALIZACION: <b>Laboratorio Central</b>		FECHA O PERIODO DE ENTREGA: <b>09-m</b>		
DATOS GENERALES				
FECHA DE ANALISIS	6/3/2016	6/3/2016		
CODIGO DE SOLICITUD	LC-1840	LC-1840		
CODIGO DE MUESTRA	SO-MTI-2012-55(009)	SO-MTI-2012-55(010)		
TIPO DE MUESTRA	MATERIAL SELECTO EXISTENTE	MATERIAL SELECTO EXISTENTE		
ESTACION	2+900	5+300		
No. DE MUESTRA	MUESTRA#1 CALICATA#1	MUESTRA#1 CALICATA#1		
PROFUNDIDAD DE METROS	0.00 A 2.50	0.00 A 2.50		
UBICACIÓN DEL MUESTREO	LADO IZQUIERDO	LADO DERECHO		
GRANULOMETRIA Y CLASIFICACIONES				
% PASA CADA TAMIZ	MATERIALES GRUESOS	NORMA		
	75mm(3")			
	63mm(2-1/2")			
	50mm(2")		92.00	92.19
	37.5mm(1-1/2")		86.00	89.29
	25mm(1")		74.00	72.48
	19mm(3/4")		65.00	67.53
	9.5mm(3/8")		46.00	39.19
	4.75mm(No.4)		33.00	30.00
	MATERIALES FINOS			
	2.00mm(No.10)		26.00	26.30
	425mm(No.40)		19.00	22.30
75mm(No.200)		33.00	11.50	
CLASIFICACION UNIFICADA	D 2487-85	GM, Limos Arenosos con presencia de grava	GM, Limos arenosos ligeramente plastico	
CLASIFICACION ASSHTO	M 145-91(2004)	A-2-4; Grava Limosa	A-2-4; Grava Limosa	
LIMITES DE ATTERBERG				
LIMITE LIQUIDO, %		34	29	
LIMITE PLASTICO, %		26	19	
INDICE DE PLASTICIDAD, %		8	10	
OTROS ENSAYOS				
WU ESTANDAR COMP. Kg/m (lbs/pi)		1621	1366.00	
HUMEDAD OPTIMA		20.10	29.50	
Norma: todas las normas son ASSTHO, excepto ASTM, NLT				
OBSERVACIONES:				
 LABORATORISTA: <u>Hector Pagoada</u>		 NOMBRE Y FIRMA	 INGENIERO RESPONSABLE: <u>Ing. Julio Martinez Discua</u> NOMBRE Y FIRMA	

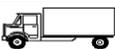
# **ANEXOS CAPÍTULO III**

## Anexo N°. 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 Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con lina en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. 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 (Traectores - 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 (Semoventes).

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

## Anexo N°. 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.
<b>C2</b>		5.00	10.00					<b>15.00</b>
<b>C3</b>		5.00	<b>16.50</b>					<b>21.50</b>
			8.25	8.25				
<b>C4</b>		5.00	<b>20.00</b>					<b>25.00</b>
			6.67	6.66	6.66			
<b>T2-S1</b>		5.00	9.00	9.00				<b>23.00</b>
<b>T2-S2</b>		5.00	9.00	<b>16.00</b>				<b>30.00</b>
				8.00	8.00			
<b>T2-S3</b>		5.00	9.00	<b>20.00</b>				<b>34.00</b>
				6.67	6.66	6.66		
<b>T3-S1</b>		5.00	<b>16.00</b>		9.00			<b>30.00</b>
			8.00	8.00				
<b>T3-S2</b>		5.00	<b>16.00</b>		<b>16.00</b>			<b>37.00</b>
			8.00	8.00	8.00	8.00		
<b>T3-S3</b>		5.00	<b>16.00</b>		<b>20.00</b>			<b>41.00</b>
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
<b>C2-R2</b>		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			<b>21.50</b>
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			<b>26.50</b>
<b>C3-R2</b>		5.00	<b>16.00</b>		4.0 a	4.0 a		<b>29.00</b>
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		<b>34.00</b>
<b>C3-R3</b>		5.00	<b>16.00</b>		4.0 a	5.0 a	5.0 a	<b>35.00</b>
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	<b>37.50</b>

**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: Clasificación vehicular del MTI. Página 8.

## Anexo N°. 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: Clasificación vehicular del MTI.

# **ANEXO CAPÍTULO IV**

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

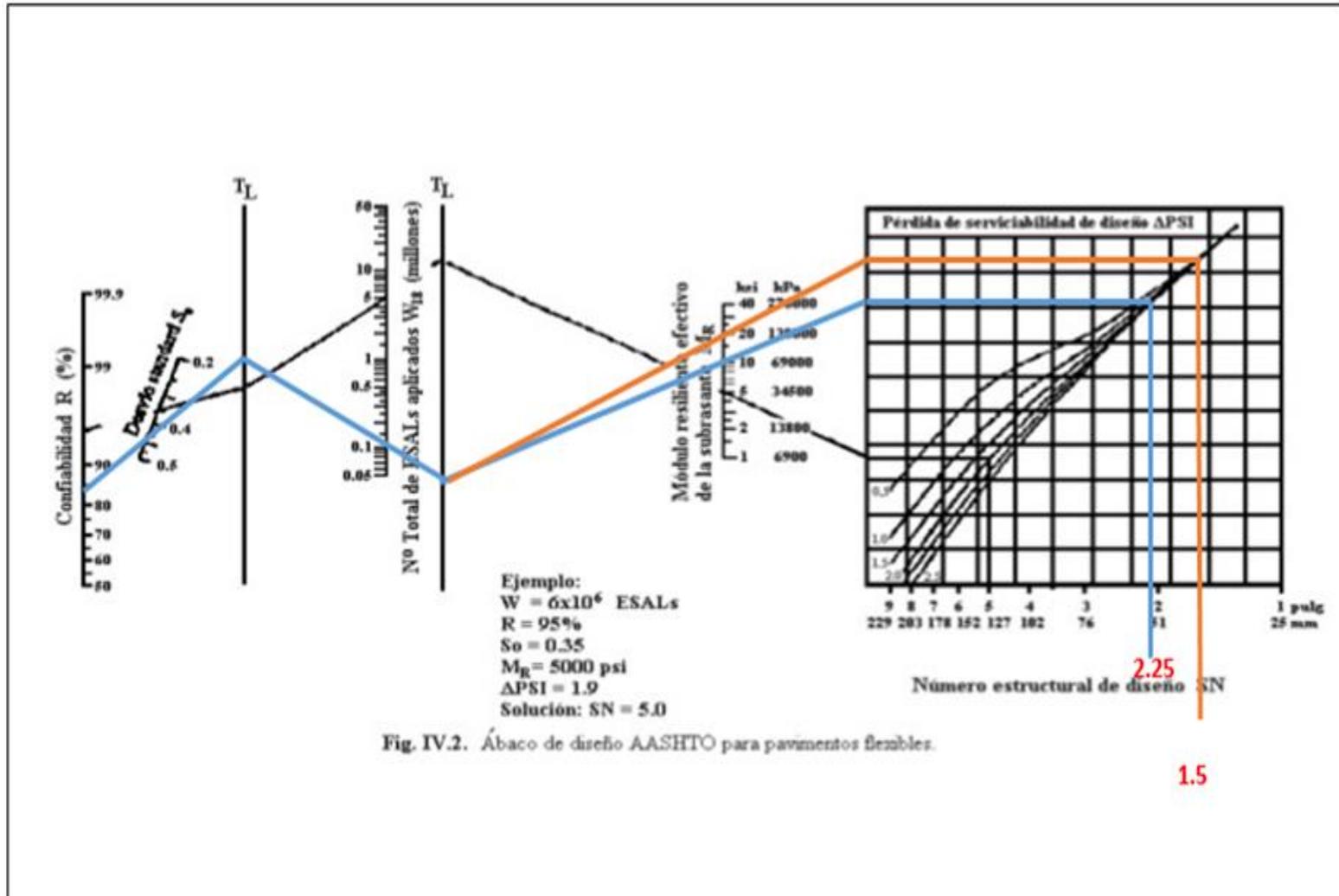
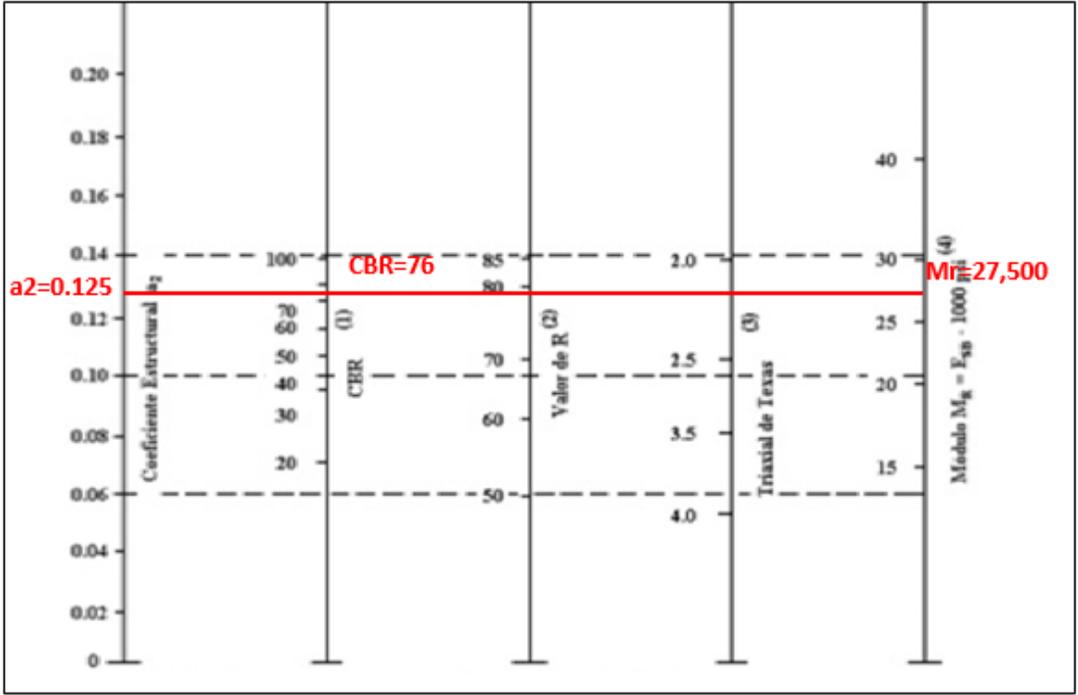


Fig. IV.2. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles.

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

**Anexo N°. 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.