



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**“REVISIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO EN EL TRAMO EL
GIGANTE – EL MURCIELAGO EN EL MUNICIPIO DE TOLA;
DEPARTAMENTO DE RIVAS (6Km)”.**

Para optar al título de ingeniero civil.

Elaborado por

Br. Claudia Patricia Solano Vargas.
Br. Darling Elizabeth Rivera Gutiérrez.

Tutor

Ing. Gioconda Isabel Juárez Romero.

Managua; Noviembre del 2019.

RESUMEN EJECUTIVO.

En este documento monográfico se realizará la **“Revisión del diseño de pavimento articulado (adoquinado) en el tramo El Gigante – El Murciélago en el Municipio de Tola; Departamento de Rivas (6Km)”**, en el que se hará uso de la Guía de Diseño de Pavimentos A.A.S.H.T.O – 93, para pavimento flexible, las Especificaciones Generales para la Construcción de Camino, Calles y Puentes NIC-2000, el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos S.I.E.C.A, edición 2010, entre otros documentos que han servido para consolidar dicha información.

Este documento consta de seis capítulos donde se reflejan los resultados obtenidos al realizar los estudios pertinentes:

Capítulo I - Generalidades: Se describen aspectos básicos del proyecto tales como; introducción, ubicación y localización del tramo en estudio, objetivos justificación y marco teórico conceptual.

Capítulo II – Estudio de Suelo: En este capítulo se presentan los distintos ensayos realizados a las muestras representativas extraídas en el tramo de carretera y de los bancos de préstamo cercanos al sitio, examinados para conocer sus características físico-mecánicas.

Capítulo III – Estudio de Tránsito: Se realizó un aforo vehicular el cual es necesario para determinar el tránsito de diseño y el número Esal's total, a partir datos como; el TPDA, tasas de crecimiento y el periodo de diseño, con el objetivo de verificar las cargas que actúan sobre la subrasante.

Capítulo IV – Diseño de la Estructura de Pavimento: Está enfocado en el diseño de la estructura de pavimento basándose en el Método de la guía AASHTO – 93, partiendo de los resultados obtenidos en el estudio de suelos y de tránsito para determinar los espesores idóneos que conforman la estructura de pavimento.

Capítulo V – Catálogo de Daños: Registra los daños visibles, existentes en la vía; clasificados según el Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, edición 2010.

Conclusiones y Recomendaciones: En esta parte del documento se aborda el resultado final del trabajo desarrollado en todo el documento, de igual manera se recomienda la realización de un mantenimiento periódico, para alargar su vida útil de la vía.

GLOSARIO.

Absorción: Fluido que es retenido en cualquier material después de un cierto tiempo de exposición (suelo, rocas, maderas, etc.).

Adoquín: los adoquines de concreto son elementos individuales que, colocados en un patrón definido, constituyen un pavimento con grandes ventajas y de buena durabilidad.

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

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

Agregado bien gradado: Agregado cuya gradación va desde el tamaño máximo hasta el de un relleno mineral y que se encuentra centrado a una curva granulométrica especificada.

Arcilla: Partículas finas con tamaño de grano menor a 2 μm (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 o capas de material colocado sobre la subbase o subrasante para soportar la capa superficial del pavimento.

Carretera, calle o camino: términos genéricos que designan una vía terrestre para fines de circulación de vehículos que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de la vía.

Carril: Cualquier subdivisión de la superficie de rodamiento que tenga ancho suficiente para permitir la circulación de una fila de vehículos.

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.

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.

Contenido de Humedad Óptimo: Es el contenido de humedad al cual un suelo o material granular al ser compactado utilizando un esfuerzo especificado proporciona una máxima densidad seca. El esfuerzo puede ser estándar o modificado.

Curva Granulométrica: Representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados.

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.

Empalme: Conexión de una carretera con otras, acondicionada para el tránsito vehicular.

Ensayo de compresión: Ensayo para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión

Especificaciones: en general se denomina con este nombre a la compilación de estipulaciones y requisitos detallados para la construcción de las obras de un proyecto.

Estratigrafía: Es la parte de la geología que estudia la forma, disposición y distribución geográfica, sucesión cronológica y relación de los estratos.

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

Granulometría: es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previsto por una escala granulométrica.

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

Mantenimiento Vial: Conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario, puede ser de naturaleza rutinaria o periódica.

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

Pavimento: es el conjunto de subbase, base y superficie de rodamiento colocado sobre la subrasante, cuya función es la de soportar los esfuerzos que le imponen las cargas directas del tráfico, distribuirlo a la subrasante y a la vez resistir al desgaste y proveer una superficie que permita una circulación cómoda y segura.

Préstamo de material: Es el volumen de suelo adecuado proveniente de la excavación hecha fuera del prisma de la carretera, camino o calle, requerido generalmente para completar la construcción de terraplén o rellenos.

Rasante: es el nivel final de la superficie de rodamiento de una carretera, camino o calle. También se le llama así a la traza de un plano vertical que intercepta la superficie antes mencionada.

Subbase: la capa o capas de material colocado sobre una subrasante para soportar la base.

Subrasante: es el nivel de terreno natural sobre el cual se asientan las capas de **subbase**, base y carpeta del pavimento. Corresponde al nivel de lo que se conoce como terracería.

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

Terreno natural: se denomina con este término a la superficie del terreno natural que existía antes de la afectación o de la construcción de la carretera, camino o calle.

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

Vehículo Liviano de uso Privado (Ligero): Vehículo automotor de peso bruto hasta 1,5 t.

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.

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.

CONTENIDO.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES.	1
1.1 Introducción.	1
1.2 Antecedentes.	3
1.3 Justificación.	4
1.4 Objetivos.	5
1.5 Ubicación y Localización.	6
1.6 Marco Teórico Conceptual.	8
CAPÍTULO II. ESTUDIO DE SUELO.	14
2.1 Introducción.	14
2.2 Exploración y Sondeos Manuales	15
2.3 Ensayes de Laboratorio de Línea de Proyecto.	16
2.3.1 Análisis Granulométrico de los Suelos ASTM D – 422.	17
2.3.2 Estados de Consistencia ASTM D-4318.	17
2.3.3 Clasificación de los Suelos – Sistema AASHTO (ASTM D-3282).	20
2.3.4 Ensayo Proctor Estándar ASTM D – 698.	22
2.3.5 Capacidad de Soporte (CBR) ASTM D-1883.	25
2.3.6 Perfil Estratigráfico de la Línea de Proyecto.	27
2.4 Ensayes de Laboratorio a los Bancos de Préstamo.	29
2.4.1 Análisis Granulométrico de los Suelos ASTM D – 422.	29
2.4.2 Clasificación de los Suelos (ASTM D-3282).	29
2.4.3 Proctor Modificado ASTM D – 1557.	30
2.4.4 Ensaye Valor Relativo Soporte (CBR) ASTM D – 1883.	31
2.5 Comparación de los informes del Diseñador y de la Revisión.	32
CAPÍTULO III. ESTUDIO DE TRÁNSITO.	34
3.1 Introducción.	34
3.2 Conteo Volumétrico de Tráfico.	35

3.3	Dependencia de Estación.....	36
3.4	Procesamiento de la Información.	38
3.4.1	Cálculo de Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).	38
3.4.2	Determinación Tasa de Crecimiento para Proyecciones del Tráfico Futuro.....	40
3.4.3	Período de Diseño.	45
3.4.4	Proyecciones de la Demanda de Tránsito.....	46
3.4.5	Clasificación de la Carretera.	48
3.4.6	Tránsito de Diseño.....	48
3.5	Comparación de los informes del Diseñador y de la Revisión.	51
CAPÍTULO IV. Estructura de Pavimento.		53
4.1	Introducción.	53
4.2	Metodología de Diseño AASHTO – 93.	54
4.2.1	Análisis de las Cargas y Ejes Equivalentes Esal's (w_{18}).	54
4.2.2	Determinación del CBR de Diseño.....	56
4.2.3	Confiabilidad (R).	57
4.2.4	Desviación Estándar del Sistema (S_o).	57
4.2.5	Índice Serviciabilidad.	58
4.2.6	Pérdida o Disminución de la Serviciabilidad (ΔPSI).	58
4.2.7	Coeficiente de Drenaje.	58
4.2.8	Módulo Resiliente de la Subrasante (M_R).....	59
4.3	Determinación de los Espesores.	60
4.4	Comparación de los informes del Diseñador y de la Revisión.	67
CAPÍTULO V. CATÁLOGO DE DAÑOS.....		69
5.1	Introducción.	69
5.2	Daños Encontrados en la Vía.....	70
5.2.1	Pérdida de Sello Arenoso.	70
5.2.2	Despostillamiento.	74

5.2.3 Asentamiento.....	78
Conclusiones y Recomendaciones.....	82
Bibliografía.....	85
Anexos.....	I

TABLAS.

Tabla N° 1: Resumen de los Resultados Obtenidos en Laboratorio.	24
Tabla N° 2: Resumen del Ensaye de CBR al 95% de Compactación.	26
Tabla N° 3: Resumen de Resultados Obtenidos en Laboratorio.....	31
Tabla N° 4: Resumen de CBR al 95% de Compactación en los Bancos.	31
Tabla N° 5: Resumen de la Comparación de Resultados del Diseñador vs Revisión.	33
Tabla N° 6: Resumen de Resultados del Aforo Vehicular.....	35
Tabla N° 7: Dependencia de Estación San Marcos – Masatepe (1802).	36
Tabla N° 8: Tránsito Promedio Diurno (12 horas).....	37
Tabla N° 9: Factores de Ajuste de la EMC – 1802.	38
Tabla N° 10: Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA – 2019).....	40
Tabla N° 11: Variables a Considerar para Calcular la Tasa de Crecimiento.	41
Tabla N° 12: Períodos de Análisis y Diseño.	46
Tabla N° 13: Proyección de Tránsito Promedio Diario Anual.....	47
Tabla N° 14: Clasificación Funcional de Carreteras.....	48
Tabla N° 15: Factor Carril por Dirección (Fc).....	50
Tabla N° 16: Factor de Dirección por Carril (Fd).....	50
Tabla N° 17: Tránsito de Diseño.....	51
Tabla N° 18: Resumen de la Comparación de Resultados del Diseñador vs Revisión.	52
Tabla N° 19: Cálculos de los Ejes Equivalentes de 18 Kips (8 Ton).	55
Tabla N° 20: Cálculos para la Determinación del CBR de Diseño.	56
Tabla N° 21: Valores Recomendados para la Desviación Estándar (S ₀).	57
Tabla N° 22: Valores Recomendados del Coeficiente de Drenaje.	59

Tabla N° 23: Variables para el Cálculo de Número Estructural.....	62
Tabla N° 24: Resumen de la Comparación de Resultados de Diseñador vs Revisión.	68
Tabla N° 25: Resumen de Daño por Pérdida de Sello Arenoso.....	72
Tabla N° 26: Resumen de Daño por Despostillamiento.	76
Tabla N° 27: Resumen de Daño por Asentamiento.	79
Tabla N° 28: Resumen de Resultados del ensayo de Granulometría (Línea de Proyecto).....	II
Tabla N° 29: Resumen de Resultados del ensayo de Granulometría (Línea de Proyecto).....	III
Tabla N° 30: Resumen de Resultados del ensayo de Granulometría (Línea de Proyecto).....	IV
Tabla N° 31: Resumen de los Estados de Consistencia.	VII
Tabla N° 32: Resumen de los Estados de Consistencia.....	VIII
Tabla N° 33: Clasificación de los Suelos para Propósitos de Carreteras ASTM D – 3282.....	IX
Tabla N° 34: Resultados de la Clasificación de los Suelos.	X
Tabla N° 35: Resultados de la Clasificación de los Suelos.....	XI
Tabla N° 36: Resumen de los Cálculos en el Ensaye Proctor Estándar.	XII
Tabla N° 37: Esfuerzos Unitarios Patrón (piedra triturada).	XV
Tabla N° 38: Resultados del Análisis de Granulometría de los Bancos de Material de Préstamo.	XVI
Tabla N° 39: Granulometría del banco Santa Juana comparados con los Márgenes de Valores de Gradación Aceptables (Nic – 2000).	XVII
Tabla N° 40: Márgenes del Valor Meta para la Graduación de Subbase, Base o Capas Superficiales de Agregados.	XVII
Tabla N° 41: Tipología y Descripción Vehicular de Conteo de Tráfico de la Oficina de Diagnóstico, Evaluación de Pavimentos y Puentes.	XX
Tabla N° 42: Resumen del Conteo Vehicular Diurno en el Primer Punto, Ambos Sentidos, (sábado).	XXI

Tabla N° 43: Resumen del Cuento Vehicular Diurno en el Primer Punto, Ambos Sentidos, (Domingo).	XXII
Tabla N° 44: Resumen del Cuento Vehicular Diurno en el Primer Punto, Ambos Sentidos, (martes).	XXIII
Tabla N° 45: Resumen del Cuento Vehicular Diurno en el Primer Punto, Ambos Sentidos, (miércoles).....	XXIV
Tabla N° 46: Tráfico Promedio Diario Anual Histórico por Tipo de Vehículo EMC 1802.	XXV
Tabla N° 47 : Tráfico Promedio Diario Anual Histórico por Tipo de Vehículo ECD 6202.	XXVI
Tabla N° 48: Diagrama de Cargas Permisibles.	XXVII
Tabla N° 49: Diagrama de Cargas Permisibles	XXVIII
Tabla N° 50: Factores Flexibles de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Simples $P_t = 2.0$	XXVIII
Tabla N° 51: Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Tándem $P_t = 2.0$	XXIX
Tabla N° 52: Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Trídem, $P_t = 2.0$	XXX
Tabla N° 53 : Valor Percentil para Diseño de Subrasante, de Acuerdo al Nivel de Tránsito.	XXXI
Tabla N° 54 : Confiabilidad ($R\%$).	XXXI
Tabla N° 55: Desviación Estándar Normal (Z_R).	XXXII
Tabla N° 56: Índice de Serviciabilidad.	XXXII
Tabla N° 57: Espesores Mínimos para Capas de Concreto Asfáltico y Base en Función del Tráfico Esperado.....	XXXIII

FIGURAS.

Figura N° 1: Mapa del Departamento de Rivas.	6
Figura N° 2: Tramo El Gigante – El Murciélago en el Municipio de Tola.	7
Figura N° 3: Representación Gráfica de Extracción Manual	15

Figura N° 4: Esquema del Suelo Colocado en la Cápsula y Ranurado para Determinar el Límite Líquido.	18
Figura N° 5: Representación Gráfica del Ensaye del Límite Plástico.	19
Figura N° 6: Perfil Estratigráfico de los Sondeos Manuales Realizados.	28
Figura N° 7: Tendencia del TPDA EMC – 1802.	42
Figura N° 8: Tendencia del TPDA ECD – 6202.	42
Figura N° 9: Tendencia del P.I.B.	43
Figura N° 10: Tendencia de Combustible.	43
Figura N° 11: Correlación del P.I.B vs EMC 1802.	44
Figura N° 12: Correlación P.I.B vs ECD 6202.	44
Figura N° 13: Correlación P.I.B vs Combustible.	45
Figura N° 14: Determinación del CBR de Diseño.	56
Figura N° 15: Monograma Coeficiente de la Capa Base.	61
Figura N° 16: Monograma Número Estructural (SN).	63
Figura N° 17: Diseño del Pavimento Articulado.	67
Figura N° 18: Pérdida de Sello Arenoso (Est. 2 + 050).	70
Figura N° 19: Pérdida de Sello Arenoso, (Est. 5 + 300).	71
Figura N° 20: Niveles de Severidad por Pérdida de Sello Arenoso.	73
Figura N° 21: Desgaste superficial y Fracturados. (Est. 1 + 500).	74
Figura N° 22: Adoquines Fracturados, (Est. 5 + 000).	75
Figura N° 23: Niveles de Severidad por Despostillamiento.	77
Figura N° 24: Adoquinado con Asentamiento, (Est. 5 + 100).	78
Figura N° 25: Niveles de Severidad por Asentamiento.	80
Figura N° 26: Resumen de Daños Visibles.	81
Figura N° 27: Excavación con Posteadora (Sondeos Manuales).	I
Figura N° 28: Curvas Granulométricas del Tipo de Suelo A – 2 – 4	V
Figura N° 29 :Curvas Granulométricas del Tipo de Suelo A – 2 – 6	V
Figura N° 30: Curvas Granulométricas del Tipo de Suelo A – 6.	VI
Figura N° 31: Densidad Seca Máxima – Humedad Óptima (A – 2 – 4).	XIII
Figura N° 32:Densidad Seca Máxima – Humedad Óptima (A – 2 – 6).	XIII
Figura N° 33: Densidad Seca Máxima – Humedad Óptima (A – 6).	XIV

Figura N° 34: Ensaye de CBR (Lectura e Inmersión).	XIV
Figura N° 35: Banco de Préstamo Santa Juana.	XV
Figura N° 36: Banco de Préstamo La Iguana.	XVI
Figura N° 37: Curva de Proctor Modificado – Bco. La Iguana.....	XVIII
Figura N° 38: Curva de Proctor Modificado – Bco. Santa Juana.	XVIII
Figura N° 39: Curva de Proctor Modificado Bancos Unificados en Proporción 50/50 (Bco. Santa Juana más Bco. La Iguana)	XIX
Figura N° 40: Superficie del Tramo Desgastada. (Est. 1 + 050).	XXXIII
Figura N° 41: Bordillos desplazados y Fracturados (Est. 1 + 500).	XXXIV
Figura N° 42: Escalonamiento entre adoquines y confinamiento.	XXXIV
Figura N° 43: Drenaje Obstruido (Est. 4 + 000).	XXXV
Figura N° 44: Cuneta con Maleza y Sedimentos, (4 + 000).	XXXV

CAPÍTULO I. GENERALIDADES.

1.1 Introducción.

En la historia de Nicaragua, la Red Vial pavimentada llega aproximadamente a los 24,334.79 km, esto sin duda representa una contribución decisiva en el desarrollo económico y en el crecimiento del país, puesto que a su vez aporta muchos beneficios sociales.

El tema del mantenimiento vial es amplio, ya que implica organización, recursos tanto humanos como económicos, materiales, tecnológicos y de planificación; pero sobre todo de conciencia social y política. Según reportes del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), el objetivo de dicho mantenimiento es conservar el activo de las grandes obras viales; siendo anualmente de 4,000 km de carretera incluyendo los de carpeta asfáltica, adoquinado y concreto hidráulico, el cual tiene un alto costo, pero es de mejor calidad.

En el caso particular de Nicaragua desde el año 2006, el país cuenta con un Fondo de Mantenimiento Vial (FOMAV) cuyos recursos provienen de un impuesto especial de dieciséis centavos de dólar por galón de diésel y gasolina. Este impuesto genera anualmente una recaudación promedio de 42 millones de dólares. Esta entidad gubernamental está comprometida a trabajar en función de obtener más recursos económicos, que permitan ampliar la cantidad de kilómetros de carreteras hasta hoy atendidos cada año.

Sin embargo, a pesar de la connotada incidencia de este sistema de red vial; sectores adoquinados como el tramo de carretera El Gigante – El Murciélago, presentan un déficit en la calidad del servicio, debido al parcial o total abandono en el mantenimiento, que aseguren una vida útil y satisfactoria. La particularidad de este tramo es estar localizado en una zona de alto potencial turístico y de inversión en desarrollos habitacionales, además de ser la principal vía de acceso a centros turísticos de gran envergadura y comunidades aledañas del lugar con el casco urbano.

Con la revisión del diseño de este tramo, se pretende analizar el deterioro no visible que ha sufrido la estructura de pavimento hasta la fecha y evitar desgastes mayores o el deterioro total del tramo, ya que esto generaría daños o pérdidas materiales y en caso extremo hasta un accidente que podría costar la vida de los usuarios. Una red vial en mal estado obstaculiza la movilidad, eleva de manera significativa los costos de operación vehicular e incluso la tasa de analfabetismo en la zona rural principalmente.

1.2 Antecedentes.

El proyecto **“Revisión del Diseño de pavimento articulado (adoquinado) del tramo El Gigante – El Murciélago (6 Km) ”**, está ubicado en el área rural del Municipio de Tola, Departamento de Rivas; es la principal vía de acceso hacia la zona turística del lugar y sus diferentes comunidades aledañas con la cabecera municipal.

Cabe mencionar que en el año 2014 se realizó el “Diseño de pavimento del camino Empalme El Gigante – Empalme El Murciélago” con una extensión de 6 km, como una necesidad por parte del Municipio de Tola y se empezó la ejecución de esta obra horizontal a inicio del año 2015 y desde la fecha no se ha realizado ninguna revisión o mantenimiento preventivo.

La revisión del diseño de pavimento es considerada parte del mantenimiento de toda carretera construida, evitando que las fallas poco perceptibles pasen a una fase donde se acelere el deterioro, quedando parcial o totalmente destruida; generando insatisfacción en los usuarios, altos costos en mantenimiento y hasta la pérdida de vidas humanas. La realidad es inquietante cuando mantener una red de carreteras eficientes no sólo comprende su construcción; sino también el mantenimiento continuo de las mismas.

1.3 Justificación.

Teniendo en cuenta que el objetivo de este tramo de carretera (diseñado para el año 2014), surge de la necesidad de conectar la cabecera Municipal de Tola – Rivas, con las comunidades y playas aledañas, es necesario priorizar el mantenimiento, ya que durante la estación lluviosa se ve interrumpido el flujo vehicular, debido a las fuertes corrientes que fluyen de Este a Oeste como las que afectaron a nuestro país a finales del año 2017.

Las causas que nos llevan a revisar el diseño de pavimento de este trayecto de carretera son los siguientes daños visibles en la estructura: adoquines fracturados, desgaste superficial en los adoquines, fractura en confinamiento externo, juntas abiertas, escalonamiento entre adoquines, desplazamiento de borde y drenaje obstruido por rocas y/o maleza; incidiendo de manera negativa en el desarrollo económico y social del lugar ,dándose así inconformidad por parte de los usuarios debido al deterioro físico que sufren los vehículos que transitan en el sitio, y disminución en el atractivo del Municipio, afectando indirectamente el comercio turístico.

Cabe mencionar que sin la revisión periódica no se podría determinar a tiempo el daño causado por el rodamiento, la incidencia en el suelo por factores climáticos que ocasionan su erosión, etc. viéndose afectada toda una comunidad que vive en su mayoría de la actividad turística, que se desarrolla por la accesibilidad que brinda este tramo vehicular.

En vista que este tipo de pavimento sufre el mayor desgaste en su material granular en tiempos determinados, se propone minimizar el deterioro del pavimento articulado utilizando los criterios y procedimientos del Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial, en su capítulo 4 el cuál propone un método de mantenimiento para cualquier daño que presenta cada tipo de carretera.

1.4 Objetivos.

Objetivo General:

- ❖ Revisar el diseño de pavimento articulado (adoquinado) del tramo El Gigante – El Murciélago en el Municipio de Tola, Departamento de Rivas (6 Km).

Objetivos Específicos:

- ❖ Determinar las características físico-mecánicas del suelo, en los bancos de préstamo utilizados en la línea del proyecto mediante procedimientos estándares regidos por la ASTM.
- ❖ Realizar estudio de tránsito para determinar que el tramo de carretera ha cumplido los estándares establecidos por el diseñador y que soporta los esfuerzos de cargas aplicados a la subrasante.
- ❖ Verificar el Diseño de la estructura de pavimento, en base a las solicitudes de cargas actuales, aplicando la metodología AASHTO – 93.
- ❖ Identificar y Clasificar los daños encontrados en el tramo de carretera; utilizando como guía el Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, edición 2010.

1.5 Ubicación y Localización.

➤ Macrolocalización.

Al Departamento de Rivas pertenecen diez Municipios: Belén, Potosí, Tola, Buenos Aires, San Jorge, Rivas, San Juan del Sur, Cárdenas, Moyogalpa y Altagracia. Según la población proyectada por el INIDE, al año 2009 cuenta con una población total de 167,883 habitantes.

Figura N° 1: Mapa del Departamento de Rivas.



Fuente: Elaboración Propia.

El Municipio de Tola, fue fundado en el año de 1750. Está ubicado en las coordenadas 11° 26" latitud norte y 85° 56" longitud oeste, cuenta con una extensión territorial de 474 km², su Cabecera Municipal se encuentra a 124 km de la ciudad de Managua y a 13 km de la ciudad de Rivas.

Sus límites son:

- ✓ Al Norte: Con el Municipio de Belén.
- ✓ Al Sur: Con el Océano Pacífico.

- ✓ Al Este: Con los Municipio de Rivas y San Juan del Sur.
- ✓ Al Oeste: Con el Océano Pacífico y el Municipio de Santa Teresa.

➤ **Microlocalización.**

El Tramo El Gigante – El Murciélago se localiza geográficamente en el Municipio de Tola, entre las comarcas de San Antonio y Santa Juana, sobre la ruta que va hacia Salinas Grandes con sentido norte – oeste, en la zona del Pacífico sur, sobre la colectora secundaria NIC – 62.

Figura N° 2: Tramo El Gigante – El Murciélago en el Municipio de Tola.



Fuente: Goglemaps.com.

1.6 Marco Teórico Conceptual.

A. Pavimento.

El pavimento es un conjunto de capas superpuestas tendidas de manera horizontal en una determinada área, cuyas propiedades físico-mecánicas y espesores han sido especificados y dimensionados de manera que los esfuerzos de cargas aplicadas por el tráfico sean reducidos al ser transmitidas a la subrasante.

a. Características.

Para cumplir adecuadamente sus funciones deben de cumplir los siguientes requisitos:

- ✓ Resistencia de la estructura a los esfuerzos de cargas del tránsito diario.
- ✓ Resistencia a los agentes de intemperismo.
- ✓ Textura superficial adecuada a la velocidad prevista y resistente al desgaste producido por efectos abrasivos.
- ✓ Durabilidad.
- ✓ Garantizar las condiciones adecuadas del drenaje.
- ✓ Economía en fabricación y mantenimiento.
- ✓ Color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos.

b. Tipos de Pavimento.

Estructuralmente hablando existe dos tipos de pavimentos: flexibles y rígidos. Estos se diferencian por la manera en que se transmiten las cargas hacia la subrasante.

Otra característica evidente que permite clasificar el tipo de pavimento es la capa de rodamiento, de acuerdo a este criterio los pavimentos se pueden clasificar en; pavimento flexible, pavimento rígido, pavimento Semi – rígido y pavimento articulado.

1. Pavimento Flexible.

Se denomina pavimento flexible a aquellos cuya estructura total se defleca o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él; este tipo de pavimento se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como vías, aceras o parkings.

La estructura de pavimento flexible está compuesta por varias capas de material:

- ✓ **Capa superficial:** Esta es la capa superior y la capa que entra en contacto con el tráfico. Puede estar compuesta por uno o varias capas asfálticas.
- ✓ **Base:** Esta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa superficial y en general se compone de agregados (ya sea estabilizado o sin estabilizar).
- ✓ **Subbase:** Esta capa (o capas) está bajo la capa de base. La Subbase no siempre es necesaria.

2. Pavimento Rígido.

Los pavimentos rígidos se caracterizan por poseer un alto módulo de elasticidad, que permite que los esfuerzos transmitidos se reduzcan y se distribuyan en un área extensa, provocando deflexiones pequeñas.

El pavimento rígido (concreto) absorbe gran parte de los esfuerzos que el rodamiento ejerce sobre el suelo en forma mínima y está formado por una losa de concreto portland sobre una base o directamente sobre una subrasante.

Las características del pavimento rígido son:

- ✓ Bajo mantenimiento.
- ✓ Larga durabilidad (20 a 30 años).
- ✓ Alta resistencia a los cambios climáticos.
- ✓ Alta resistencia a los esfuerzos.

Este tipo de pavimento presenta un desempeño satisfactorio, incluso en condiciones de baja capacidad de soporte de las capas subyacentes. Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres grupos, entre los cuales podemos encontrar los siguientes:

- ✓ **Losa de concreto simple (JPCP):** son contruidos con concreto simple y juntas de contracción espaciadas de manera continua (5m – 10m). Las barras de refuerzo o mecanismo de agarre son usadas para transferir carga de una capa a otra.
- ✓ **Losa de concreto reforzado (JRPC):** son contruidos con barras de acero que, aunque no aumentan la capacidad portante de la losa aumenta el espaciamiento de las juntas (10m – 30m).
- ✓ **Pavimento continuamente reforzado (CRCP):** las tensiones son controladas por una armadura de acero. Proceso mecanizado en el cual se eliminan las juntas de contracción.
- ✓ **Hormigón fibroso:** estos empezaron a emplearse hace algunas décadas, en aplicaciones donde el elevado costo de este tipo de material es compensado por sus características; se pueden utilizar diferentes tipos de fibras como metálicas, propileno, carbón, acero, etc., con excelentes resultados en capas delgadas de refuerzo y en pavimentos sometidos a cargas muy pesadas (aeropuertos, puentes, industrias y portuarias).

3. Pavimento Semirrígido.

Es un pavimento especial ya que es una estructura combinada compuesta por una carpeta bituminosa flexible, apoyado sobre estructuras rígidas como losas antiguas de concreto o bases estabilizadas con cemento o similares. Su análisis es complejo debido a la diferencia de rigidez de las capas. Si el espesor no es adecuado en ocasiones refleja las grietas preexistentes en las losas de concreto. Guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, exceptuando su componente rígido.

4. Pavimento Articulado.

Los pavimentos articulados o de adoquines, están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada por bloques de concreto prefabricado llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa base granular o directamente sobre la subrasante. El diseño debe estar de acuerdo con la capacidad de soporte de la subrasante para prevenir su deformación.

- ✓ **Base:** se podrá utilizar bases de material granular, suelos estabilizados o concreto pobre. Las bases de material granular cumplirá con los requerimientos establecidos por la ASTM, requisito que deberá ser especificado por el diseñador del proyecto.
- ✓ **Capa de arena:** la arena que se utilice para conformar la capa sobre la que se colocarán los adoquines, estará libre de materia orgánica, mica o cualquier tipo de contaminante y tendrá una granulometría continua; tal que la totalidad de la arena pase por el tamiz de 3/8" (9.50 mm).
- ✓ **Adoquines:** Son piedras labradas de concreto u otro material en forma de cruz para uso de pavimento; incluyendo las cuchillas" será el denominado tipo tráfico, cuya resistencia característica a los 28 días no deberá ser menor que los siguientes valores:

El tipo de adoquín utilizado en el tramo es de tipo 1, (0.007 lb/Pulg equivalente a 49.0 MPa), para tráfico pesado, el cual se utiliza como superficie de rodamiento en caminos, carreteras, calles y estacionamiento. Se utilizará adoquín de tipo santa cruz estándar de 24 cm x 24 cm x 10 cm; no deberá presentar en su superficie fisuras, cascaduras, cavidades, ni tener materiales extraños tales como piedras, trozos de madera o vidrio, incrustados en su estructura. El tamaño máximo del agregado que se debe usar en la fabricación del adoquín de concreto es de 3/4" (19 mm).

c. Periodo de Diseño.

Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de las proyecciones del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente o se alteren de manera diferente a la que fueron consideradas inicialmente.

d. Vida útil del Pavimento.

Es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad, que es la medida de la calidad del servicio en términos de comodidad. El periodo de diseño puede llegar a ser igual a la vida útil de un pavimento; en los casos en que se consideren reconstrucciones o rehabilitaciones a lo largo del tiempo, el periodo de diseño comprende varios periodos de vida útil que son: pavimento original y de las rehabilitaciones.

e. Mantenimientos Requeridos para el Pavimento.

Es la actividad que se ejecuta con el objetivo de mantener la misma forma estructural satisfactoria y en condiciones de operación similares a las previstas en el proyecto. El mantenimiento no solo debe preservar la carretera sino también debe prevenir su deterioro y no debería ser tomado como una acción temporaria sino como una inversión necesaria y continúa para prevenir reparaciones costosas y asegurar la obtención de los beneficios anticipados en la planificación vial.

Las operaciones de mantenimiento requeridas a lo largo de la vida del pavimento están en función de las fallas que se generan en la superficie de rodadura por efecto del tránsito y las condiciones climáticas, según la demanda del pavimento se requiere dar mantenimientos a lo largo de su vida útil o cada que este lo requiera.

Los trabajos de conservación vial están agrupados en las siguientes cinco categorías generales:

- ✓ **Mantenimiento Rutinario:** Comprende la realización de todas aquellas actividades requeridas para conservar una vía en buen estado, las cuales se repiten una o más veces al año. También, incluye aquellas labores de reparación vial destinadas a recuperar ciertos elementos con daños menores, tales como los barandales de puentes, obras de drenaje menor, señalización vertical y horizontal, muros de retención y actividades afines.
- ✓ **Mantenimiento Periódico:** Abarca las obras de conservación vial que se realizan en períodos programados, generalmente de más de un año de intervalo, para elevar la vía a un nivel de servicio bueno a muy bueno. Está considerada, entre otros, la colocación de sobre capas en pavimentos deteriorados existentes y el mejoramiento de las capas de la estructura del pavimento.
- ✓ **Mantenimiento Preventivo:** Consiste en actividades y obras de mantenimiento destinadas a prevenir fallas en la vía que han sido identificadas como defectuosas o con alto riesgo de que ocurran, antes de que éstas sucedan.
- ✓ **Mantenimiento por administración:** Se realiza en los casos donde los trabajos que deben realizarse no se pueden cuantificar, no existe una partida de pago en el contrato para cubrirlos o son para ejecutar obras de emergencia o no previstas.
- ✓ **Mantenimiento de emergencia:** Corresponde a la ejecución de actividades realizadas en forma urgente, como consecuencia de sucesos de fuerza mayor (como el caso de desastres naturales) y que tienen el propósito de habilitar lo más pronto posible la vía para que permita el libre tránsito.

CAPÍTULO II. ESTUDIO DE SUELO.

2.1 Introducción.

El estudio geotécnico consiste en realizar las investigaciones correspondientes para conocer las condiciones de los suelos existentes en el camino, así como de las fuentes o bancos de materiales disponibles en la zona del proyecto, de manera que por sus propiedades y características permitan determinar su buen uso para los procesos constructivos y el diseño de la estructura de pavimento.

Dentro de la estructura de pavimento; la subrasante juega un papel fundamental; como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo cargas del tránsito.

Las propiedades físico-mecánicas son las características utilizadas para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y el control de calidad de los suelos, en el caso de la subrasante, esta se puede relacionar con el módulo de resiliencia y/o el valor de soporte CBR.

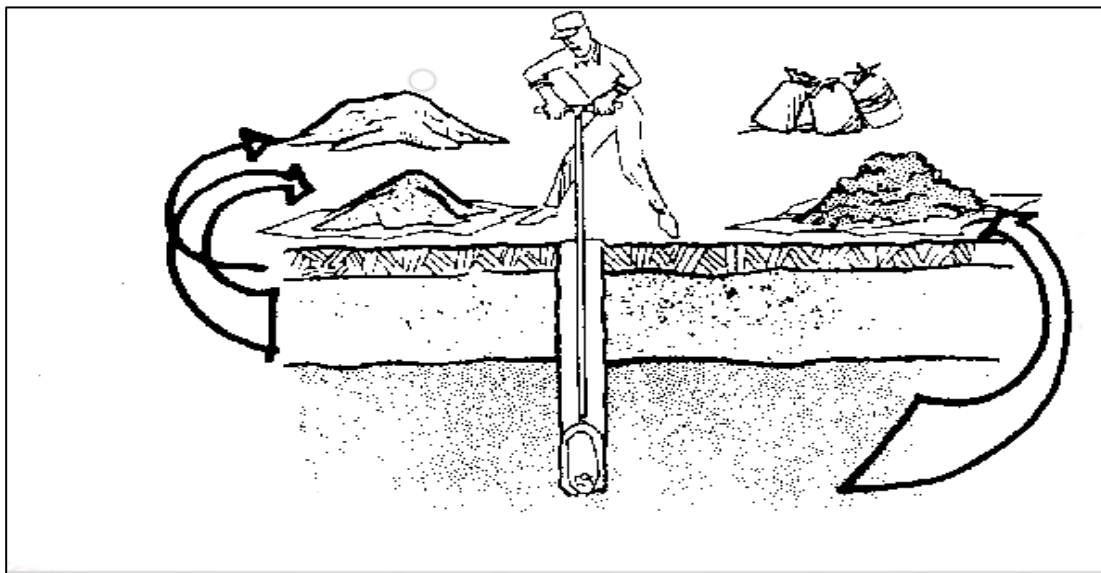
En muchos países (incluido Nicaragua), no se cuenta con la tecnología suficiente, ni el personal técnico de laboratorio adecuado para determinar el Módulo Resiliente de los materiales y suelos. Debido a esto es que se sigue utilizando el método CBR (Capacidad de Soporte California) para caracterizar los materiales que conforman la estructura del pavimento, aun cuando este método fue reemplazado en el año 1986, como método de diseño en la guía de diseño AASHTO – 93.

Para fines de diseño es conveniente que el estudio de suelos abarque los temas; Exploración, Caracterización, Propiedades y Capacidad de soporte (CBR).

2.2 Exploración y Sondeos Manuales

A lo largo de la línea de proyecto se realizaron 13 sondeos manuales a cada 500 metros de distancia, de forma alterna entre un extremo y otro, extrayendo de ellos un total de 35 muestras; las cuales fueron separadas por clasificación visual y al tacto. (Ver anexo, Figura N° 27, pág. I).

Figura N° 3: Representación Gráfica de Extracción Manual



Fuente:<http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms05.htm>.

El equipo utilizado para realizar el proceso de sondeo manual en campo fueron los siguientes:

- ✓ Palin doble
- ✓ Posteadora (barreno)
- ✓ Pala simple punta redonda
- ✓ Barra metálica

Los sondeos consisten en perforaciones manuales a cielo abierto, con dimensiones de 25 cm x 25 cm y 150 cm de profundidad, de esta manera se procedió a separar las muestras identificadas en cada estrato, tomando en cuenta el espesor de cada uno de ellos.

En el caso de los bancos de préstamo de material, se tomó en cuenta las propiedades físico mecánicas del suelo y la ubicación de la fuente principalmente.

Los terrenos aledaños al camino son propiedades privadas, que tienden a ser explotados en el marco del rubro turístico, debido a que se dificulta obtener un área de terreno pública que pueda ser destinada como una fuente de explotación.

Con la aprobación de los dueños de los terrenos, se realizó una visita de campo y luego se recolectaron tres muestras de diferentes puntos en cada uno de los bancos de préstamo.

2.3 Ensayes de Laboratorio de Línea de Proyecto.

Las muestras extraídas de los diferentes estratos de suelos, fueron sometidas a pruebas de laboratorio, para ser analizadas y determinar las características y propiedades física-mecánicas.

Las muestras recolectadas se sometieron a cuatro ensayos básicos en el laboratorio de materiales y suelo; **“Ingeniero Julio Padilla Méndez” de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI – RUPAP)**; para determinar las características de los suelos existentes en el tramo en estudio y a su vez de los bancos de préstamo de material, aplicando procedimientos estándares regidos por las normas Internacionales ASTM (American Society for Testing and Materials) y la AASHTO, para diseño de carreteras:

- ✓ Análisis granulométrico de los suelos ASTM D – 422.
- ✓ Determinación de los estados de consistencia ASTM D – 4318.
- ✓ Clasificación de los suelos – Sistema AASHTO (ASTM D-3282).
- ✓ Proctor estándar ASTM D – 698.
- ✓ Proctor modificado ASTM D – 1557.
- ✓ Valor relativo soporte (CBR) ASTM D – 1883.

El Proctor estándar fue usado para los suelos de la línea de Proyecto mientras que el Proctor Modificado para los bancos de préstamo de materiales.

2.3.1 Análisis Granulométrico de los Suelos ASTM D – 422.

Este ensaye se realizó con el propósito de determinar cuantitativamente la distribución del tamaño de las partículas y verificar la gradación del suelo existente en el camino, este método es utilizado en la verificación del cumplimiento de especificaciones de materiales seleccionados para trabajos en vías terrestres. (Ver anexo, Tabla 28 – 30, pág. II - IV).

En términos generales un suelo conforme a su granulometría se clasifica de la siguiente forma:

- ✓ **Grava:** de un tamaño menor a 76.3 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2mm).
- ✓ **Arena gruesa:** de un tamaño menor al tamiz No. 10 hasta No. 40 (0.425 mm).
- ✓ **Arena fina:** de un tamaño menor de 0.425 mm hasta tamiz No. 200
- ✓ **Limos y arcillas:** tamaños menos de 0.075 mm (No. 200).

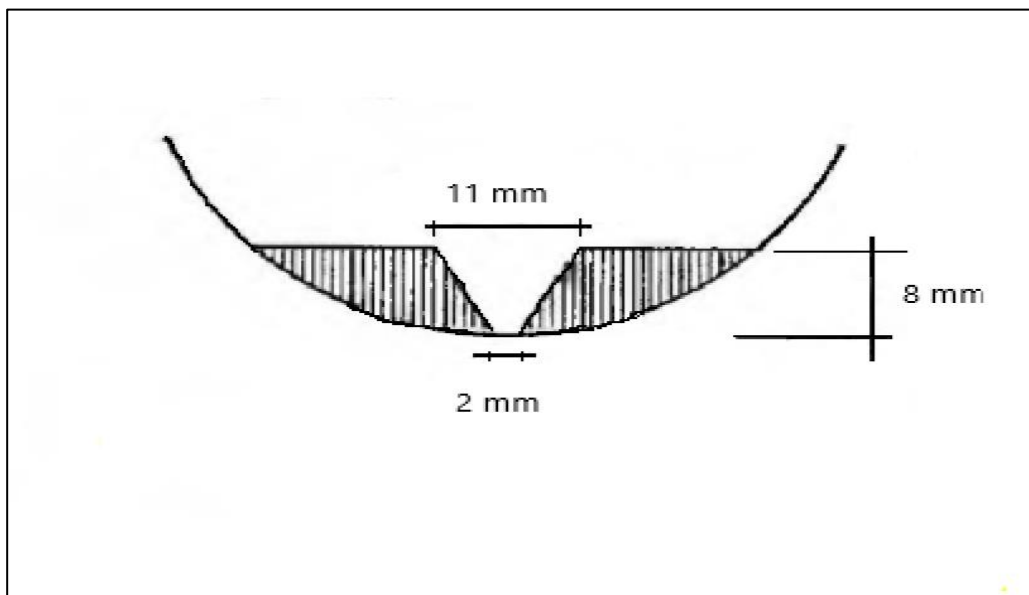
Las curvas granulométricas obtenidas de cada una de las muestras de suelo, extraídas de la línea de proyecto y de igual forma de los bancos de préstamo, proporcionan información inicial acerca del comportamiento del suelo; la mayoría de curvas presenta una forma inclinada lo cual indica una granulometría uniforme. (Ver anexo, Figura N° 28 – 30, pág. V - VI).

2.3.2 Estados de Consistencia ASTM D-4318.

A partir de los límites de Atterberg se permite definir el contenido de agua con el cual se produce el cambio de estado, es decir, mide la consistencia de los suelos finos. Los límites líquidos y límites plásticos son solo dos, de los cinco que propuso Atterberg y que han sido ampliamente utilizados principalmente con el objetivo de identificar y clasificar los suelos.

Límite Líquido (L.L): es la frontera entre un estado plástico a un estado semilíquido de un suelo. Se definirá arbitrariamente con el contenido de humedad de una masa de suelo colocada en un recipiente en forma de cápsula de bronce, separada por la acción de una herramienta (ranurador) para hacer una ranura patrón y dejada caer desde una altura de 1 cm, sufra una falla o cierre de la ranura en una longitud de 12.7 mm después de dejarla caer 25 veces.

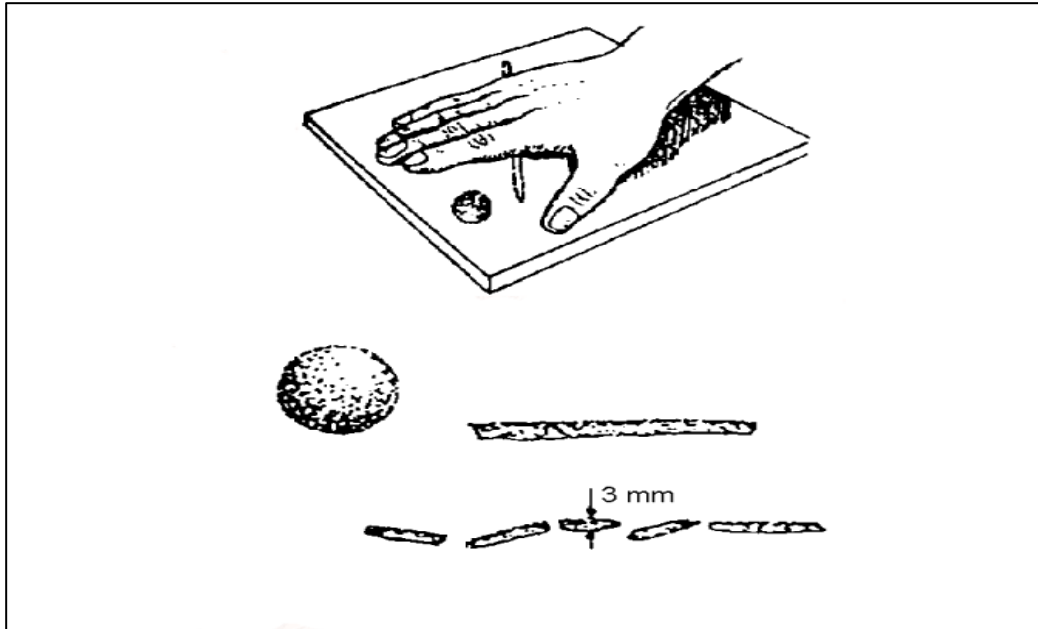
Figura N° 4: Esquema del Suelo Colocado en la Cápsula y Ranurado para Determinar el Límite Líquido.



Fuente: Libro Mecánico de Suelo Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelo. Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez. pág. N° 90.

Límite Plástico (L.P): es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo. será definido arbitrariamente como el contenido de humedad más baja del suelo al momento de formar un cilindro, dicho suelo se rodará entre los dedos de la mano y una superficie lisa, hasta que los cilindros presenten grietas que se rompen a un diámetro de 3 mm aproximadamente.

Figura N° 5: Representación Gráfica del Ensaye del Límite Plástico.



Fuente: Libro Mecánico de Suelo Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelo. Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez. pág. N° 90.

Para realizar estos ensayos se trabajó con el material que pasa la malla N° 40 (0.42 mm). Esto quiere decir que se utiliza la fracción de arena fina, y a su vez se incluye la parte más fina del suelo, lo que pasa la malla N° 200.

La diferencia entre el Límite Líquido y Límite Plástico, da como resultado el Índice de Plasticidad (I.P), de un material:

$$\text{Índice Plástico} = \frac{\text{L.L}}{\text{L.P}} \quad \text{Ec. N° 1}$$

Se puede observar en los ensayos de estados de consistencia, obtenidos en el laboratorio, muestras con índice de plasticidad desde 0 hasta 25%. Según su IP (índice de Plasticidad) pueden clasificarse como suelos no plásticos (exentos de arcilla) hasta suelos con alta plasticidad (muy arcillosos). La mayoría de suelos existente son arcillosos ya que la mayoría presenta un Índice de plasticidad que está en un rango entre 7% a 20%, que denota una plasticidad media. (Ver anexo, Tabla N° 31 – 32, pág. VII - VIII).

2.3.3 Clasificación de los Suelos – Sistema AASHTO (ASTM D-3282).

Teniendo en cuenta que en la naturaleza existe una gran variedad de suelos, la ingeniería ha desarrollado algunos métodos de clasificación de los mismos; Cada uno de estos métodos tiene prácticamente su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado.

Los sistemas de clasificación de suelos más utilizados actualmente para el propósito de construcción de carreteras son la American Association of state Highway and transportation Officials mejor conocido como AASHTO y el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

Para este estudio se utilizará la clasificación AASHTO ASTM D – 3282; este sistema divide los suelos en dos clases: una formada por suelos granulares, los cuales el 35% o menos de la muestra total pasa el tamiz N° 200 y la otra parte formada por suelos limosos y arcillosos que son los que más del 35% de la muestra total pasa el tamiz N° 200; la clasificación se realiza por descarte de izquierda a derecha. (Ver anexo, Tabla N° 33, pág. IX).

Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras se incorpora también un número llamado Índice de grupo (IG).

Índice de Grupo: Aquellos suelos que tienen un comportamiento similar se hallan dentro de un mismo grupo y están representados por un determinado índice. La clasificación de un suelo en un determinado grupo se basa en su límite líquido, grado de plasticidad y porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200. Los índices de los suelos granulares están generalmente comprendidos entre 0 y 4; los correspondientes a los suelos limosos, entre 8 y 12 y los arcillosos entre 11 y 20 o más.

El índice de grupo (IG), se calculó con la siguiente ecuación:

$$IG = (F - 35) (0.2 + 0.005*(LL - 40)) + 0.01*(F - 15) (IP - 10). \quad \text{Ec. N° 2}$$

Donde:

IG: Índice de Grupo.

F: Porcentaje que pasa el tamiz N° 200.

LL: Límite Líquido.

IP: Índice Plástico.

En el caso de los suelos A – 7, si el IP del suelo es menor o igual a la diferencia entre el límite líquido menos 30 ($IP \leq LL - 30$) se clasificará como A – 7 – 5, en caso que el IP del suelo es mayor o igual a la diferencia entre el límite líquido menos 30 ($IP \geq LL - 30$) se clasificará como A – 7 – 6.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los estratos de suelo existente a lo largo del camino representan una clasificación bastante regular, donde los suelos predominantes son los de tipo: A – 2 – 4 (IG= 0), A – 2 – 6 (IG= 0,1) y A – 6 (IG= 1,4,5,11,12,14). (Ver anexo, Tabla N° 34 – 35, pág. X - XI).

A – 2 – 4: A este pertenecen aquellos materiales cuyo contenido de material fino es igual o menor del 35% y cuya fracción que pasa el tamiz N°40, tiene las mismas características de los suelos A – 4.

A – 2 – 6: Los materiales de este subgrupo es semejante a los anteriores, pero la fracción del tamiz que pasa el tamiz N°40 tiene las mismas características de los suelos A – 6.

A – 6: El material típico de este grupo es la arcilla plástica, por lo menos el 75% de estos suelos debe pasar el tamiz número 200 pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%, estos materiales presentan, generalmente, grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.

2.3.4 Ensayo Proctor Estándar ASTM D – 698.

Una vez clasificados los suelos en tres grupos según la ASTM D – 3282, se agruparon las muestras que pertenecían a un mismo grupo de suelo y se homogenizaron, para así proceder con el ensaye de compactación, Proctor Estándar ASTM D – 698.

La relación entre humedad y densidad para un suelo compactado juega un papel muy importante en las propiedades del mismo, especialmente en cuanto a su resistencia y deformabilidad. Así que el ensayo de Proctor Estándar permite determinar la humedad óptima, es decir la humedad a la que el suelo alcanza su densidad máxima y por lo tanto presenta sus mejores propiedades mecánicas.

El valor de esta humedad óptima depende de la energía de compactación brindada al suelo, en caso de incrementarse esta energía, la humedad óptima será menor y la densidad seca máxima mayor.

Para escoger un método de compactación adecuado, se tomó en cuenta la granulometría en los tamices $\frac{3}{4}$ ”, $\frac{3}{8}$ ” y N° 4, tanto en el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje que pasa cada tamiz. El método D del Proctor estándar se utiliza para material que el 100% pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ ” (19mm) o que el 30% o menos es retenido por el tamiz $\frac{3}{4}$ ” y es compactado en un molde de 6”.

Debido a que los tres tipos de suelo cumplen con la condición granulométrica que requiere el método D del Proctor estándar, se procedió a realizar el ensaye tomando en cuenta las especificaciones basadas en la ASTM. Se tomó un promedio de la granulometría de todas las muestras de un mismo tipo de suelo para así poder realizar la selección. (Ver anexo, Tabla N° 36, pág. XII).

Determinación del Porcentaje de Humedad.

$$\omega = \frac{(W_h + T) - (W_s + T)}{(W_s + T) - T} * 100 \quad \text{Ec. N° 3}$$

Donde:

ω : Porcentaje de humedad (%).

W_h : Peso de la muestra húmeda (gr).

W_s : Peso de la muestra seca (gr).

T : Peso de la tara (gr).

Determinación del Peso Volumétrico Húmedo.

$$\gamma_h = \frac{(W_h + m) - W_m}{V_m}$$

Ec. N° 4

Donde:

γ_h : Peso volumétrico húmedo en Kg/m³.

$W_h + m$: Peso de la muestra húmeda más molde (Kg).

W_m : Peso del molde (Kg).

V_m : Volumen de muestra (m³).

Determinación del Peso Volumétrico Seco.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{((1 + \omega) / 100)}$$

Ec. N° 5

Donde:

γ_d : Peso volumétrico seco (Kg/m³).

γ_h : Peso volumétrico húmedo (Kg/m³).

ω : Porcentaje de humedad (%).

En cada prueba se tomaron como mínimo cuatro puntos de referencia con diferentes grados de humedad. Después de tomar los datos recolectados se realizó una gráfica (Peso volumétrico seco Vrs Humedad) para así encontrar la humedad óptima y la Densidad Seca Máxima en cada muestra. (Ver anexo, Figura N° 31 – 33, pág. XIII – XIV)).

Otra característica importante de los suelos tomada en cuenta es la humedad natural; puesto que la resistencia de los suelos de la subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos presenten.

La determinación de la humedad natural permitirá comparar con la humedad óptima que se obtiene en el ensaye de Proctor. Si la humedad natural resulta igual o inferior que la humedad óptima, el proyectista propondrá la compactación natural del suelo y el aporte de agua conveniente, si la humedad natural es superior a la humedad óptima y según la saturación del suelo, propondrá aumentar la energía de compactación, airear el suelo o reemplazar el material saturado.

Tabla N° 1: Resumen de los Resultados Obtenidos en Laboratorio.

Tipo de Suelo	Densidad Seca Máxima (Kg/m³)	Humedad óptima (%)	Humedad Natural (%)
A – 2 – 6	1,784.0	14.4	5.1
A – 2 – 4	1,820.0	14.2	7.5
A – 6	1,635.0	18.6	10

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.5 Capacidad de Soporte (CBR) ASTM D-1883.

Con el propósito de obtener la capacidad soporte de los diferentes estratos de suelo existentes en el camino, se realizó el ensaye de CBR (Ensayo de California Bearing Ratio), bajo condiciones de humedad y densidad controlada. (Ver anexo, Figura N° 34, pág. XIV).

Se compactaron tres especímenes con 10, 25 y 56 golpes, por cada suelo para que así sus densidades varíen hasta alcanzar el 100% o más de la densidad seca máxima determinada en el ensaye anterior de Proctor estándar.

Se tomó la lectura del hinchamiento de cada espécimen antes y después de ser sumergidos en agua para lograr su saturación en un periodo de 96 horas y al finalizar este periodo de saturación se sometieron los especímenes a un último ensayo de penetración.

En el ensayo de penetración se mide la carga necesaria para hacer penetrar un pistón metálico de $49.63 \pm 0.13\text{mm}$ ($1.954 \pm 0.005\text{pulg}$) de diámetro y un área de 3 pulg^2 , en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero, a una velocidad de $1,27\text{ mm/min}$, para producir deformaciones de hasta 12.7 mm ($1/2''$).

Para encontrar el valor CBR de diseño de los diferentes tipos de suelo se tomó en cuenta las lecturas a $0.1''$ y $0.2''$ de penetración para ser comparadas con el esfuerzo unitario patrón de la piedra picada. (Ver anexo, Tabla N° 37, pág. XV).

La siguiente expresión define el CBR del material en estudio:

$$\text{CBR (\%)} = \frac{\text{Carga Unitaria de Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patrón}} \times 100 \quad \text{Ec. N° 6}$$

El C.B.R de la carga patrón (piedra triturada) será de 100%. Un material cualquiera que tenga un C.B.R. de 50%, tiene la mitad de la capacidad soporte de la piedra picada. Por lo general el C.B.R, se usará para el diseño de pavimentos, que corresponde a una penetración de 2.5 milímetros en un material compactado a la humedad óptima y densidad máxima.

Para calcular el porcentaje de compactación alcanzado por un suelo con respecto a la densidad máxima seca, determinado en el ensaye de Proctor estándar se determina aplicando la siguiente expresión:

$$\text{Comp. (\%)} = \frac{\text{Densidad Seca (CBR)}}{\text{Densidad Seca Máxima (Proctor)}} \times 100 \quad \text{Ec. N° 7}$$

Con los datos de la densidad seca alcanzada en cada molde debido al número de golpes y la selección de CBR se hizo una gráfica de densidad seca (kg/m³) versus CBR, y de esta manera poder encontrar la densidad y CBR al 95% de compactación.

En el siguiente recuadro se puede observar un resumen del CBR y la densidad seca alcanzada al 95% de compactación según los cálculos realizados en el laboratorio.

Tabla N° 2: Resumen del Ensaye de CBR al 95% de Compactación.

Tipo de suelo	Densidad Seca (Kg/m ³)	CBR	Clasificación Cualitativa	Uso
A – 2 – 6	1,695.0	14	Buena a regular	Subrasante
A – 2 – 4	1,729.0	10	Buena a regular	Subrasante
A – 6	1,553.0	5	Mala	Subrasante

Fuente: Elaboración Propia.

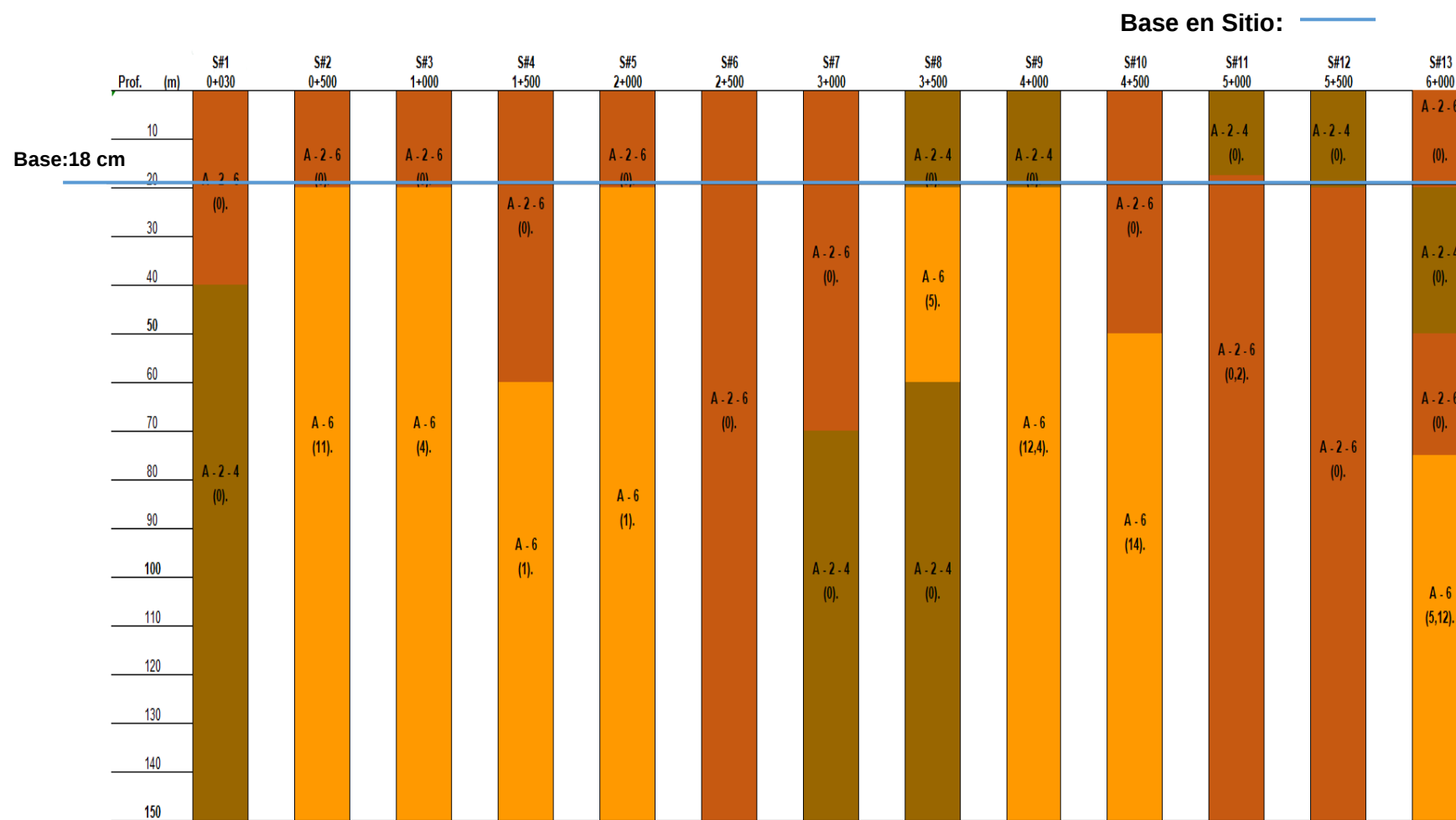
2.3.6 Perfil Estratigráfico de la Línea de Proyecto.

Para el Diseño de la Estructura de pavimento el diseñador, considero estabilizar con cemento la base de suelo existente, en una proporción del 3%, equivalente a 1.3 bolsas de cemento por cada metro cúbico de material del sitio, escarificando 18 cm de la superficie y compactadas en capas de 10cm.

La distribución estratigráfica de los suelos a lo largo del tramo deja ver las capas superficiales a 1.50 m, siendo esta la profundidad de los sondeos realizados.

Los suelos predominantes son de tipo: A – 2 – 4, A – 2 – 6 y A – 6; que varían entre 15 cm y 150 cm de profundidad cada estrato, según se observa en el siguiente gráfico.

Figura N° 6: Perfil Estratigráfico de los Sondeos Manuales Realizados.



Fuente: Elaboración Propia.

2.4 Ensayes de Laboratorio a los Bancos de Préstamo.

El diseñador seleccionó dos bancos o fuentes para préstamo de material para ser utilizados para el mejoramiento del camino; combinados en proporciones de 50/50 (50% Banco Santa Juana + 50% Banco La Iguana), tomando en cuenta las propiedades físico mecánicas y la ubicación de estos con respecto al tramo. (Ver anexo, Figura N° 35 – 36, pág. XV - XVI).

- **Banco N° 1: Santa Juana:** Localizado en la estación 5 + 900 a 150 m hacia el oeste en el carril derecho; propiedad de César Chavarría, en condiciones descapotado y en proceso de explotación.
- **Banco N° 2: La Iguana:** Situado en la estación 4 + 600 a 3 km hacia el suroeste, en el carril izquierdo; propiedad de Gregorio Acuña, en condiciones descapotado y en proceso de explotación.

2.4.1 Análisis Granulométrico de los Suelos ASTM D – 422.

La granulometría de los dos bancos de préstamo, tanto individual como combinados en proporciones 50/50, fue comparada y evaluada con respecto a la tabla de gradación recomendada para subbase, base o capas superficiales de la Nic-2000.

De los dos bancos solo el banco Santa Juana cumple con los requisitos de gradación exigido para el uso de materiales en **subbase tipo B y/o base tipo C**, mientras que el banco La Iguana y la combinación de ambos bancos no cumple con dicho requerimiento granulométrico. (Ver anexo, Tabla N° 38 – 40, pág. XVI – XVII).

2.4.2 Clasificación de los Suelos (ASTM D-3282).

Cada banco de préstamo de material seleccionado para el mejoramiento del tramo de carretera, fue sometido al ensaye de estados de consistencia y luego clasificado con el sistema AASHTO:

El banco Santa Juana posee un material de granulometría gravosa en su mayoría, con índice de plasticidad medio del 6%, por lo q se caracteriza por ser poco arcilloso, pertenece al tipo de suelo A – 1a (0), siendo un material clasificado de excelente a bueno para subrasante y como fragmento de roca y grava, según la ASTM D – 3282.

El material existente en el banco la Iguana es de granulometría fina en su mayoría, el índice de plasticidad es alta de 22% con características muy arcillosa, clasificado como una arena limosa o arcillosa, pertenece al tipo de suelo A – 2 – 7 (2), es un material que va de excelente a bueno para subrasante según la clasificación ASTM D – 3282.

La combinación de los dos bancos en proporción 50/50 por su granulometría se puede clasificar como una grava con arena limosa o arcillosa, mal gradada con índice de plasticidad del 13% lo que significa que tiene una plasticidad media, con característica arcillosa, pertenece al tipo de suelo A - 2 - 7 (1), siendo un material clasificado de excelente a bueno para subrasante.

2.4.3 Proctor Modificado ASTM D – 1557.

Por lo general las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales tales como cortina de presa de tierra, diques, terraplenes para caminos, muelles, pavimentos, etc. Algunas veces se hace necesario compactar el terreno natural.

Se procedió a realizar el ensaye tomando en cuenta las especificaciones basadas en la norma de la ASTM, obteniendo los siguientes Resultados, a partir de curvas de densidad seca vs humedad. (Ver anexo, Figura N° 37 – 39, pág. XVIII – XIX).

En la tabla se aprecia que el Banco la Iguana posee la menor densidad seca máxima y el mayor porcentaje de humedad óptima, en comparación a las otras dos muestras.

Tabla N° 3: Resumen de Resultados Obtenidos en Laboratorio.

Banco de Materiales	Densidad Seca Máxima (Kg/m³)	Humedad óptima (%)	Humedad Natural (%)
Santa Juana	1,895.0	12.0	5.8
La Iguana	1,550.0	21.4	15.2
50/50(*)	1,780.0	12.8	5.5
(*) 50% Banco La Iguana más 50% Banco Santa Juana.			

Fuente: Elaboración Propia.

2.4.4 Ensaye Valor Relativo Soporte (CBR) ASTM D – 1883.

Se puede observar en la siguiente tabla el comportamiento de cada banco con respecto a su valor soporte (CBR), a un 95% de compactación. El ensaye se realizó a los bancos de manera individual para ver su comportamiento y luego se hizo el estudio de manera conjunta en proporciones de 50/50 cada uno.

Tabla N° 4: Resumen de CBR al 95% de Compactación en los Bancos.

Banco de Préstamo.	Densidad Seca (Kg/m3).	C.B.R	Clasificación Cualitativa del Suelo.
Santa Juana	1,800.0	34	Buena
La Iguana	1,473.0	14	Regular a Buena
50/50(*)	1,691.0	17	Regular a Buena

Fuente: Elaboración Propia.

2.5 Comparación de los informes del Diseñador y de la Revisión.

Para concluir el capítulo de suelo, se realizó una tabla comparativa de los bancos de préstamo y de la combinación de ambos, propuesta por el diseñador para ser utilizado como material de préstamo en la estabilización del suelo; en la cual se puede observar gran diferencia en la capacidad soporte (CBR) principalmente.

Para el banco Santa Juana el diseñador concluye que tiene una capacidad soporte de 32%, una densidad seca máxima de 1,980. Kg/m³, una humedad óptima de 11% y lo clasificó como un material no plástico, difiriendo de los resultados de la revisión en el cual se calculó un CBR 2% menor, una densidad seca máxima inferior de 1,895 kg/m³ y un índice de plasticidad de 6%, coincidiendo solamente en el tipo de suelo (A – 1a).

El banco La Iguana presenta un CBR alterado de 33% en el estudio del diseñador de igual manera una densidad seca máxima de 1,703 kg/m³, un índice de plasticidad de 13% y una humedad óptima de 17%, sin embargo, en los resultados de la revisión se obtuvo un CBR de 14%, lo que significa un 19% menor al que sugiere el diseñador, una densidad seca máxima de 1,550 kg/m³, un índice de plasticidad de 22% significando un mayor porcentaje de humedad óptica de 21%, coincidiendo solamente en el tipo de suelo (A – 2 – 7).

Donde se observa mayor irregularidad en cuanto al estudio de suelo, es en la combinación de los dos bancos de préstamo, donde el diseñador los clasifica como un suelo A – 2 – 4, con una densidad seca máxima de 1,905 kg/m³ y un CBR de 52%, sin embargo, en la revisión se clasifica el suelo como A – 2 – 7, lo que significa que el material posee menos porcentaje de granulometría gruesa y mayor índice de plasticidad, una densidad seca máxima 1,780 kg/m³, y un CBR inferior de 17%.

Tabla N° 5: Resumen de la Comparación de Resultados del Diseñador vs Revisión.

Descripción	Banco Santa Juana		Banco La Iguana		Combinación de los dos Bancos (50/50)	
	Diseñador	Revisión	Diseñador	Revisión	Diseñador	Revisión
Índice Plástico (%).	N/P	6	13	22	10	13
Tipo de Suelo.	A - 1a (0)	A – 1a (0)	A - 2 - 7 (0)	A - 2 - 7 (2)	A - 2 - 4 (0)	A - 2 - 7 (1)
Densidad Seca Máxima (kg/m3).	1,980	1,895	1,703	1,550	1,905	1,780
Humedad Óptima (%).	11	12	17	21	14	13
CBR (%)	32	34	33	14	52	17

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO III. ESTUDIO DE TRÁNSITO.

3.1 Introducción.

Para el dimensionamiento de un pavimento es necesario determinar los efectos que las cargas de los vehículos causarán sobre el pavimento, por lo cual se debe conocer el número y tipo de vehículo que circula por una vía, así como la intensidad de la carga y la configuración del eje que la aplica.

El objetivo del estudio de tráfico es determinar si el proyecto cumple con la demanda proyectada, mediante el estudio del tráfico que circula por el tramo de carretera, así mismo determinar las características y comportamiento del mismo.

En el levantamiento en campo es necesario tener en cuenta la composición de los vehículos de carga, estadísticas obtenidos para el tráfico actual y su proyección a futuro, además de las características de los vehículos, ya que difieren unos de otros, actualmente en nuestro país hay gran variedad de vehículos, para simplificar su estudio es conveniente agruparlos en cuatro categorías; motocicletas, vehículos livianos, vehículos pesados de pasajeros, vehículos pesados de carga.

El estudio de Tráfico se dividió en tres etapas para su correcta elaboración:

- ✓ Recopilación de datos en campo (aforo vehicular)
- ✓ Procesamiento de Información
- ✓ Análisis de la Información obtenida.

3.2 Conteo Volumétrico de Tráfico.

Las estaciones de levantamiento de datos para el conteo volumétrico se hicieron tomando en cuenta el trazado de la vía, además de la existencia de ramales viales, las cuales son accesos a propiedades privadas y no representan desviación del flujo vehicular. Considerando lo anterior se definieron dos estaciones de conteo volumétrico vehicular, una al inicio y otra al final de la misma.

El conteo volumétrico se realizó de forma manual, ubicando dos aforadores en cada estación de conteo, estos llevaron registros del tráfico por sentido, tomando en cuenta el tiempo y la clasificación de cada vehículo de acuerdo a su tipología y descripción. (Ver anexo Tabla N° 41, pág. XX).

Según el Anuario de Aforo de Tráfico 2017 del MTI, para estaciones de corta duración se recomienda un mínimo de 3 días consecutivos, omitiendo lunes y viernes, ya que en estos dos días el flujo vehicular sufre alteraciones. El aforo vehicular se realizó por cuatro días en un periodo de 12 horas diarias en el mes de marzo de 2019, considerando que la zona es de amplio desarrollo turístico, se tomó en cuenta el fin de semana (sábado y domingo).

Tabla N° 6: Resumen de Resultados del Aforo Vehicular.

Días de Aforo	Punto N° 1 (Est. 0+300)		Punto N° 2 (Est. 6+000)		Total (Punto 1 y 2, ambos sentidos)
	Ambos sentidos	Porcentaje de vehículos (%)	Ambos sentidos	Porcentaje de vehículos (%)	
Sábado	364.	30%	353.	36%	717.
Domingo	284.	23%	248.	25%	532.
Martes	335.	28%	267.	27%	602.
Miércoles	229.	19%	126.	13%	355.
Total	1212.	100%	994.	100%	2206.
Promedio	303.00		249.00		552.

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla anterior se puede apreciar que el mayor flujo vehicular se contabilizó en el punto número 1 con un tráfico promedio diurno de 303 vehículo en ambas direcciones. (Ver anexo Tabla N° 42 – 45, pág. XXI – XXIV).

3.3 Dependencia de Estación.

La dependencia de estación, es identificar para una estación de conteo de corta duración o conteo sumaria cuál es la estación de mayor cobertura correspondiente, partiendo del perfil de variación en el flujo vehicular que presente mayor grado de similitud posible con la estación de mayor cobertura (EMC); según el Anuario de Aforos de Tráfico (MTI), Edición 2017. Por tal razón se eligió el punto N° 1, que estaba ubicado al principio del tramo en la estación 0+030, sobre la ECD – 6202 (Tola – Las Salinas).

Tabla N° 7: Dependencia de Estación San Marcos – Masatepe (1802).

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	Pkm	NOMBRE DEL TRAMO
1802 San Marcos - Masatepe	NIC-62	6201	ECD	120.3	Rivas - Tolas
	NIC-62	6202	ECD	159.0	Tolas - Las Salinas
	NIC-62	6205	ECS		Las Salinas - El Astillero
	NIC-64	6406	ECD	11.0	Moyogalpa - San José Del Sur
	NIC-64	6405	ECS	16.0	San José del Sur - Emp. El Quino
	NIC-64	6404	ECS	23.0	Emp. El Quino - Altagracia
	NIC-64	6403	ECS	28.0	Altagracia - Emp. San Marcos
	NIC-64	6402	ECS	33.6	Emp. San Marcos - La Flor
	NIC-64	6401	ECS	36.0	La Flor - Moyogalpa
	NIC-66	227	ECS	144.5	Sapoa - Cardenas - Colón

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico; (MTI); Edición 2017.

Tabla N° 8: Tránsito Promedio Diurno (12 horas).

Día	VEHICULO DE PASAJERO							VEHICULO DE CARGA			Otros	Total
	Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones				
	Moto	Auto	Jeep/SUV	Pick-Up	Microbús	Minibús	Bus	Liv. 2.5 tn.	C2	C3		
Sábado	181	67	16	57	5	4	12	6	7	-	9	364
Domingo	98	51	43	58	11	-	8	4	4	-	7	284
Martes	164	35	26	59	7	11	6	5	9	4	9	335
Miércoles	53	33	44	38	5	-	10	10	16	18	2	229
Total	496	186	129	212	28	15	36	25	36	22	27	1,212
TPD (12 hrs)	124	47	33	53	7	4	9	7	9	6	7	306
Porcentaje	91%							7%			2%	100%

Fuente: Elaboración Propia.

3.4 Procesamiento de la Información.

3.4.1 Cálculo de Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

Para realizar el cálculo del TPDA es necesario expandir el volumen de tránsito que se obtuvo del aforo realizado, en el tramo estudiado (Empalme El Gigante – El Murciélago); utilizando para este propósito los factores de ajuste diario, semanal y anual, los cuales dependen de la temporada en que se realizaron.

Tabla N° 9: Factores de Ajuste de la EMC – 1802.

<u>ESTACION DE MAYOR COBERTURA 1802</u> <u>SAN MARCOS - MASATEPE</u> <u>FACTORES - 2018</u>											
<i>Factores del primer cuatrimestre del año Enero - Abril</i>											
Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Otros
Factor Día	1.42	1.47	1.30	1.33	1.37	1.31	1.31	1.21	1.26	1.18	1.13
Factor Semana	0.99	1.08	1.09	1.04	0.97	0.97	0.94	0.90	0.85	0.83	0.90
Factor Fin de Semana	1.02	0.84	0.82	0.92	1.09	1.10	1.21	1.36	1.78	2.01	1.41
Factor Expansión a TP	1.00	0.92	0.88	0.89	0.95	1.00	0.90	0.91	0.90	0.92	0.77

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura, Edición 2018.

3.4.1.1 Factores de Ajuste.

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

➤ Expansión a Tránsito Promedio Diario, 24 horas (TD).

TD = Tránsito 12 horas x Factor día.

Ec. N° 8

$TD_{(moto)} = 124 \times 1.42 = 176.$

$TD_{(auto)} = 47 \times 1.47 = 69.$

➤ **Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDs).**

$$\text{TPDs} = \text{TD} \times \text{Factor Semanal.}$$

Ec. N° 9

$$\text{TPDs}_{(\text{moto})} = 176 \times 0.99 = 175.$$

$$\text{TPDs}_{(\text{auto})} = 69 \times 1.08 = 75.$$

➤ **Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).**

$$\text{TPDA} = \text{TPDs} \times \text{Factor de expansión TPDS.}$$

Ec. N° 10

$$\text{TPDA}_{(\text{moto})} = 175 \times 1.0 = 175.$$

$$\text{TPDA}_{(\text{auto})} = 75 \times 0.92 = 69.$$

$$\text{TPDA} = \text{TD} \times \text{Fact.día} \times \text{Fact.sem} \times \text{Fact. Exp. (TPDA).}$$

Ec. N° 11

$$\text{TPDA}_{(\text{moto})} = 124 \times 1.42 \times 0.99 \times 1.0 = 175.$$

$$\text{TPDA}_{(\text{auto})} = 47 \times 1.47 \times 1.08 \times 0.92 = 69.$$

Tabla N° 10: Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA – 2019).

Descripción	VEHICULO DE PASAJERO							VEHICULO DE CARGA			Otros	Total
	Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones				
	Moto	Auto	Jeep/SUV	Pick-Up	Microbús	Minibús	Bus	Liv. 2.5 tn.	C2	C3		
TPD (12hr)	124	47	33	53	7	4	9	7	9	6	7	306
Factor día	1.42	1.47	1.30	1.33	1.37	1.31	1.31	1.21	1.26	1.18	1.13	
TPD (24hr)	176	69	43	71	10	5	12	8	11	7	8	420
Factor Semana	0.99	1.08	1.09	1.04	0.97	0.97	0.94	0.90	0.85	0.83	0.90	
TPD semana	175	75	47	73	9	5	11	8	10	6	7	425
Factor Exp. (TPDA)	1.00	0.92	0.88	0.89	0.95	1.00	0.90	0.91	0.90	0.92	0.77	
TPDA ₍₀₎	175	69	42	66	9	6	11	8	9	6	6	407

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2 Determinación Tasa de Crecimiento para Proyecciones del Tráfico Futuro.

Es el valor expresado en porcentaje que define el incremento anual del volumen de tránsito en una vía. Para estimar la tasa de crecimiento y realizar las proyecciones de tránsito de la vía en estudio, se analizaron las siguientes variables; el historial de tránsito en la zona, tanto de estación de mayor cobertura como de la estación de corta duración, Producto Interno Bruto (PIB) y el consumo de combustible a nivel nacional.

Tabla N° 11: Variables a Considerar para Calcular la Tasa de Crecimiento.

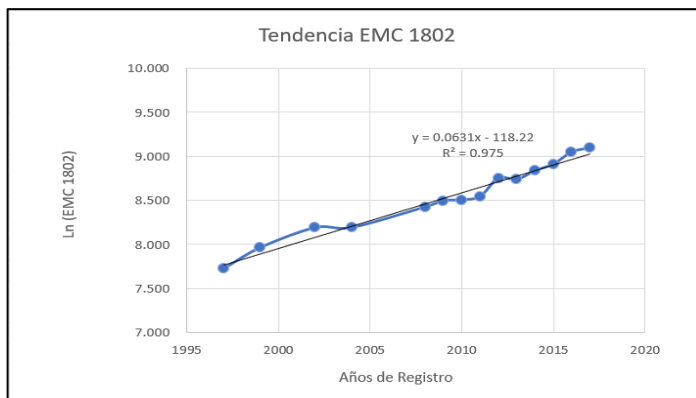
AÑO	TPDA-EMC 1802	TPDA-ECD 6202	Combustible (Miles de barriles)	P.I.B (Millones de C\$)	Ln (TPDA 1802)	Ln (TPDA 6202)	Ln (Comb)	Ln (PIB)
1997	2,260	-	-		7.72	-	-	-
1999	2,871	177	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	7.96	5.18	-	-
2001	-	193	-	-	-	-	-	-
2002	3,602	-	-	-	-	5.26	-	-
2003	-	212	-	-	8.19	-	-	-
2004	3,608	-	-	-	-	5.36	-	-
2006	-	302	4,701	118,837	8.19	-	-	-
2007	-	-	5,325	124,870	-	-	-	-
2008	4,554	637	4,952	129,160	-	5.71	8.46	11.69
2009	4,887	659	4,918	124,907	-	-	8.58	11.74
2010	4,936	-	5,127	130,416	8.42	6.46	8.51	11.77
2011	5,132	-	5,367	138,654	8.49	6.49	8.50	11.74
2012	6,324	-	5,611	147,661	8.50	-	8.54	11.78
2013	6,221	-	5,788	154,936	8.54	-	8.59	11.84
2014	6,883	-	6,147	162,351	8.75	-	8.63	11.90
2015	7,402	-	6,797	170,230	8.74	-	8.66	11.95
2016	8,500	-	7,287	178,236	8.84	-	8.72	12.00
2017	8,908				8.91	-	8.82	12.04

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2.1 Proyecciones de Tránsito.

Los registros históricos de tránsito para la estación de mayor cobertura San y de la estación de corta duración Tola – Las Salinas fueron obtenidas del Anuario de Aforos de Tránsito, edición 2017, emitidos por el MTI. (Ver anexo, Tabla N° 46 – 47, pág. XXV – XXVI).

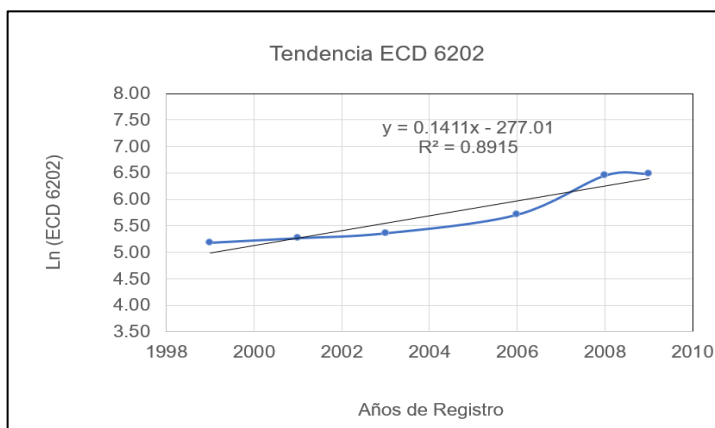
Figura N° 7: Tendencia del TPDA EMC – 1802.



Fuente: Elaboración Propia.

La gráfica de tendencia de EMC 1802, reflejan un comportamiento lineal, teniendo un grado de confiabilidad de $R^2 = 97.5\%$ y una tasa de crecimiento de 6.3%, esto debido a que atraviesa sitios turísticos como lo son las playas del pacífico sur.

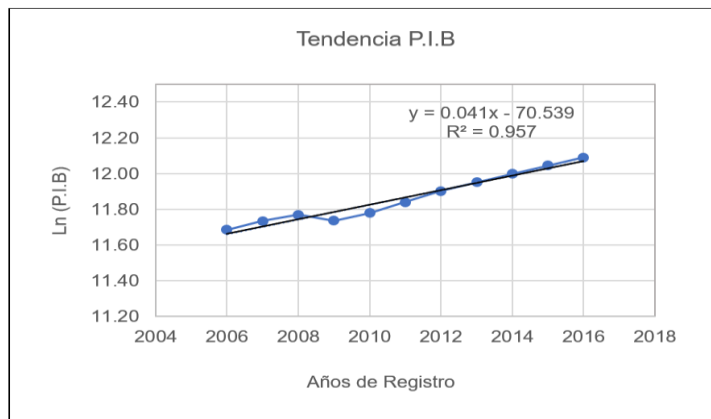
Figura N° 8: Tendencia del TPDA ECD – 6202.



Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica de la ECD: 6202, se puede observar una confiabilidad $R^2 = 89\%$, con una tasa de crecimiento del 14%, debido a las mejoras realizadas a la infraestructura vial y ser el ingreso a sitios turísticos de gran envergadura como Guacalito de la Isla, Hacienda La Iguana, Rancho Santana, Aeropuerto Costa Esmeralda, etc.

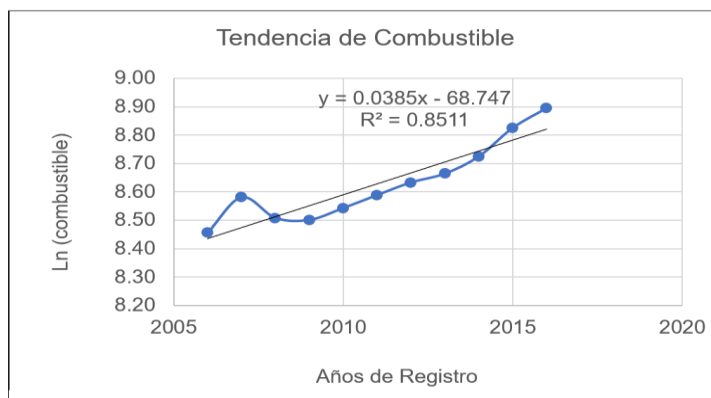
Figura N° 9: Tendencia del P.I.B.



Fuente: Elaboración Propia.

Los datos del producto interno bruto, están expresados en millones de córdobas, basados en las estadísticas presentadas en la página web del Banco Central de Nicaragua (BCN), para el periodo comprendido entre 2006 – 2016. La gráfica, refleja una confiabilidad $R^2 = 96\%$, y una tasa de crecimiento de 4.1%.

Figura N° 10: Tendencia de Combustible.

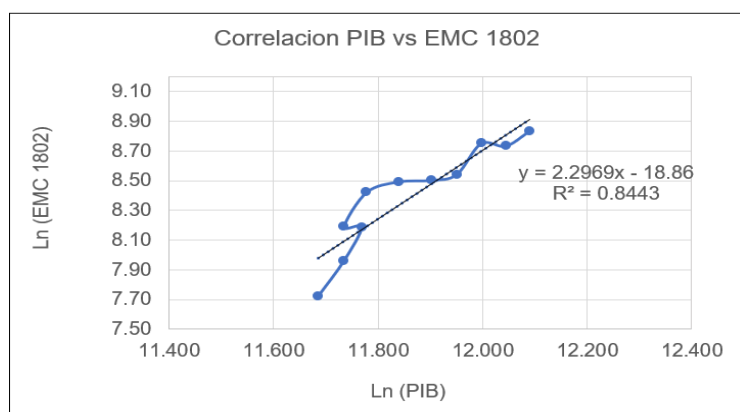


Fuente: Elaboración Propia.

Los datos históricos de consumo de combustible a nivel nacional (gasolina más diésel) están expresados en miles de barriles, información obtenida de la página web del Instituto Nicaragüense de Energía (INE), en la sección de Estadísticas e Hidrocarburos para el período comprendido entre 2006 – 2016. En la gráfica de tendencia del combustible, muestran una confiabilidad $R^2 = 85\%$ y una tasa crecimiento igual a 3.8%.

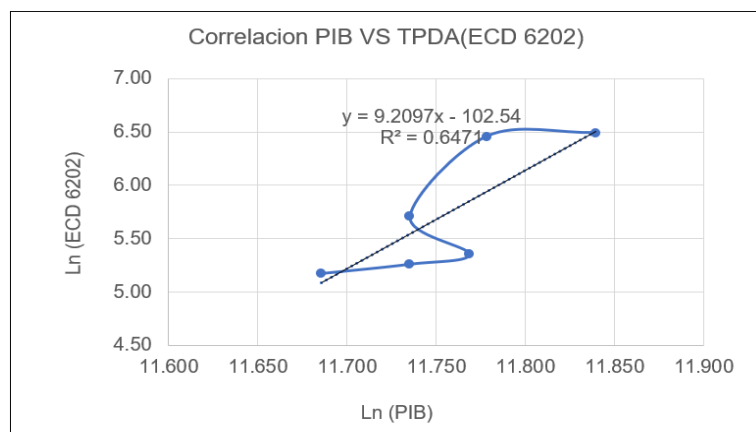
A partir de los datos anteriores también se elaboraron gráficas de correlación entre el PIB y las demás variables, para luego realizar un análisis de las mismas y definir una tasa de crecimiento vehicular.

Figura N° 11: Correlación del P.I.B vs EMC 1802.



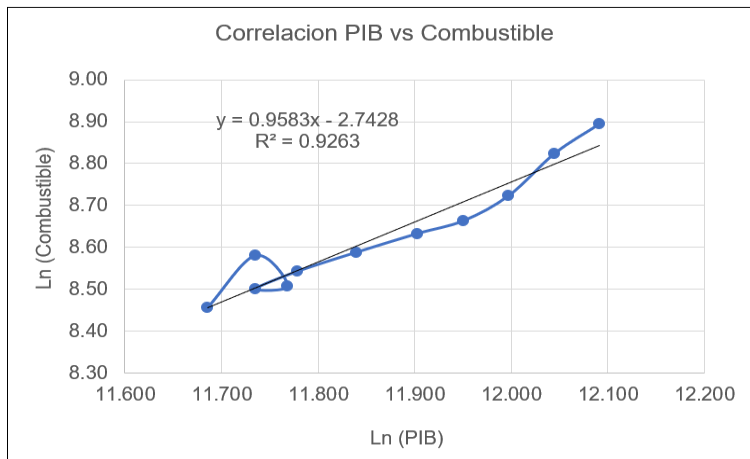
Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 12: Correlación P.I.B vs ECD 6202.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13: Correlación P.I.B vs Combustible.



Fuente: Elaboración Propia.

Una vez analizadas todas las gráficas de tendencia y correlación se puede concluir que la estación de mayor cobertura (EMC: 1802) posee una confiabilidad $R^2 = 97.5\%$ sin embargo su tasa de crecimiento es muy alta de 6.3% ; por otra parte, la tasa de crecimiento de combustible es de 3.8% , la más baja en estos cálculos sin embargo su confiabilidad $R^2 = 85\%$. Por tal razón se utilizará la tasa de crecimiento de 4.1% del P.I.B con una confiabilidad $R^2 = 96\%$, ya que es la que mejor se adapta al tipo de tráfico de la localidad.

3.4.3 Período de Diseño.

El período de análisis de diseño es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento, tomando en cuenta las variaciones del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones de este se empiecen a alterar de manera significativa.

La AASHTO recomienda algunos periodos de análisis y diseño, en la siguiente tabla:

Tabla N° 12: Períodos de Análisis y Diseño.

Tipo de Facilidad vial.	Periodos en años	
	Análisis.	Diseño.
Urbana de Alto Volumen.	30 - 50	15 - 20 ₍₃₀₎
Interurbana de Alto Volumen.	20 - 50	15 - 20 ₍₃₀₎
Bajo Volumen.		
Pavimentada con Asfalto.	15 - 25	5 - 12.
Con Rodamiento sin Tratamiento (base granular sin capa asfáltica).	10 - 20.	5 - 8.

Fuente: AASHTO – 93. Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos Flexibles, pág. 6.

Para el análisis de vías pavimentadas con asfalto, la guía AASHTO – 93 recomienda un rango entre 15 y 25 años, por lo cual tomaremos en cuenta para el tramo en estudio el mínimo de 15 años.

3.4.4 Proyecciones de la Demanda de Tránsito.

Para determinar las proyecciones de tránsito de una carretera, se realizan diversos procedimientos, que van desde los más complejos y sofisticados a bases de modelos económicos hasta los que se caracterizan por su extrema simplicidad en el cálculo o dependen solamente del buen juicio y criterio del diseñador. La proyección de la demanda de tránsito permite estimar la cantidad de volumen de tránsito para cierto período de tiempo.

$$TPDA_i = TPDA_0 * (1 + T_c)^n. \quad \text{Ec. N° 12}$$

$$TPDA_{(moto)} = 175 (1 + 0.041)^{15} = 320.$$

$$TPDA_{(auto)} = 69 (1 + 0.041)^{15} = 126.$$

Donde:

TPDA_i: Cantidad de vehículos en el año “n”.

TPDA₀: Cantidad de vehículos al inicio del período de diseño.

T_c: Tasa de crecimiento en el período de diseño expresado en notación decimal.

n: Número de años que comprende el período de diseño.

En la siguiente tabla podemos observar la proyección del tráfico clasificado por cada tipo de vehículo, a un periodo de 15 años, calculado con una tasa de crecimiento del 4.1%, la cual fue escogida a partir de variables, que se detallan con anterioridad.

Tabla N° 13: Proyección de Tránsito Promedio Diario Anual.

Tipo de Vehículo	TPDA-2019 (veh)	TPDA-2034 (veh)
Motos	175	320
Autos	69	126
Jeep	42	77
Camioneta	66	121
Micro Bus	9	16
Mini Bus	6	11
Bus	11	20
Liv. 2-5 Ton.	8	15
C2	9	16
C3	6	11
Otros	6	11
Total	407	744

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.5 Clasificación de la Carretera.

La clasificación funcional de las carreteras, admite el establecimiento de doce tipos básicos de carreteras entre rurales y urbanas, con límites en lo que respecta a volúmenes de tránsito para diseño.

Tabla N° 14: Clasificación Funcional de Carreteras.

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA(1)	NOMECLATURA	TPD(2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de Carriles
ARTERIAL PRINCIPAL	AUTOPISTA	AA	>20,000	6-8
	ARTERIAL RURAL	AR	10,000-20,000	4-6
	ARTERIAL URBANA	AU	10,000-20,000	4-6
ARTERIAL MENOR	ARTERIAL MENOR RURAL	AMR	3,000-10,000	2
	ARTERIAL MENOR URBANA	AMU	3,000-10,000	2
COLECTOR MAYOR	COLECTOR MAYOR RURAL	CMR	10,000-20,000	4-6
	COLECTOR MAYOR URBANA	CMU	10,000-20,000	4-6
COLECTOR MENOR	COLECTOR MENOR RURAL	CR	500-3,000	2
	COLECTOR MENOR URBANA	CU	500-3,000	2
LOCAL	LOCAL RURAL	LR	100-500	2
	LOCAL URBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1-2

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño Geométrico de Carreteras 2011; pág. 33.

A partir del analizado del tránsito promedio diario y de la tabla de clasificación funcional de carreteras, podemos concluir que el tramo se clasifica como un colector menor rural (CR).

3.4.6 Tránsito de Diseño.

Es la denominación del tránsito para el diseño de pavimento que tiene como objetivo la cuantificación del número acumulado de ejes simples equivalentes que circularán por la vía durante el periodo de diseño. El tránsito de diseño es calculado mediante diferentes factores (factor de crecimiento, factor de carril y factor direccional), con la siguiente ecuación:

$$TD = TPD_i \times F^c \times F_c \times F_d.$$

Ec. N° 13

$$TD_{(autos)} = 69 \times 7,363.2 \times 1 \times 0.50 = 254,030.$$

$$TD_{(Jeep/SUV)} = 42 \times 7363.2 \times 1 \times 0.5 = 154,627.$$

3.4.6.1 Factor de Crecimiento (F^c).

El factor de crecimiento del tráfico considera los años de vida útil de la vía (periodo de diseño) más la tasa de crecimiento vehicular estimada para el proyecto, de esta manera nos muestra cómo se comportará el tránsito vehicular sobre la vía respecto al tiempo. se determina a través de la siguiente fórmula:

$$F^c = 365 \times \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

Ec. N° 14

$$F^c = 365 \times \left[\frac{(1+0.041)^{15} - 1}{0.041} \right] = 7,363.2$$

Dónde:

i = Tasa de crecimiento vehicular (4.1%).

n = Periodo de diseño, (15 años).

3.4.6.2 Factor Carril (F_c).

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Debido a que la vía en estudio se está diseñando con un carril por sentido, el factor tendrá un valor de 1.

Tabla N° 15: Factor Carril por Dirección (Fc).

N° de Carriles en una dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 82 KN en el carril de diseño
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Fuente: Manual Centroamericano Para Diseño de Pavimentos, Capítulo 3; Pág. 29.

3.4.6.3 Factor Direccional (Fd).

Se expresa con relación al tráfico y al sentido de circulación, su valor es generalmente 0.5 para el flujo vehicular en ambas direcciones.

Tabla N° 16: Factor de Dirección por Carril (Fd)

Número de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual Centroamericano Para Diseño de Pavimentos, Capítulo 3; Pág. 29.

Una vez definidos todos los parámetros anteriores se obtiene el Tránsito de diseño, el cual se calcula con la ecuación N° 13, de este documento. Este cálculo se realiza para cada tipo de vehículo que transita por la vía y al final se hace una

sumatoria de todos, dando como resultado un tránsito de diseño de; **832,042 vehículos**, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 17: Tránsito de Diseño.

Tipo de Vehículos	TPDA₍₀₎ 2019	Factor de Crecimiento	Factor Carril	Factor Dirección	Tránsito de Diseño
Auto	69	7363. 2	1	0.5	254,030
Jeep/SUV	42	7363. 2	1	0.5	154,627
Pick-Up	66	7363. 2	1	0.5	242,986
Microbús	9	7363. 2	1	0.5	33,134
Minibús	6	7363. 2	1	0.5	22,090
Bus	11	7363. 2	1	0.5	40,498
Liv. 2.5 tn.	8	7363. 2	1	0.5	29,453
C2	9	7363. 2	1	0.5	33,134
C3	6	7363. 2	1	0.5	22,090
Tráfico de Diseño (Veh):					832,042

Fuente: Elaboración Propia.

3.5 Comparación de los informes del Diseñador y de la Revisión.

Para concluir el estudio de tránsito se realizó un cuadro comparativo entre el resultado del diseñador y la revisión, en el cual se detalla lo siguiente:

Para su estudio el diseñador eligió un periodo de 20 años, con año base 2014, una tasa de crecimiento de 6.4% para los primeros 5 años y otra de 3.03% para los 15 años restantes, con un TPDA inicial de 527 vehículos y un TPDA final de 17,661 vehículos obteniendo como resultado un tránsito de diseño de 3,983,937 vehículos; sin embargo, para la revisión se eligió un periodo de 15 años, tomando de año base el año 2019, con una tasa de crecimiento de 4.1%, con un TPDA inicial de 407 vehículos y un TPDA final de 744 vehículos, obteniendo tránsito de diseño de 832,037 vehículos.

Tabla N° 18: Resumen de la Comparación de Resultados del Diseñador vs Revisión.

Descripción	Diseñador	Revisión
Periodo de diseño	20 años	15 años
Año (Inicial).	2,014	2,019
Tasa de Crecimiento (5 años)	6.4%	-
Tasa de Crecimiento (15años)	3.03%	4.1%
TPDA (inicial).	527 veh	407 veh
TPDA (final).	17,661 veh	744 veh
Tránsito de Diseño	3,983,937 veh	832,037 veh

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV. Estructura de Pavimento.

4.1 Introducción.

Para el diseño de la estructura de pavimento, el método más utilizado es el de la guía AASHTO – 93 (American Association of State Highway and Transportation Officials), el cual cuenta con dos técnicas; una para pavimento rígido y otra para pavimento flexible.

El método para pavimento flexible es utilizado también para el pavimento adoquinado, esto se basa en la forma como este asimila las cargas y las transmite a los demás miembros de la estructura de pavimento, trabajando de forma articulada y a la vez como una pequeña losa.

El propósito de toda metodología de diseño, es hallar espesores mínimos que se traduzca, en los menores costos anuales de mantenimiento. Si se toma un espesor mayor al necesario, el pavimento presentará comportamiento con bajos costos de mantenimiento, pero el costo inicial será muy elevado. Ahora si, por el contrario, el espesor elegido es muy bajo, se requerirá un mantenimiento importante e interrupciones de tránsito prematuras y costosas, que excederá la compensación por el menor costo inicial. Por tanto, un buen criterio ingenieril implica la elección de espesores de diseño que equilibren adecuadamente los costos iniciales con los de mantenimiento.

4.2 Metodología de Diseño AASHTO – 93.

La ecuación fue desarrollada a partir del AASHO Road Test considerando los aspectos relativos a la pérdida de servicialidad, el tráfico y el espesor de las capas de pavimento.

La ecuación de la guía AASHTO 1993 para pavimentos flexibles es la siguiente:

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} (M_R). \quad \text{Ec. N° 15}$$

Donde:

W₁₈: Ejes equivalentes proyectados de 80 KN (18,000 lb) ESAL'S.

Z_R: Desviación estándar normal del error combinado en la predicción de tráfico y comportamiento estructural.

S₀: Desviación estándar total o Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento.

Δ PSI: Cambio de la Serviciabilidad.

M_R: Módulo resiliente de la subrasante (PSI).

SN: Número estructural, indicador de la capacidad estructural requerida (materiales y espesores).

A continuación, se determinan los Parámetros de Diseño los cuales son necesarios para el desarrollo de este método de diseño:

4.2.1 Análisis de las Cargas y Ejes Equivalentes Esal's (w₁₈).

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de determinada carga, que producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes y que para efectos de cálculo se convierte en

números de ejes equivalentes de 80 KN o 18 kips a los cuales se denomina “Equivalent simple axial load” o Esal’s (ejes equivalentes).

Para realizar el cálculo del Esal’s de diseño es necesario conocer con anticipación el tipo de vehículo que circularán por el camino durante el período de diseño, el peso de cada uno y el factor de equivalencia de carga. Para obtener dicho factor se considera una serviciabilidad final de 2.0, recomendada para camino de tránsito menor y un coeficiente estructural de carga asumido $SN = 5$. (Ver anexo, Tabla N° 48 – 52, pág. XXVII - XXX).

Esal o $W_{18} = TD * \text{Factor Esal}$.

Ec. N° 16

Tabla N° 19: Cálculos de los Ejes Equivalentes de 18 Kips (8 Ton).

Tipo de Vehículo		Tipo de Eje	TPDA ₀	Tránsito de Diseño	Peso por Eje (lb)	Factor Esal's	Esal's
Vehículo Pasajero	Auto.	Simple	69	254,030.40	2,200.00	0.00038	96.5
		Simple			2,200.00	0.00038	96.5
	Jeep/SUV.	Simple	42	154,627.20	2,200.00	0.00038	58.8
		Simple			2,200.00	0.00038	58.8
	Pick-Up.	Simple	66	242,985.60	2,200.00	0.00038	92.3
		Simple			4,400.00	0.0034	826.2
	Microbús.	Simple	9	33,134.40	4,400.00	0.0034	112.7
		Simple			8,800.00	0.0502	1,663.3
	Minibús.	Simple	6	22,089.60	8,800.00	0.0502	1,108.9
		Simple			17,600.00	0.9206	20,335.7
Bus.	Simple	11	40,497.60	11,000.00	0.1265	5,122.9	
	Simple			22,000.00	2.35	95,169.4	
Vehículo Carga	Liv. 2.5 tn.	Simple	8	29,452.80	8,800.00	0.0502	1,478.5
		Simple			17,600.00	0.9206	27,114.2
	C2.	Simple	9	33,134.40	11,000.00	0.1265	4,191.5
		Simple			22,000.00	2.35	77,865.8
	C3.	Simple	6	22,089.60	11,000.00	0.1265	2,794.3
		Doble			36,300.00	1.437	31,742.8
Esal's de Diseño:							269,929

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2 Determinación del CBR de Diseño.

Una vez identificado el valor Percentil a partir del Esal's de diseño ($W_{18} = 269,929$), se ordenaron los valores de CBR de menor a mayor y se determinó el número y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno. (Ver anexo, Tabla N° 53, pág. XXXI).

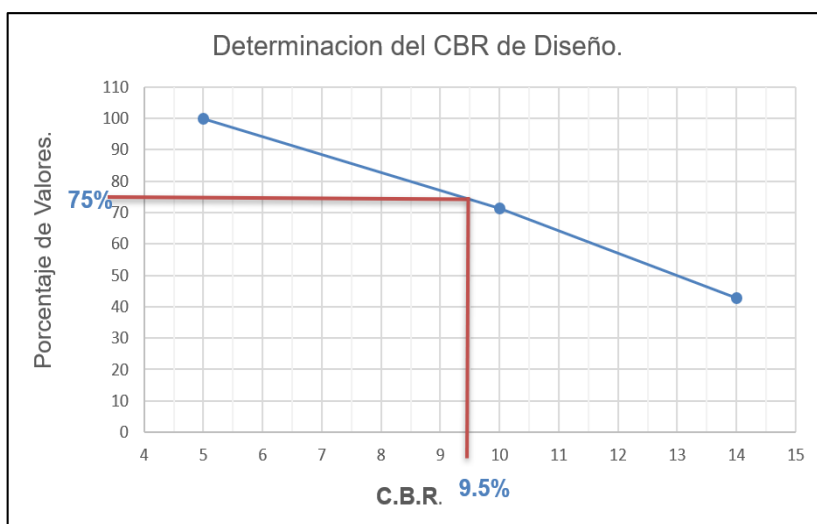
A continuación, se presentan los datos obtenidos de la línea de proyecto; los que se utilizan para realizar la gráfica, con la que se determinara el CBR de diseño:

Tabla N° 20: Cálculos para la Determinación del CBR de Diseño.

Tipo de Suelo	CBR	Frecuencia	Numero de iguales a mayores	% de valores iguales o mayores
A-6	5	8	28	100
A-2-4	10	8	20	71
A-2-6	14	12	12	43

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 14: Determinación del CBR de Diseño.



Fuente: Elaboración Propia.

Al trazar la tangente sobre el valor Percentil de 75% obtenemos el C.B.R de diseño para la subrasante igual a 9.5%.

4.2.3 Confiabilidad (R).

La confiabilidad es la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento, cumpla con su función prevista dentro de su vida útil, bajo condiciones que tienen lugar en ese lapso. A medida que se escoja un nivel de confiabilidad mayor, será necesario espesores mayores.

De acuerdo a la clasificación funcional establecida por el MTI, el tramo en estudio está clasificado como una colectora secundaria, en una zona Rural; por lo tanto se asume un valor de confiabilidad de 85 %, por estar en un rango intermedio del propuesto por la AASHTO y una desviación estándar normal (Z_r) = - 1.037. (Ver anexo, Tabla N° 54 – 55, pág. XXXI – XXXII).

4.2.4 Desviación Estándar del Sistema (S_o).

El valor de la desviación estándar seleccionado debe ser representativo de las condiciones locales. Se recomienda para uso general, pero estos valores pueden ser ajustados en función de la experiencia para uso local.

Tabla N° 21: Valores Recomendados para la Desviación Estándar (S_o).

Condición de Diseño	Desviación Estándar
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	0.25
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0.35 – 0.50

Fuente: AASHTO – 93. Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, Capítulo 3; pág. 10.

Para el procedimiento en estudio se tomará un promedio entre 0.40 – 0.50, siendo este valor igual a **0.45**.

4.2.5 Índice Serviciabilidad.

Se define como la capacidad de servir al tipo de tráfico para el cual ha sido diseñado. Se utilizará un índice de serviciabilidad inicial de 4.2, ya que el pavimento se evaluará como flexible, y serviciabilidad final 2.0 para caminos de tránsito menor. (Ver anexo, Tabla N° 56, pág. XXXII)

4.2.6 Pérdida o Disminución de la Serviciabilidad (ΔPSI).

La pérdida o disminución de la serviciabilidad es la diferencia que existe entre índice de serviciabilidad inicial (P_0) y serviciabilidad final (P_t). se calculó con la siguiente ecuación, dando como resultado 2.2.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t.$$

Ec. N° 17

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2 = 2.2.$$

4.2.7 Coeficiente de Drenaje.

El coeficiente de drenaje depende de dos parámetros: de la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad, próximos a la saturación, en el transcurso del año.

Para determinar el coeficiente de drenaje se tomó en cuenta el informe hidrotécnico del diseñador, el cual califica la calidad del drenaje como regular, con un periodo de eliminación de agua de una semana, y asumiendo 1.00 como coeficiente de drenaje.

Tabla N° 22: Valores Recomendados del Coeficiente de Drenaje.

Calidad del drenaje	Tiempo en eliminar el agua	Porcentaje de tiempo en que la nueva estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad cercano a la saturación			
		< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	2 horas	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1 día	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	Agua no drena	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.70	0.40

Fuente: AASHTO – 93. Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos Flexibles. Pag 24.

4.2.8 Módulo Resiliente de la Subrasante (M_R).

El procedimiento para determinar el módulo resiliente (M_R), está dado por la prueba AASHTO T – 274, pero en Nicaragua no se realiza debido a que no se cuenta con el equipo necesario, es por tal razón que se recurre a la propuesta de la guía AASHTO, de calcular el M_R , por medio de pruebas que lo relacionan con el CBR (california Bearing Ratio).

El módulo de resiliencia de la subrasante, es calculado a partir de las siguientes ecuaciones, las cuales están dadas en la página 11 del capítulo 4, del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento.

Módulo Resiliente de la Subrasante Actual.

$$M_R = 1,500 * CBR; (CBR < 10).$$

Ec. N° 18

$$M_R = 1,500 * 9.5 = \mathbf{14,250.00 \text{ Psi.}}$$

Módulo Resiliente de la Combinación de los dos Bancos (50/50).

$$M_R = 3,000 * CBR^{0.65}; (CBR = 10 - 20).$$

Ec. N° 19

$$M_R = 3,000 * (17)^{0.65} = \mathbf{18,920.00 \text{ Psi.}}$$

4.3 Determinación de los Espesores.

Para determinar los espesores de las capas de la estructura es necesario el cálculo de los Coeficientes Estructurales de cada capa, para lo cual la AASHTO – 93, recomienda el uso de monogramas.

Estos coeficientes son una medida de la capacidad relativa de capa, como componente estructural de un pavimento, aunque directamente no sea un índice de la resistencia del material.

A. Capa de Rodadura.

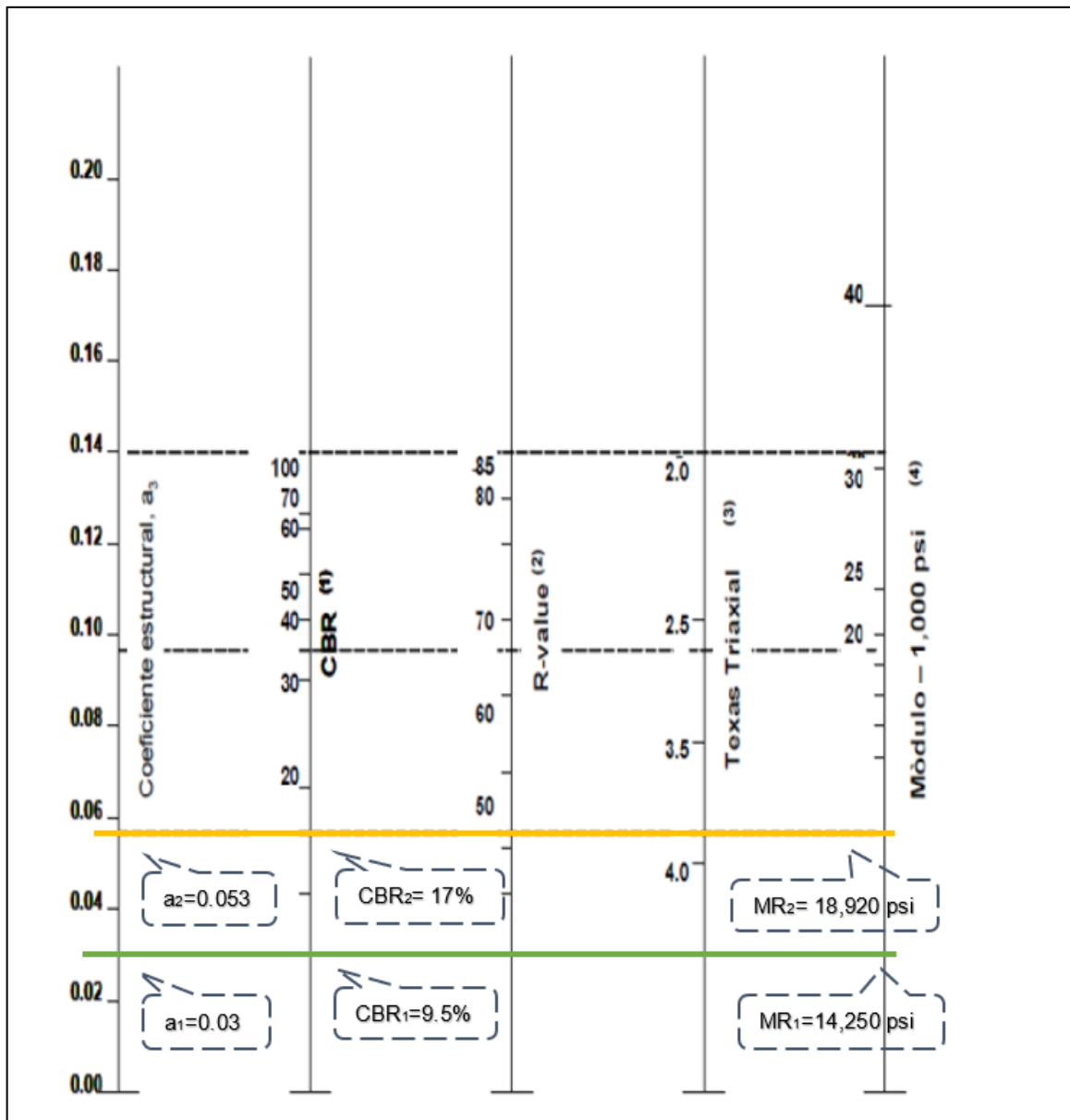
El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento en el capítulo 7 pagina 107, proporciona información básica para el estudio de la capa de rodadura articulada, por lo tanto, no es necesario calcular el espesor, ya que el adoquín se fabrica con dimensiones estándar y con un espesor de 10 cm equivalente a 4" y un coeficiente de carpeta (adoquín) de **0.45**.

B. Capa de Base.

El cálculo de la capa base se realizó para el material actual de la estructura con CBR = 9.5%, para comprobar su cumplimiento con los espesores mínimos en función de las cargas aplicadas y posteriormente para la combinación de los dos bancos, a una penetración de 0.1" y al 95% de compactación, con un CBR de 17%.

Con el apoyo del siguiente ábaco o monograma propuesto por la Guía para Diseño de Estructura de Pavimentos, AASHTO – 93, se calculó el coeficiente estructural a partir del CBR de la capa base actual y a su vez del material propuesto por el diseñador para la estabilización del sitio

Figura N° 15: Monograma Coeficiente de la Capa Base.



Fuente: Elaboración Propia.

En el ábaco se determinó el siguiente coeficiente de capa para cada tipo de material:

- ✓ Coeficiente de la capa base actual (a_1). -----**0.03**
- ✓ Coeficiente de la capa base propuesta (a_2). -----**0.053.**

➤ **Cálculo del Número Estructural (SN).**

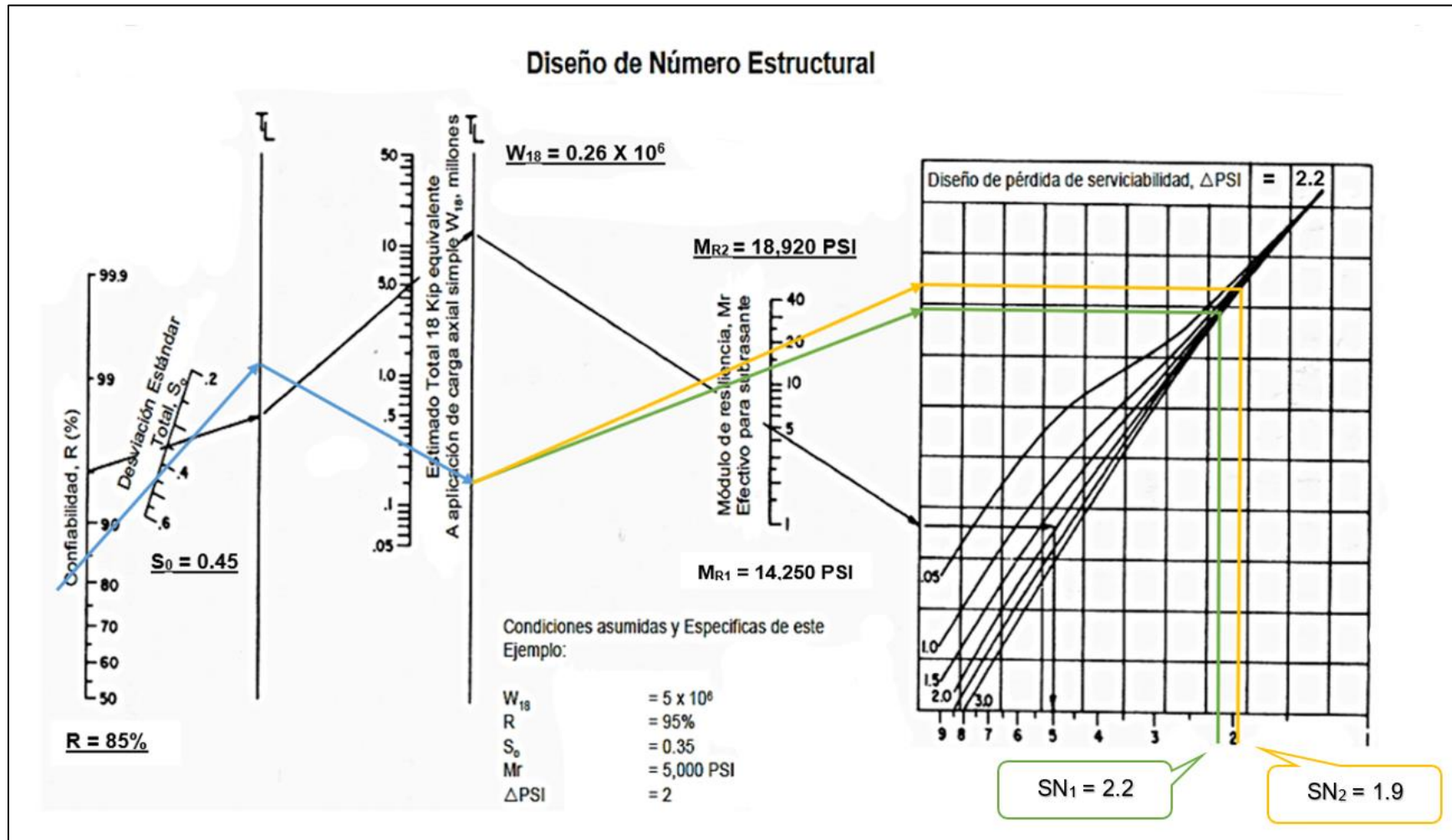
Para el cálculo del número estructural, se utilizó el monograma de la Guía para diseño de estructura de pavimentos, AASHTO – 93, proyectando líneas hacia los verticales guías, con los valores de la confiabilidad, desviación estándar, Esal's de diseño, módulo de resiliencia y la pérdida de serviciabilidad, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla N° 23: Variables para el Cálculo de Número Estructural.

Variables.	Base Actual.	Combinación de los dos Bancos (50/50).
Confiabilidad R.	85%	
Desviación Estándar S_0.	0.45	
Esal's de Diseño.	269,929	
Módulo Resiliente M_R.	14,250 psi	18,920 psi
Pérdida de Serviciabilidad ΔPSI.	2.2	
CBR.	9.5%	17%

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 16: Monograma Número Estructural (SN).



Fuente: Elaboración Propia.

Para comprobar el número estructural (SN), encontrado en el monograma se realizó el siguiente procedimiento:

- ✓ Con un escalímetro (escala 1:100), se mide la distancia entre dos puntos de la gráfica, a ambos extremos de la proyección de ΔPSI (0.2), en este caso, de 2 a 3 (1.1), Luego se mide la distancia entre 2 y la proyección de la ΔPSI (0.2). y estos dos valores se dividen de la siguiente manera.

$$0.2 / 1.1 = 0.182.$$

- ✓ Al resultado anterior (0.182), se le calcula el antilogaritmo y luego este resultado se divide entre 10.

$$\text{Log}^{-1} (0.182) = 1.5. = 1.52 / 10 = 0.15.$$

- ✓ Después al resultado de 0.15 se le suma el valor de referencia menor en este caso 2. siendo el resultado final igual $SN = 2.2$.

$$2 + 0.15 = 2.15 = 2.2.$$

- ✓ Obteniendo como resultado un $SN = 2.2$.

De igual manera se realizó el cálculo para el material de la combinación de los dos bancos, dando un $SN = 1.9$.

Para relacionar el número estructural con los espesores de capas se utiliza la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3. \quad \text{Ec. N° 20}$$

Donde:

a_i = coeficiente de la capa (1/Pulg).

D_i = espesor de la capa i (Pulg).

m_i = coeficiente de drenaje de la capa granular i (adimensional).

a. Cálculo de la Capa Base Actual.

Numero Estructural (SN) = 2.2.

$$SN = D_1 \times a_1.$$

$$SN_{(rod)} = (4") \times (0.45) = 1.8.$$

$$SN = SN_{(rod)} + SN_{(base)}.$$

$$2.2 = 1.8 + SN_{(base)}.$$

$$SN_{(base)} = 2.2 - 1.8 = 0.4.$$

$$SN = a_2 \times D_2 \times m_2.$$

$$D_2 = (SN) / (a_2 \times m_2).$$

$$D_2 = (0.4) / (0.03 \times 1.00).$$

$$D_2 = 13.33 \text{ Pulg.} \equiv 34 \text{ cm.}$$

Verificación.

$$SN_x = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2.$$

$$SN = (0.45 \times 4.00) + (0.03 \times 13.33 \times 1.00).$$

$$SN = 1.80 + 0.40 = 2.2.$$

$$\log(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$$

$$\log(269,929) = -1.037 \times 0.45 + 9.36 \times \log(2.2 + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{2.2}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(2.2 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times$$

$$\log(14,250) - 8.07.$$

$$5.43125 = 5.59889. \quad (\text{margen de error} = 0.17).$$

b. Cálculo de la Capa Base con la combinación de los dos Bancos.

Número Estructural (SN) = 1.9.

$$SN = D_1 \times a_1.$$

$$SN_{(rod)} = (4'') \times (0.45) = 1.8$$

$$SN = SN_{(rod)} + SN_{(base)}.$$

$$1.9 = 1.8 + SN_{(base)}.$$

$$SN_{(base)} = 1.9 - 1.8 = 0.1$$

$$SN = a_2 \times D_2 \times m_1$$

$$D_2 = (SN) / (a_2 \times m_1).$$

$$D_2 = (0.1) / (0.053 \times 1.00).$$

$$D_2 = 1.89 \text{ Pulg.} \equiv 4.8 \text{ cm.}$$

Verificación.

$$SN_y = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2.$$

$$SN = (0.45 \times 4.00) + (0.053 \times 1.89 \times 1.00).$$

$$SN = 1.80 + 0.10 = 1.90.$$

$$\log(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$$

$$\log(269,929) = -1.037 \times 0.45 + 9.36 \log(1.9 + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{1.9}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(1.9 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times$$

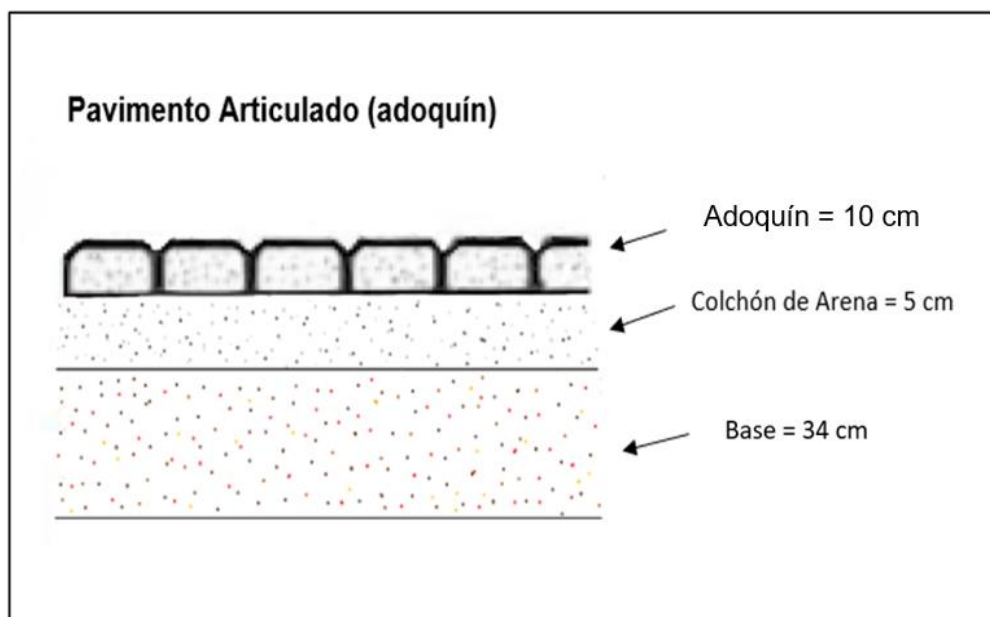
$$\log(18,920) - 8.07.$$

$$5.43125 = 5.49515. (\text{margen de error} = 0.064)$$

En el caso la base actual que conforma la estructura de pavimento se puede observar que el espesor requerido es de 34 cm. En el caso de la combinación de los dos bancos el material, el espesor da como resultado 4.8 cm, lo cual indica que no cumple con los valores de espesores mínimos de 10 cm, para capas de base en función del tráfico esperado, (Ver anexo, Tabla N° 57, pág. XXXIII).

Se realizó un esquema de la base actual, ya que es la que cumple con el espesor mínimo, quedando de la siguiente manera:

Figura N° 17: Diseño del Pavimento Articulado.



Fuente: Elaboración Propia.

4.4 Comparación de los informes del Diseñador y de la Revisión.

Al finalizar el estudio del diseño de la estructura de pavimento se realizó el siguiente cuadro comparativo entre los resultados del diseñador y de la revisión, donde se observa que para la base actual el espesor requerido es de 34 cm y no de 18 cm, por la calidad del material que conforma la base. En el caso de material de la combinación de los dos bancos, no cumple con los espesores mínimos para

ser utilizado, en la estabilización. A pesar de que el diseñador recomendó el material de los bancos se puede observar que omitió sus resultados.

Tabla N° 24: Resumen de la Comparación de Resultados de Diseñador vs Revisión.

Descripción	Diseñador	Revisión
Base Actual		
W18 (EsaI's)	975,464	269,927.55
Módulo de Resiliencia (psi)	13,500	14,250
SN	2.8	2.2
Espesores de la base (cm)	18.0	34.0
Combinación de Bancos (50/50)		
Módulo de Resiliencia (psi)	-	18,920.0
SN	-	1.9
Espesores de la base (cm)	-	4.8

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V. CATÁLOGO DE DAÑOS.

5.1 Introducción.

La evaluación del estado y la condición de una carretera es parte fundamental en un sistema de gestión de infraestructura vial, para garantizar la continuidad de ésta en el tiempo, brindando un servicio cómodo, rápido, seguro y económico a los usuarios. Es por esta razón, que realizar la evaluación de una carretera es una necesidad para poder determinar las posibles deficiencias y las labores de mantenimiento que ésta requiera, y de esta forma garantizar la buena prestación del servicio.

El pavimento articulado está siendo cada vez más utilizado en las vías principales de las ciudades importantes, y demás zonas urbanas y rurales del país, lo que hace evidente la necesidad de investigar este tema.

En este capítulo se hizo un inventario de daños encontrados en la vía, utilizando como guía el Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras (SIECA), edición 2010; el cual solamente refleja cuatro tipos de daños para carreteras adoquinadas, en su capítulo 4; sin embargo, en la estructura de pavimento articulado se encontraron otros daños como lo son. (Ver anexo, Figura N° 40 – 44, pág. XXXIII - XXXV):

- ✓ Desgaste de la superficie del adoquín.
- ✓ Desplazamiento del bordillo.
- ✓ Fractura en los bordes o confinamientos externos.
- ✓ Escalonamiento entre adoquín y confinamiento.
- ✓ Estructura de drenaje obstruido
- ✓ Vegetación y sedimento en la cuneta, entre otros.

5.2 Daños Encontrados en la Vía.

A lo largo de la carpeta de rodamiento se encontraron 3 tipos de daños visibles, de los 4 que hace mención el SIECA, para lo cual se realizó levantamiento in-situ, cuantificando los daños por área y fotografiando cada uno de ellos.

Los daños visibles encontrados son:

- ✓ Pérdida de sello arenoso.
- ✓ Despostillamiento.
- ✓ Asentamiento.

5.2.1 Pérdida de Sello Arenoso.

Es la erosión de la junta entre adoquines, del material arenoso que actúa como sello. Si las juntas están mal selladas, los adoquines quedan sueltos, el pavimento pierde solidez y se deteriora rápidamente, debido a las siguientes causas:

- ✓ Acción del tránsito.
- ✓ Efecto de la intemperie.
- ✓ Granulometría del material arenoso.

Figura N° 18: Pérdida de Sello Arenoso (Est. 2 + 050).



Fuente: Elaboración Propia.

Para cuantificar el daño se contabilizaron las áreas (m^2), más afectadas donde el adoquín se ve descubierto de los costados entre 2.50 cm a 3.00 cm, ya que el material sellante (arena) es el más propenso al desgaste, no siendo la excepción este tramo adoquinado.

Figura N° 19: Pérdida de Sello Arenoso, (Est. 5 + 300).



Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla de resumen se clasificó el daño de acuerdo al nivel de severidad, en dependencia de un área determinada, en las siguientes categorías:

- ✓ **Bajo:** Menos de 30 m^2 .
- ✓ **Medio:** Entre 30 m^2 y 100 m^2 .
- ✓ **Alto:** Mayor de 100 m^2 .

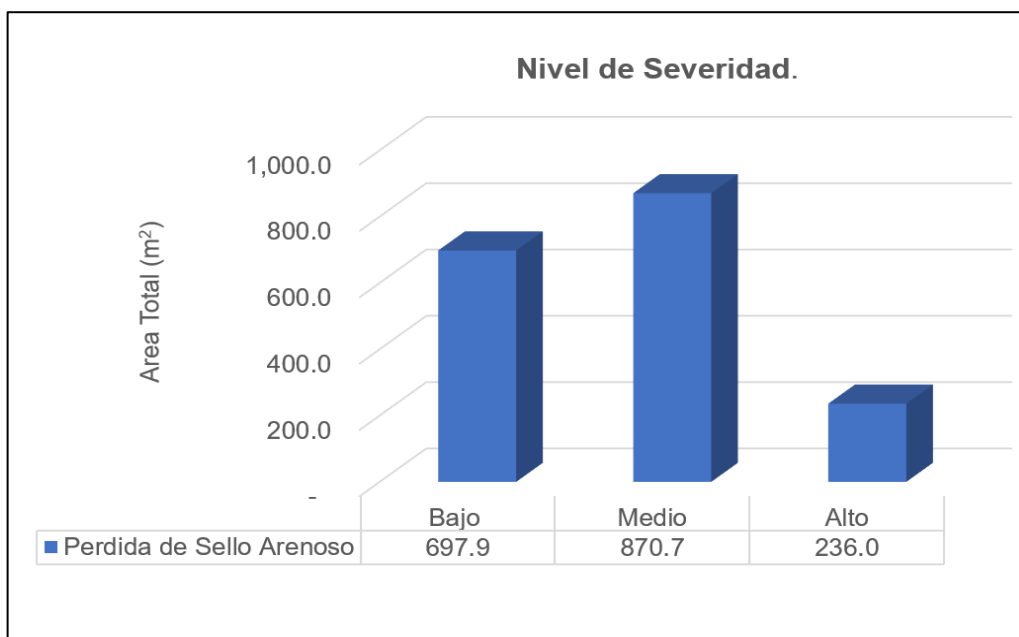
Tabla N° 25: Resumen de Daño por Pérdida de Sello Arenoso.

Estacionamiento.	Niveles de Severidad.			Área (m²).
	Bajo.	Medio.	Alto.	
0+140 a 2+000	30.0	78.0	-	156.0
	15.5	32.5	-	
2+047 a 3+000	29.0	39.0	-	219.5
	24.6	50.0	-	
	28.7	48.2	-	
3+000 a 3+400	27.0	43.9	-	229.0
	28.8	52.1	-	
	21.5	-	-	
	30.0	-	-	
	25.7	-	-	
3+200 a 3+800	20.0	-	-	48.5
	17.9	-	-	
	10.6	-	-	
4+200 a 4+600	21.3	49.4	-	221.9
	29.0	37.5	-	
	24.9	-	-	
	29.8	-	-	
	30.0	-	-	
5+200 a 6+000	24.3	44.2	124.2	929.6
	28.9	32.4	-	
	62.4	45.0	111.8	
	39.1	78.0	-	
	30.0	60.7	-	
	11.0	45.0	-	
	28.7	81.0	-	
	29.1	53.8	-	
Área Total (m²)	697.9	870.7	236.0	1,804.5

Fuente: Elaboración Propia.

En el siguiente gráfico se puede observar que el nivel de serviciabilidad medio es el más predominante, abarcando un área total de 870.7 m². La pérdida del sello arenoso es un precedente para que el adoquín se desprenda y luego ocasionando la rotura en cada elemento de la estructura.

Figura N° 20: Niveles de Severidad por Pérdida de Sello Arenoso.



Fuente: Elaboración Propia.

Para la reparación de este tipo de deterioro se recomienda:

- ✓ El retiro de los adoquines de la zona afectada; se deben limpiar y apilar a un lado para su posterior recolocación.
- ✓ Reparar y nivelar la capa de arena.
- ✓ Recolocar y compactar los adoquines anteriormente levantados; es aconsejable colocar los adoquines con las caras en la misma posición con que estaban antes, y así evitar discontinuidades de tonalidad en el pavimento.

5.2.2 Despostillamiento.

El despostillamiento es la Rotura, fractura o desintegración de los bordes de los adoquines entre sus juntas como consecuencia de las siguientes causas:

- ✓ Pérdida de los materiales sellantes.
- ✓ Acción del tránsito.
- ✓ Aflojamiento de bloques.
- ✓ Calidad de adoquín.

Figura N° 21: Desgaste superficial y Fracturados. (Est. 1 + 500).



Fuente: Elaboración Propia.

La mayor parte del adoquinado presenta un desgaste superficial, lo que es favorable para que el adoquín se fracture.

Figura N° 22: Adoquines Fracturados, (Est. 5 + 000).



Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se detalla la severidad del deterioro del adoquín (despostillamiento), clasificado como bajo, medio y alto, en dependencia de la fractura:

Bajo: Pequeños fracturamientos en los adoquines, que no se extienden más de 1 cm hacia el interior de la unidad, en una o más piezas

Medio: Las facturas se extienden entre 1 cm y 2 cm hacia el interior de las unidades, dando origen a piezas o trozos relativamente sueltos, que pueden ser removidos.

Alto: Las fracturas se extienden a lo largo de la junta bordeando el adoquín, con desprendimiento de piezas de más de 2 cm a cada lado de la misma, las cuales han sido removidas por la acción del tránsito.

Para realizar la medición de este deterioro se tomó en cuenta el espacio que ocupan los adoquines fracturado en una determinada área del tramo, para así poderlo expresar en metros cuadrados y no como unidad.

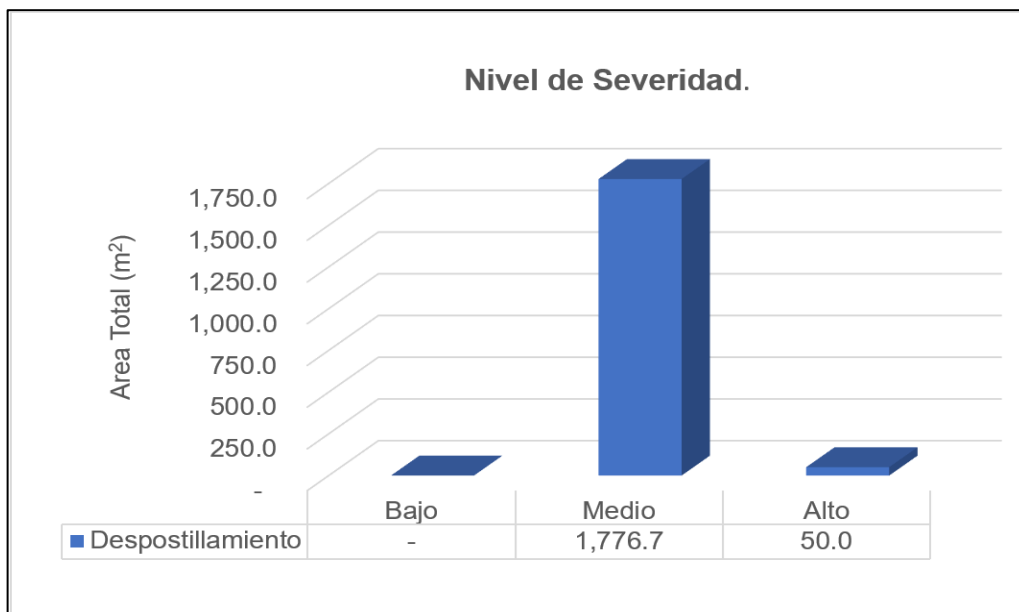
Tabla N° 26: Resumen de Daño por Despostillamiento.

Estacionamiento.	Niveles de Severidad.			Área (m²).
	Bajo.	Medio.	Alto.	
1+700 a 3+800	-	1,023.8	-	1,208.5
	-	15.8	-	
	-	58.0	-	
	-	49.0	-	
	-	62.0	-	
4+000 a 4+800	-	112.0	-	240.0
	-	70.0	-	
	-	12.0	-	
	-	25.0	-	
	-	21.0	-	
5+000 a 6+000	-	10.0	-	378.2
	-	15.0	-	
	-	5.0	-	
	-	24.2	50.0	
	-	20.0	-	
	-	250.0	-	
	-	4.0	-	
Área Total (m²)	-	1,776.7	50.0	1,826.7

Fuente: Elaboración Propia.

El nivel de severidad que ocupa este tipo de daño, es un nivel medio debido a que los adoquines presentan pequeñas fracturas que se extienden entre 1 cm a 2 cm hacia el interior de las unidades examinadas.

Figura N° 23: Niveles de Severidad por Despostillamiento.



Fuente: Elaboración Propia.

Para reparar este tipo de deterioro se recomienda:

- ✓ Verificar que el diseño del modelo estructural y el espesor de los adoquines cumplen con las solicitudes de tránsito actual y futuro; en caso que no cumplan, deben mejorarse las especificaciones y espesores de las capas y/o de los adoquines.
- ✓ Una vez verificada la calidad de los adoquines, Colocar nuevas piezas en posición de diseño, siguiendo el procedimiento de sellado y limpieza de la zona afectada.

5.2.3 Asentamiento.

Este deterioro en la estructura del pavimento adoquinado, provocada por la deformación y/o la pérdida de material que soporta la rodadura de la carretera a causa de:

- ✓ Asentamiento o consolidación de la subrasante.
- ✓ Filtración de agua debido a ausencia de material sellante.
- ✓ Pérdida de la cama de arena.
- ✓ Deficiencia en el mantenimiento del drenaje y subdrenaje.

Figura N° 24: Adoquinado con Asentamiento, (Est. 5 + 100).



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla siguiente de daño por asentamiento, se clasificaron los niveles de severidad de la siguiente manera:

Bajo: Causa al vehículo un balanceo o salto característico, sin generar incomodidad.

Medio: Causa a los vehículos un significativo salto o balanceo, que genera incomodidad.

Alto: Causa un excesivo salto que resulta en pérdida del control de los vehículos, por lo que es necesario reducir la velocidad.

Para terminar de definir el nivel de severidad se contabilizó el número total de adoquines que forman parte de la deformación en la rodadura y después se reflejó en metros cuadrados.

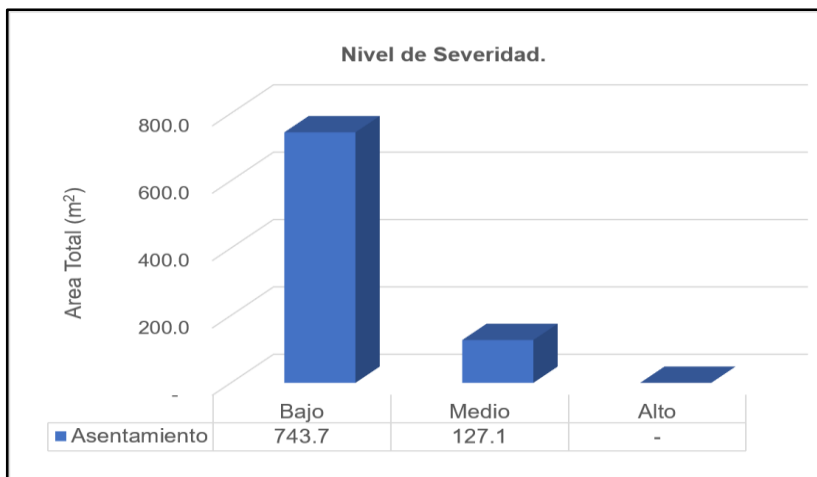
Tabla N° 27: Resumen de Daño por Asentamiento.

Estacionamiento	Niveles de Severidad			Área (m²)
	Bajo	Medio	Alto	
0+170 a 4+000	435.1	31.2	-	656.9
	7.1	-	-	
	75.6	-	-	
	100.8	-	-	
	7.0	-	-	
5+200 a 6+000	27.2	15.0	-	213.9
	18.0	17.9	-	
	9.0	42.0	-	
	30.2	21.0	-	
	33.6		-	
Área Total (m²)	743.7	127.1	-	870.8

Fuente: Elaboración Propia.

El tramo de carretera presenta en ciertas áreas de su longitud total, un nivel bajo en cuanto a severidad de daños por asentamiento, causando en los vehículos un salto o balanceo característico, sin generar incomodidad a los usuarios.

Figura N° 25: Niveles de Severidad por Asentamiento.



Fuente: Elaboración Propia.

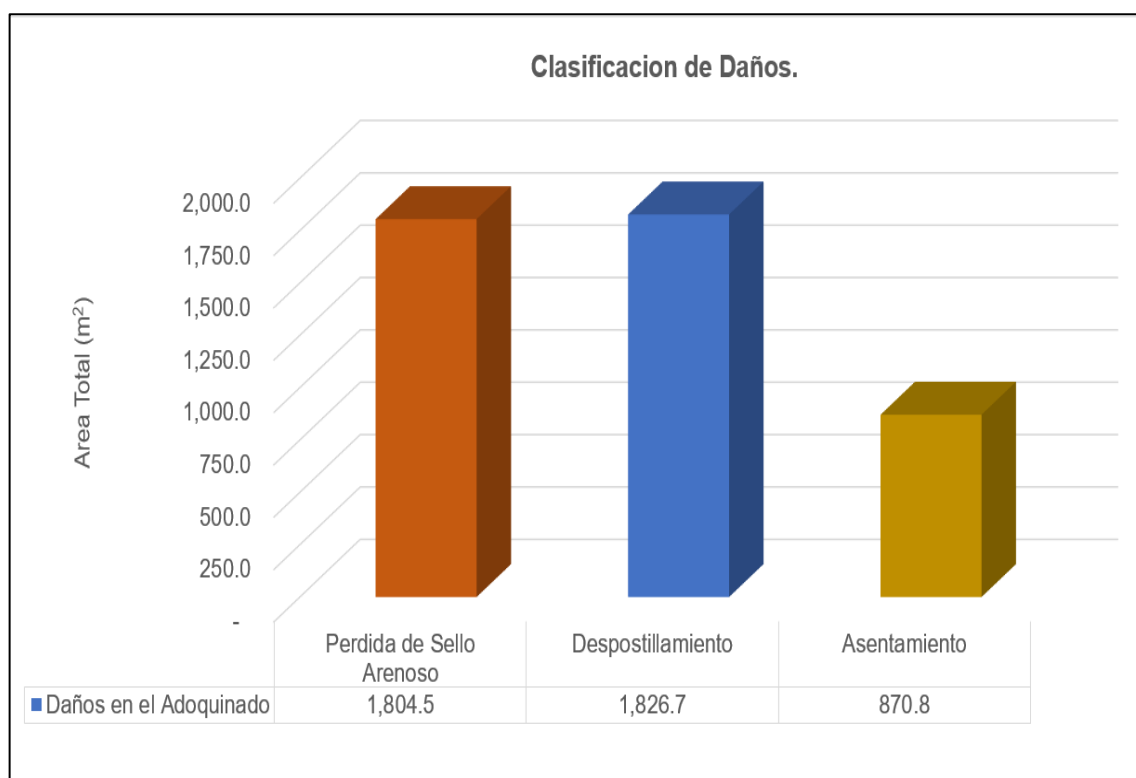
Para la reparación de este tipo de deterioro es necesario seguir el siguiente procedimiento, para así poder disminuir el deterioro de la vía:

- ✓ Retirar los adoquines de la zona afectada, luego limpiar y apilar a un lado para su posterior recolocación.
- ✓ verificar posibles problemas de drenaje y demás elementos que estén afectando la estabilidad.
- ✓ Si es necesario, se deben sustituir el material del colchón de arena y/o la capa base, para evitar la incidencia de este daño nuevamente a corto plazo; luego compactar y nivelar las capas tratadas.
- ✓ Recolocar y compactar los adoquines anteriormente levantados; siendo aconsejable colocar los adoquines con las caras en la misma posición con que estaban antes, y así evitar discontinuidades de tonalidad en el pavimento. luego sellar las juntas.

Según los datos levantados en campo y representados en las tablas de resumen de daño, se puede dar una idea de la situación del tramo de carretera, el cual en su mayoría presenta una pérdida de sello arenoso y despostillamiento principalmente, con niveles de severidad medio.

La particularidad del daño de pérdida de sello arenoso, es que incide directamente en la magnitud del resto del deterioro de la estructura, puesto que al perder el sello que protege e impermeabiliza la carpeta la deja más propensa a que el impacto de las cargas de tránsito, remueva los adoquines ocasionando otros daños y pérdida en su capacidad soporte.

Figura N° 26: Resumen de Daños Visibles.



Fuente: Elaboración Propia.,

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones.

Luego de recopilar, revisar, analizar y procesar toda la información para el desarrollo de este documento se concluye que:

❖ En el **estudio de suelo** realizado en esta revisión, tanto a la línea de proyecto como a los bancos de préstamo; una vez determinadas sus características físico mecánicas, se observan suelos con CBR de 5%,10% y 14% en la línea de proyecto y en los bancos de préstamo CBR de 14%, 17% y 34%. se concluye que estos son deficientes para ser usados como base de la estructura de pavimento, según los requerimientos regidos por la AASHTO y estipulados en la NIC – 2000, la cual recomienda un CBR > 80%.

❖ En la revisión del **estudio de tráfico**, se refleja un bajo flujo vehicular, el cual está compuesto en su mayoría por vehículos de pasajeros con el 91% del tráfico total, el 9% restante está compuesta por vehículos de carga entre otros; a su vez se analizó la tasa de crecimiento vehicular, seleccionando la del P.I.B, con 4.1%, el TPDA inicial es de 407 vehículos dando como resultado un TD = 832,042. vehículos, al hacer la comparación con el informe del diseñador se observa un TD = 3,983,937 vehículos, el cual es excesivamente exagerado a la realidad del tramo de carretera, ya que este posee poca circulación según lo observado en el sitio.

❖ En el **estudio del diseño de pavimento**, se determinó a partir de monogramas el espesor de la base actual para su debida verificación, dando como resultado 34 cm, el cual no coincide con lo reflejado por el diseñador que solo estabilizó 18 cm, a su vez se determinó el espesor de la combinación de los dos bancos (50/50), esta última no cumple con los espesores mínimos recomendados por la AASHTO – 93, (Pavimento Flexible), en base a las cargas aplicadas por el tráfico actual.

❖ En el **catálogo de daños** se identificaron tres tipos de daños básicos de los cuatro que hace mención el Manual Centroamericano de Mantenimiento de

Carreteras (SIECA), Edición 2010: pérdida del sello arenoso, despostillamiento y asentamiento. Siendo el daño por pérdida de sello y despostillamiento los más evidentes, con un nivel de severidad medio. Esto es una clara evidencia de la inestabilidad que existe en la capa base de la estructura de pavimento y la mala calidad del adoquín.

Recomendaciones.

Se recomienda localizar otro banco de préstamo aledaño al sitio, para ser utilizado como capa base, ya que la base actual y los bancos en estudio, no cumplen con los requerimientos de la NIC – 2000, Edición 2018, la cual recomienda una capacidad soporte mínima del 80%,

En el caso del diseño de espesores, la base actual se estabilizó 18 cm según el informe del diseñador, el cual se recomienda aumentar hasta alcanzar los 34 cm, según lo determinado en los monogramas de la AASHTO – 93, y de esta manera aumentar la resistencia a las cargas aplicadas por el tráfico.

Se recomienda realizar mantenimientos periódicos al tramo en estudio; este tipo de mantenimiento abarca obras de conservación vial que se realizan en períodos programados, generalmente de más de un año de intervalo y comprende el mejoramiento de las capas de la estructura del pavimento para aumentar su nivel de servicio, de acuerdo a lo indicado por el Manual Centroamericano de Mantenimiento de carreteras, con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial, Edición 2010.

Bibliografía.

- ✓ American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO – 93). Manual de Diseño de Pavimento, Tercera Edición, (2006).
- ✓ Anuario de Aforo de Tráfico; Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), Edición 2017.
- ✓ Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes, NIC- 2000; Ministerio de Transporte e Infraestructura, Edición 2018.
- ✓ Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez. Mecánico de Suelo, Fundamentos de la Mecánica de Suelo, (Tomo I).
- ✓ Gonzalo Duque Escobar; y Carlos-Enrique Escobar Potes. Mecánica de los Suelos, Edición (2002).
- ✓ Guía de Laboratorio de Suelo de Mecánica de Suelo Recopilado por Ingeniero Iván Matus Lazo y Msc, Ingeniero Silvia Lindo O'Connor.
- ✓ http://www.bcn/estadisticas/economicas_anuales
- ✓ Manual de Carreteras: Suelo, Geotecnia y Pavimento, Ministerio de Transporte y Comunicaciones, abril 2014
- ✓ Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento; Edición 2002.
- ✓ Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras con Enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA; Edición 2010.
- ✓ Montejo Alfonso; Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, II Edición.

Figura N° 27: Excavación con Posteadora (Sondeos Manuales).



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 28: Resumen de Resultados del ensayo de Granulometría (Línea de Proyecto)

N°	Estación	Sondeo	Muestra	Espesor	% Que pasa el tamiz									
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N°200
1	0+030 Band. Der	1	M1	21	100	100	97	92	83	74	54	46	30	20
2			M2	25	100	100	100	98	96	93	84	79	58	23
3			M3	86	100	100	100	100	100	26	21	21	19	11
4	0+500 Band. Izq.	2	M1	59	80	67	61	57	50	45	36	27	16	12
5			M2	91	100	100	99	98	97	96	84	82	79	71
6	1+000; Band Der.	3	M1	18	86	86	68	64	57	52	41	35	19	13
7			M2	132	100	100	98	96	93	92	82	72	57	47
8	1+500 Band. Izq.	4	M1	60	90	83	74	69	59	52	47	37	26	19
9			M2	90	100	100	90	84	75	65	50	49	45	36
10	2+000; Band Der.	5	M1	20	100	97	87	77	65	57	46	36	21	14
11			M2	130	100	100	97	94	87	82	71	62	48	38

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 29: Resumen de Resultados del ensayo de Granulometría (Línea de Proyecto).

N°	Estación	Sondeo	Muestra	Espesor	% Que pasa el tamiz									
					2"	1 ½"	1"	¾"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
12	2+500 Band. Izq.	6	M1	20	100	92	84	75	68	61	49	41	28	20
13			M2	20	96	96	92	82	72	64	48	41	29	21
14			M3	110	100	100	89	84	72	62	44	38	27	18
15	3+000; Band Der	7	M1	70	100	100	88	81	70	64	47	37	26	20
16			M2	80	100	100	96	91	82	76	59	50	33	26
17	3+500 Band. Izq.	8	M1	20	77	62	55	48	41	37	30	23	16	11
18			M2	40	100	100	100	99	96	94	89	84	76	54
19			M3	90	100	100	100	99	99	98	97	71	65	35
20	4+000; Band. Der	9	M1	18	100	100	75	70	58	51	35	27	17	12
21			M2	75	100	100	100	99	98	98	92	87	77	62
22			M3	87	100	100	100	100	100	99	97	94	81	57

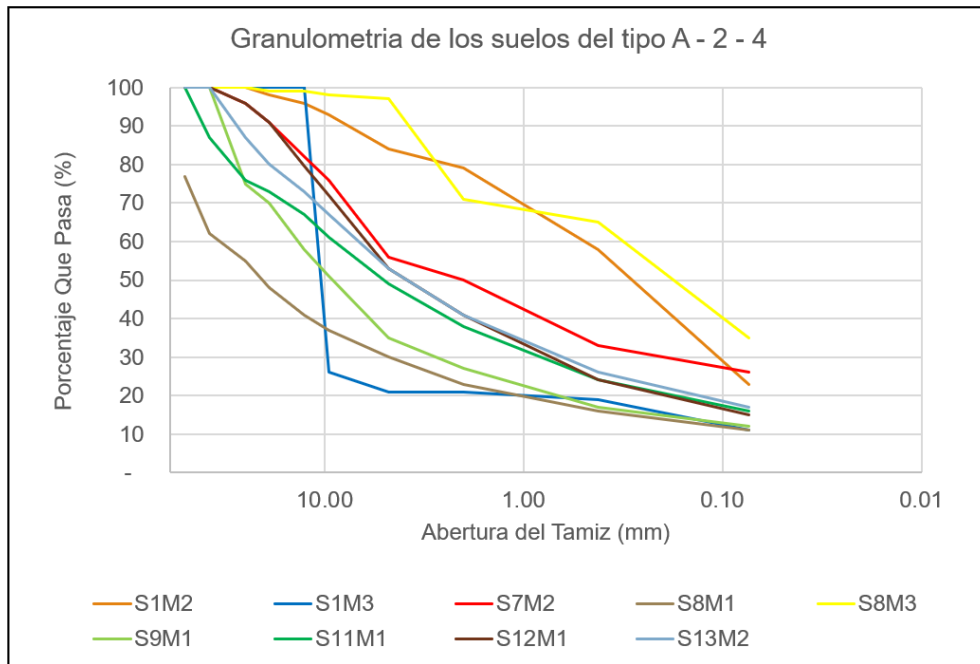
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 30: Resumen de Resultados del ensayo de Granulometría (Línea de Proyecto).

N°	Estación	Sondeo	Muestra	Espesor	% Que pasa el tamiz									
					2"	1 ½"	1"	¾"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
23	4+500; Band. Izq.	10	M1	30	96	90	73	63	48	39	24	16	9	6
24			M2	50	100	93	91	88	86	85	81	74	55	35
25			M3	70	100	100	100	100	100	100	100	99	94	86
26	5+000; Band. Der.	11	M1	15	100	87	76	73	67	61	49	38	24	16
27			M2	70	100	97	86	81	74	68	51	43	29	19
28			M3	62	100	100	100	97	91	88	76	68	50	35
29	5+500; Band. Izq.	12	M1	20	100	100	96	91	80	72	53	41	24	15
30			M2	130	100	100	91	81	73	66	49	39	25	18
31	6+000; Band. Der.	13	M1	20	100	97	69	60	47	40	29	24	16	11
32			M2	30	100	100	87	80	73	67	53	41	26	17
33			M3	25	92	87	82	79	75	70	59	47	31	20
34			M4	15	100	100	100	99	98	96	87	80	65	51
35			M5	60	100	100	100	100	100	99	96	92	82	71

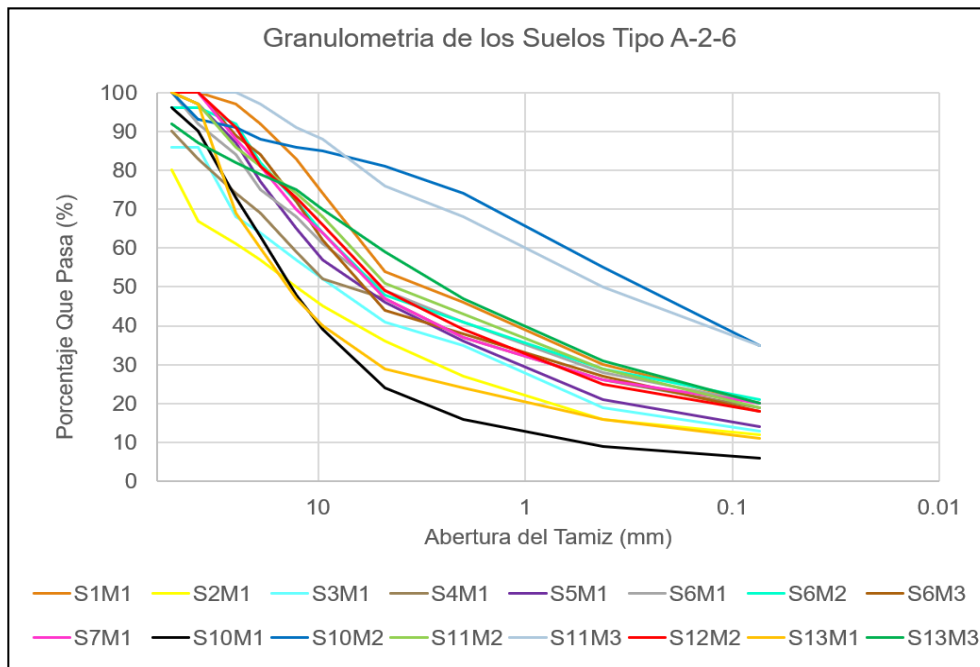
Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 28: Curvas Granulométricas del Tipo de Suelo A – 2 – 4



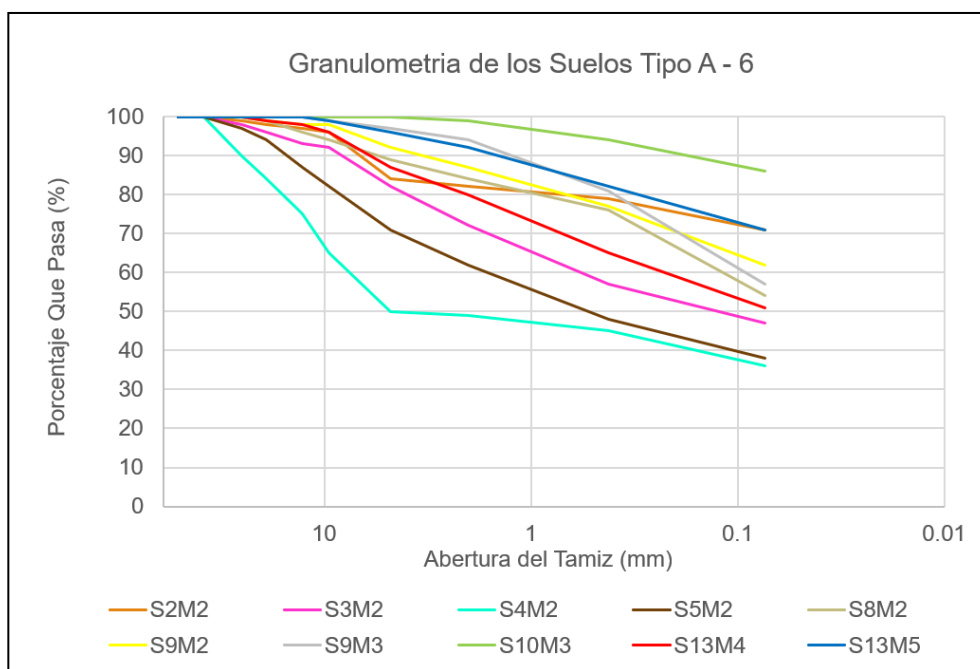
Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 29 :Curvas Granulométricas del Tipo de Suelo A – 2 – 6



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 30: Curvas Granulométricas del Tipo de Suelo A – 6.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 31: Resumen de los Estados de Consistencia.

Muestra	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice Plástico	Características
1.1	30	19	11	Arcilloso
1.2	0	0	0	N/P
1.3	0	0	0	N/P
2.1	30	18	12	Arcilloso
2.2	39	21	17	Arcilloso
3.1	26	14	12	Arcilloso
3.2	33	16	17	Arcilloso
4.1	36	20	16	Arcilloso
4.2	37	23	13	Arcilloso
5.1	29	16	13	Arcilloso
5.2	40	27	13	Arcilloso
6.1	31	21	11	Arcilloso
6.2	35	19	16	Arcilloso
6.3	37	19	17	Arcilloso
7.1	35	20	15	Arcilloso
7.2	33	24	10	Arcilloso
8.1	28	20	7	Arcilloso
8.2	32	17	15	Arcilloso
8.3	29	20	9	Arcilloso

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 32: Resumen de los Estados de Consistencia

Muestra	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice Plástico	Características
9.1	29	20	9	Arcilloso
9.2	38	13	25	Muy arcillosos
9.3	33	22	11	Arcilloso
10.0	35	20	15	Arcilloso
10.2	38	23	15	Arcilloso
10.3	40	25	15	Arcilloso
11.1	34	27	7	Arcilloso
11.2	38	17	21	Muy arcillosos
11.3	28	16	12	Arcilloso
12.1	25	18	6	Poco arcilloso
12.2	30	18	12	Arcilloso
13.1	35	21	14	Arcilloso
13.2	29	19	10	Arcilloso
13.3	27	15	12	Arcilloso
13.4	32	16	16	Arcilloso
13.5	40	22	18	Arcilloso

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 33: Clasificación de los Suelos para Propósitos de Carreteras ASTM D – 3282

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos de la muestra total pasa por la malla No. 200)							Materiales granulares (Mas del 35% pasa por la malla No. 200)			
	A – 1		A – 3	A – 2							A - 7
Clasificación del Grupo	A - 1a	A - 1b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7	A -4	A - 5	A -6	A - 7 -5* A - 7 - 6 **
Cribado por mallas (% que pasa)											
Malla No. 10	50 máx	---	---	---	---	----	---	---	---	---	---
Malla No. 40	30 máx	50 máx	51 min	---	---	---	---	---	---	---	---
Malla No. 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 min	36 min	36 min	36 min
Para la fracción que pasa la malla No. 40											
Limite Líquido (LL)	---	---	---	40 máx	41 min	40 máx	41 min	40 máx	41 min	40 máx	41 min
Índice Plástico (IP)	6 máx		NP	10 máx	10 máx	11 min	11min	10 máx	10 máx	11 min	11 min
Tipo de material más común	Fragmentos de roca grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación de la Subrasante	Excelente a Buena							Regular a Pobre			

Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, II Edición, Alfonso Montejo, Pág. 46.

Tabla N° 34: Resultados de la Clasificación de los Suelos.

Muestra	% pasa Tamiz N° 200	Limite Liquido	Índice Plástico	Clasificación	(IG)
1.1	20	30	11	A – 2 – 6	0
1.2	23	0	0	A – 2 – 4	0
1.3	11	0	0	A – 2 – 4	0
2.1	12	30	12	A – 2 – 6	0
2.2	71	39	17	A – 6	11
3.1	13	26	12	A – 2 – 6	0
3.2	47	33	17	A – 6	4
4.1	19	36	16	A – 2 – 6	0
4.2	36	37	13	A – 6	1
5.1	14	29	13	A – 2 – 6	0
5.2	38	40	13	A – 6	1
6.1	20	31	11	A – 2 – 6	0
6.2	21	35	16	A – 2 – 6	0
6.3	18	37	17	A – 2 – 6	0
7.1	20	35	15	A – 2 – 6	0
7.2	26	33	10	A – 2 – 4	0
8.1	11	28	7	A – 2 – 4	0
8.2	24	32	15	A – 6	5
8.3	35	29	9	A – 2 – 4	0

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 35: Resultados de la Clasificación de los Suelos

Muestra	% pasa Tamiz N° 200	Límite Líquido	Índice Plástico	Clasificación	(IG)
9.1	12	29	9	A – 2 – 4	0
9.2	62	38	25	A – 6	12
9.3	57	33	11	A – 6	4
10.1	6	35	15	A – 2 – 6	0
10.2	35	38	15	A – 2 – 6	1
10.3	86	40	15	A – 6	14
11.1	16	34	7	A – 2 – 4	0
11.2	19	38	21	A – 2 – 6	0
11.3	35	28	12	A – 2 – 6	0
12.1	15	25	6	A – 2 – 4	0
12.2	18	30	12	A – 2 – 6	0
13.1	11	35	14	A – 2 – 6	0
13.2	17	29	10	A – 2 – 4	0
13.3	20	27	12	A – 2 – 6	0
13.4	51	32	16	A – 6	5
13.5	71	40	18	A – 6	12

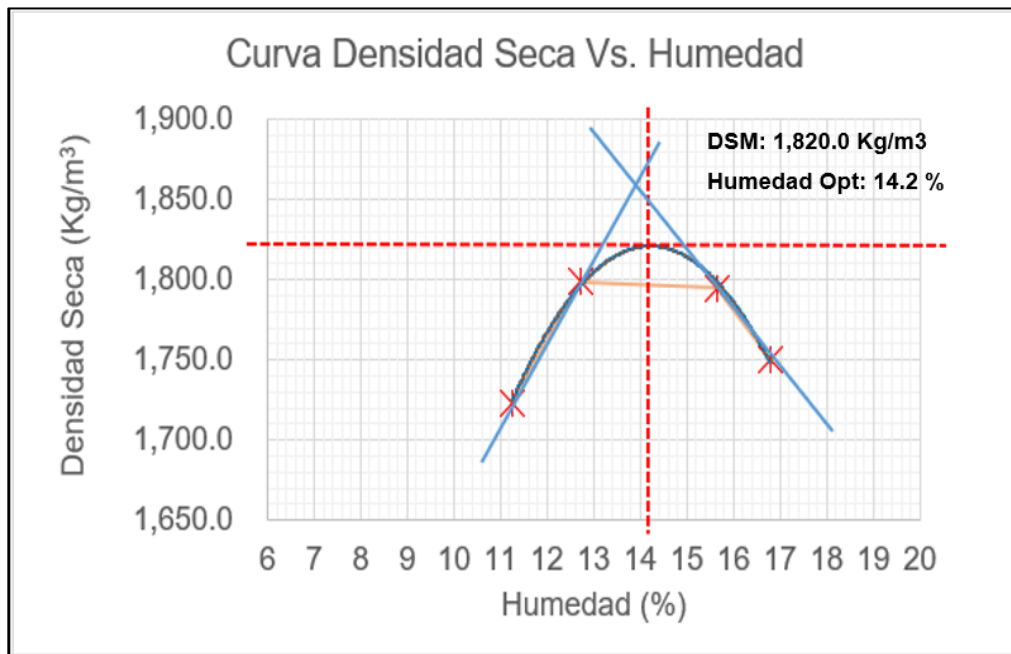
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 36: Resumen de los Cálculos en el Ensaye Proctor Estándar.

Tipo de Suelo: A – 2 – 4					
	1	2	3	4	5
Contenido de Humedad (%)	11.2	12.7	15.6	16.8	-
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)	1,917.0	2,027.0	2,076.0	2,044.0	-
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)	1,723.0	1,799.0	1,795.0	1,750.0	-
Tipo de Suelo: A – 2 – 6					
Contenido de Humedad (%)	9.4	12.7	13.9	16.6	18.0
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)	1,843.0	1,971.0	2,053.0	2,059.0	2,032.0
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)	1,684.0	1,749.0	1,803.0	1,766.0	1,722.0
Tipo de Suelo: A – 6					
Contenido de Humedad (%)	14.8	17.1	20.2	21.4	-
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)	1,811.0	1,902.0	1954.0	1,945.0	-
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)	1,577.0	1,625.0	1,625.0	1,602.0	-

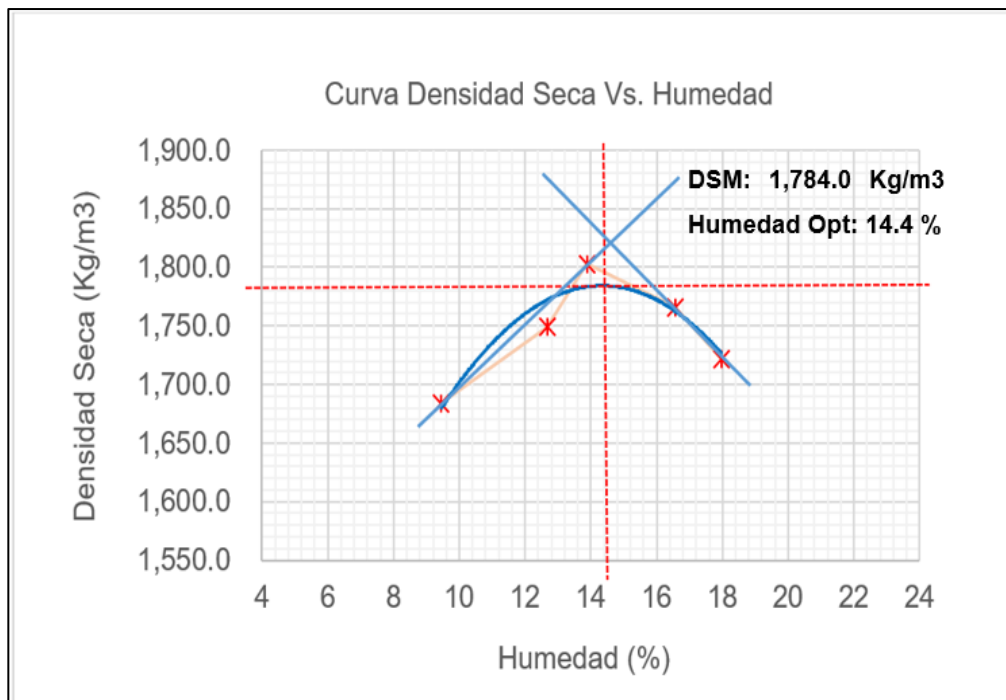
Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 31: Densidad Seca Máxima – Humedad Óptima (A – 2 – 4).



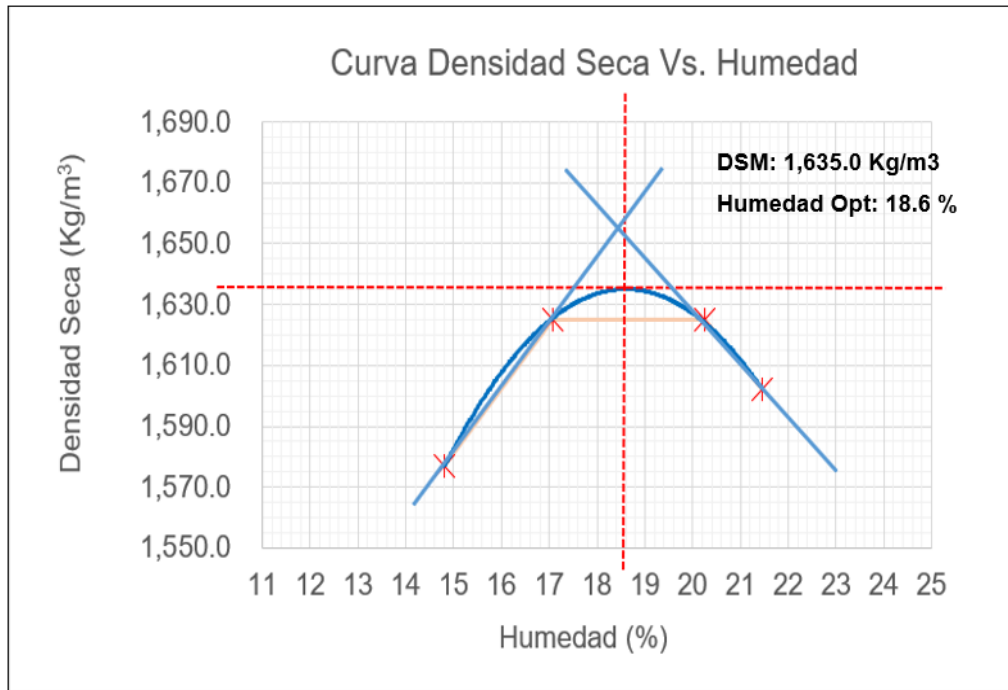
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 32: Densidad Seca Máxima – Humedad Óptima (A – 2 – 6).



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 33: Densidad Seca Máxima – Humedad Óptima (A – 6).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 34: Ensaye de CBR (Lectura e Inmersión).



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 37: Esfuerzos Unitarios Patrón (piedra triturada).

Penetración			Esfuerzo Unitario Patrón		
Mm	Cm	Pulg	Kg/cm3	MPa	PSI
2.5	0.25	0.10	70.31	6.9	1,000
5.0	0.50	0.20	105.46	10.3	1,500
7.5	0.75	0.30	133.58	13.0	1,900
10.0	0.10	0.40	161.71	16.0	2,300
12.7	1.27	0.50	182.80	18.0	2,600

Fuente: Guía de laboratorio de suelo de mecánica de suelo Recopilado por Ingeniero Iván Matus Lazo y Msc, Ingeniero Silvia Lindo O'Connor, pág. 104.

Figura N° 35: Banco de Préstamo Santa Juana.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 36: Banco de Préstamo La Iguana.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 38: Resultados del Análisis de Granulometría de los Bancos de Material de Préstamo.

Banco de Materiales	% que pasa por cada Tamiz									
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
La Iguana	100	100	100	100	99	97	85	71	47	34
Santa Juana	99	96	91	86	76	63	41	22	8	7
50/50 ^(*)	99	97	95	93	89	85	69	61	42	34
(*) 50% Banco La Iguana más 50% Banco Santa Juana.										

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 39: Granulometría del banco Santa Juana comparados con los Márgenes de Valores de Gradación Aceptables (Nic – 2000).

Banco Santa Juana				
Tamices		% que pasa el Tamiz	B	C
N°	(mm)		(Subbase)	(Base)
2"	50.8	99	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾
1 1/2"	38.1	96	97 – 100 ⁽¹⁾	97 – 100 ⁽¹⁾
1"	25	91	-	-
3/4"	19.05	86	-	67 – 81 ⁽⁶⁾
1/2"	12.7	76	-	-
3/8"	9.53	63	-	-
N° 4	4.76	41	40 – 60 ⁽⁸⁾	33 – 47 ⁽⁶⁾
N° 40	0.42	8		10 – 19 ⁽⁴⁾
N° 200	0.074	7	0 – 12 ⁽⁴⁾	4.0 – 8.0 ⁽³⁾

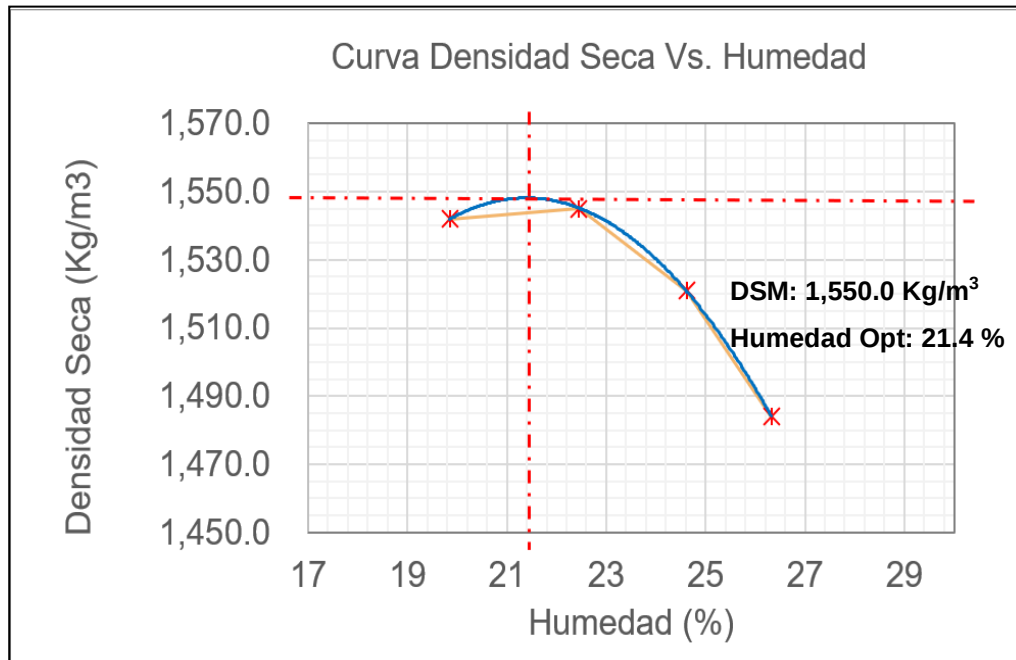
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 40: Márgenes del Valor Meta para la Graduación de Subbase, Base o Capas Superficiales de Agregados.

Tamaño del Tamiz	Porcentaje en Peso que pasa el Tamiz Designado AASHTO T 27 y T 11					
	Designación de la Graduación					
	A (Subbase)	B (Subbase)	C (Base)	D (Base)	E (Base)	F Superficie
63 mm	100 ⁽¹⁾					
50 mm	97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾			
37.5 mm		97-100 ⁽¹⁾	97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾		
25.0 mm	65-79(6)			97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾
19.0 mm			67 81 (6)		97-100 ⁽¹⁾	97-100 ⁽¹⁾
12.5 mm	45-59(7)					
9.5 mm				56-70(7)	67-79(6)	
4.75 mm	28-42(6)	40-60(8)	33-47(6)	39-53(6)	47-59(7)	41-71(7)
425 µm	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)	12-28(5)
75 µm	4.0-8.0(3)	0.0-12.0(4)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	9-16(4)

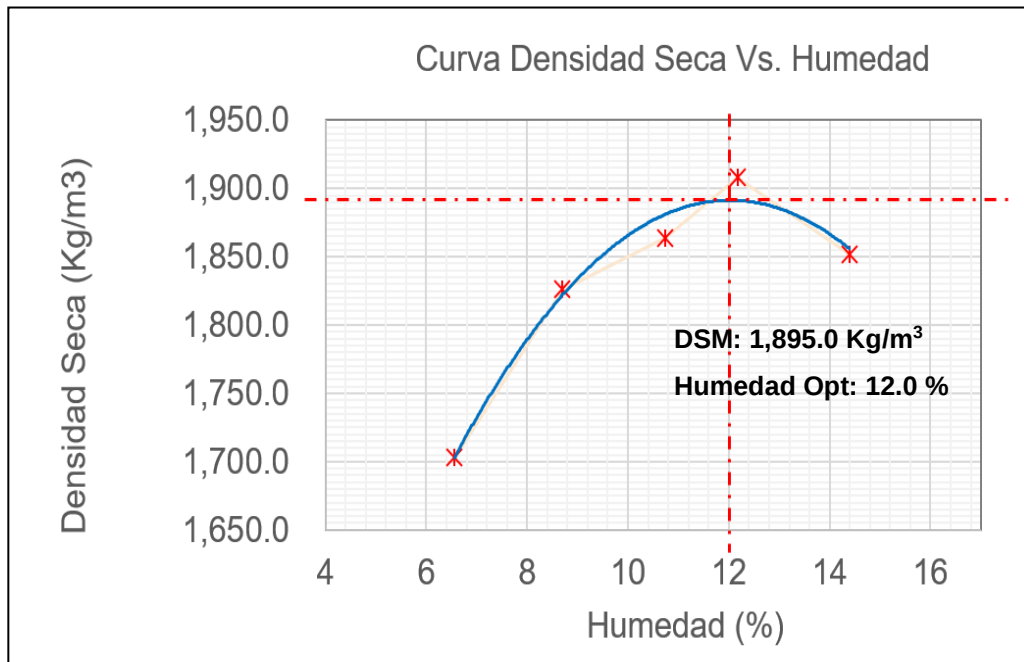
Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes; Nic – 2000, sección 1003, cuadro 1003 – 3. Pág. 521.

Figura N° 37: Curva de Proctor Modificado – Bco. La Iguana



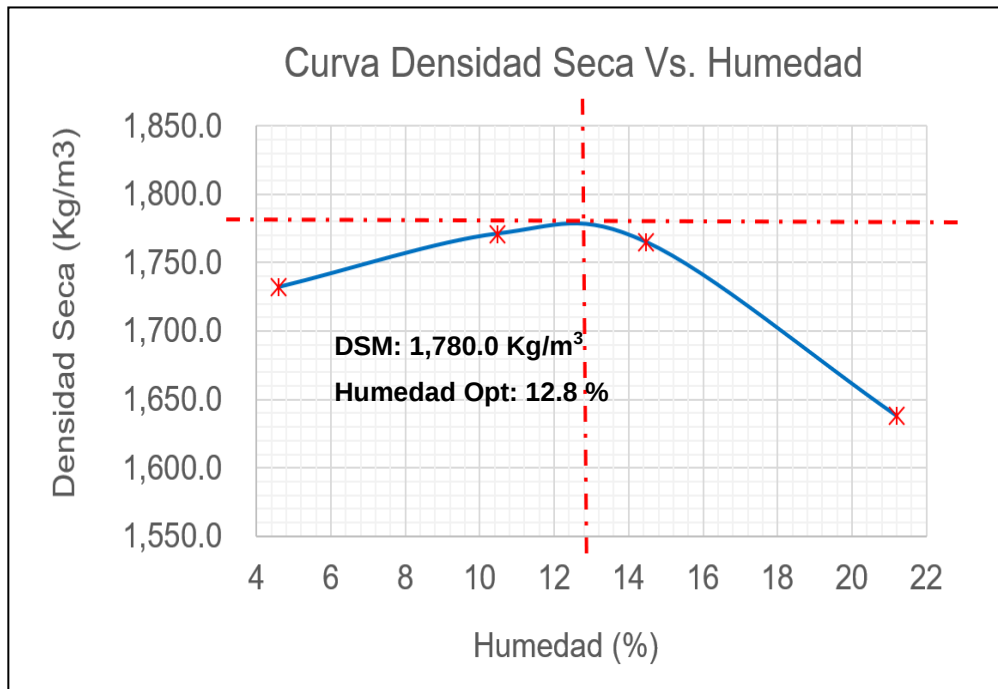
Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 38: Curva de Proctor Modificado – Bco. Santa Juana.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 39: Curva de Proctor Modificado Bancos Unificados en Proporción 50/50 (Bco. Santa Juana más Bco. La Iguana)



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 41: Tipología y Descripción Vehicular de Conteo de Tráfico de la Oficina de Diagnóstico, Evaluación de Pavimentos y Puentes.

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

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico. Edición 2017; División general de planificación, pág. 33.

Tabla N° 42: Resumen del Conteo Vehicular Diurno en el Primer Punto, Ambos Sentidos, (sábado).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA													
INGENIERIA DE TRANSITO													
CONTEO VEHICULAR DIURNO													
ESTACION		FECHA											
0	1	Sabado											
TRAMO		Gigante - Murcielago											
SENTIDO		Ambos sentidos											
Hora		VEHICULO DE PASAJERO							VEHICULO DE CARGA			Otros	Total
		Vehiculos Livianos				Autobuses			Camiones				
		Moto	Auto	Jeep/SUV	Pick-Up	Microbuses ≤ 15	Microbuses 15-30	Bus	Liv. 2.5 ta.	C2	C3		
06:00:00	06:15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:16:00	06:30:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:31:00	06:45:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:46:00	07:00:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07:01:00	07:15:00	6			3							2	11
07:16:00	07:30:00	4	1				1						6
07:31:00	07:45:00	5		2						1			8
07:46:00	08:00:00	4	1	1				2					8
08:01:00	08:15:00	-	1	1	2	1						1	6
08:16:00	08:30:00	2	5	1	3	-		1					12
08:31:00	08:45:00	4	4	-		1							9
08:46:00	09:00:00	3	-	1	3	1							8
09:01:00	09:15:00	5	-	3	2	-							10
09:16:00	09:30:00	3	-	-	4	-							7
09:31:00	09:45:00	4	-	2	-	-							6
09:46:00	10:00:00	1	-	-	1	-		1				1	4
10:01:00	10:15:00	6	8	-	3	-							17
10:16:00	10:30:00	4	3	-		-				1			8
10:31:00	10:45:00	6	1	-	2	-							9
10:46:00	11:00:00	4	-	-	3	-		1					8
11:01:00	11:15:00	3	1	-	-	-				1			5
11:16:00	11:30:00	1	5	-	1	-							7
11:31:00	11:45:00	6	-	1	-	-				1			8
11:46:00	12:00:00	4	2	-	1	-		1				1	9
12:01:00	12:15:00	5	-	-	1	1			2				9
12:16:00	12:30:00	5	2	-	2	-	1		1				11
12:31:00	12:45:00	3	-	1	-	-	2						6
12:46:00	01:00:00	-	3		2	-			1				6
01:01:00	01:15:00	6	4		6	1							17
01:16:00	01:30:00	9	-	1	-	-				1			11
01:31:00	01:45:00	4	3		4	-			2			1	14
01:46:00	02:00:00	6	2	-	1	-		1					10
02:01:00	02:15:00	4	-	-	3	-							7
02:16:00	02:30:00	6	2	-	-	-	1					1	10
02:31:00	02:45:00	5	-		1	-							6
02:46:00	03:00:00	7	1	-	-	-							8
03:01:00	03:15:00	8	1	-	2	-							11
03:16:00	03:30:00	5	3	2	-	-		1					11
03:31:00	03:45:00	6	-		1	-							7
03:46:00	04:00:00	-	4	-	-	-	1						5
04:01:00	04:15:00	5	4	-	1	-		1		1			12
04:16:00	04:30:00	7			2	-						2	11
04:31:00	04:45:00	1	3	-	-	-				1			5
04:46:00	05:00:00	3	2	-	-	-							5
05:01:00	05:15:00	-			-	-							-
05:16:00	05:30:00	3	1	-	-	-		1					5
05:31:00	05:45:00	6	-	-	3	-							9
05:46:00	06:00:00	2	-	-	-	-							2
Circulacion de vehiculos Diurno		181	67	16	57	5	4	12	6	7	-	9	364

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 43: Resumen del Conteo Vehicular Diurno en el Primer Punto, Ambos Sentidos, (Domingo).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA INGENIERIA DE TRANSITO CONTEO VEHICULAR DIURNO													
ESTACION		FECHA								SECUENCIA			
0	1	Domingo								L			
TRAMO		Gigante - Murcielago											
SENTIDO		Ambos sentidos											
Hora		VEHICULO DE PASAJERO							VEHICULO DE CARGA			Otros	Total
		Vehiculos Livianos				Autobuses			Camiones				
		Moto	Auto	Jeep/S UV	Pick-Up	Microb us 15	Minibus 15-30	Bus	Liv. 2.5 tn.	C2	C3		
06:00:00	06:15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:16:00	06:30:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:31:00	06:45:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:46:00	07:00:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07:01:00	07:15:00	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	3
07:16:00	07:30:00	4	1	-	-	-	-	-	-	1	-	1	7
07:31:00	07:45:00	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
07:46:00	08:00:00	4	-	1	-	2	-	1	-	-	-	-	8
08:01:00	08:15:00	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
08:16:00	08:30:00	12	3	-	1	-	-	1	-	-	-	-	17
08:31:00	08:45:00	4	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	9
08:46:00	09:00:00	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2
09:01:00	09:15:00	4	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	8
09:16:00	09:30:00	2	1	3	1	1	-	-	-	-	-	-	8
09:31:00	09:45:00	2	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	5
09:46:00	10:00:00	3	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	6
10:01:00	10:15:00	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	6
10:16:00	10:30:00	2	-	-	4	-	-	1	-	-	-	2	9
10:31:00	10:45:00	-	7	8	2	-	-	1	-	-	-	1	19
10:46:00	11:00:00	4	4	-	-	1	-	-	-	1	-	-	10
11:01:00	11:15:00	3	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	5
11:16:00	11:30:00	-	3	-	11	-	-	-	1	-	-	-	15
11:31:00	11:45:00	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2
11:46:00	12:00:00	1	2	1	1	-	-	-	-	-	-	1	6
12:01:00	12:15:00	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	3
12:16:00	12:30:00	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
12:31:00	12:45:00	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
12:46:00	01:00:00	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2
01:01:00	01:15:00	-	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	6
01:16:00	01:30:00	5	2	-	6	1	-	-	-	-	-	1	15
01:31:00	01:45:00	2	2	3	1	-	-	-	-	-	-	-	8
01:46:00	02:00:00	6	-	1	3	-	-	1	-	-	-	-	11
02:01:00	02:15:00	2	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	4
02:16:00	02:30:00	1	3	-	2	-	-	-	1	-	-	-	7
02:31:00	02:45:00	1	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	4
02:46:00	03:00:00	-	1	3	2	1	-	-	1	-	-	-	8
03:01:00	03:15:00	-	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	5
03:16:00	03:30:00	-	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	6
03:31:00	03:45:00	4	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	6
03:46:00	04:00:00	6	-	-	5	-	-	1	-	-	-	-	12
04:01:00	04:15:00	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	3
04:16:00	04:30:00	-	4	1	2	-	-	-	-	-	-	1	8
04:31:00	04:45:00	3	1	-	2	1	-	-	-	-	-	-	7
04:46:00	05:00:00	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2
05:01:00	05:15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05:16:00	05:30:00	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
05:31:00	05:45:00	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
05:46:00	06:00:00	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Circulacion de vehiculos Diurno		98	51	43	58	11	-	8	4	4	-	7	284

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 44: Resumen del Conteo Vehicular Diurno en el Primer Punto, Ambos Sentidos, (martes).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA INGENIERIA DE TRANSITO CONTEO VEHICULAR DIURNO													
ESTACION		FECHA										SECUENCIA	
0	1	Martes										L	
TRAMO		Gigante - Murcielago											
SENTIDO		Ambos sentidos											
Hora		VEHICULO DE PASAJERO							VEHICULO DE CARGA			Otros	Total
		Vehiculos Livianos				Autobuses			Camiones				
		Moto	Auto	Jeep/S UV	Pick-Up	Microb us 15	Minibus 15-30	Bus	Liv. 2.5 tn.	C2	C3		
06:00:00	06:15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
06:16:00	06:30:00	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
06:31:00	06:45:00	2	1	-	2	-	-	-	-	-	-	2	7
06:46:00	07:00:00	4	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	7
07:01:00	07:15:00	5	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	7
07:16:00	07:30:00	3	2	1	-	-	-	-	-	1	-	-	7
07:31:00	07:45:00	3	-	-	4	-	-	1	-	1	-	-	9
07:46:00	08:00:00	4	3	-	3	-	-	-	-	-	-	-	10
08:01:00	08:15:00	6	1	-	1	-	2	-	-	-	-	-	10
08:16:00	08:30:00	3	1	1	-	2	-	1	-	-	-	-	8
08:31:00	08:45:00	4	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	6
08:46:00	09:00:00	6	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	10
09:01:00	09:15:00	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	3
09:16:00	09:30:00	8	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	10
09:31:00	09:45:00	4	-	-	2	-	-	-	-	-	-	2	8
09:46:00	10:00:00	9	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	10
10:01:00	10:15:00	-	1	1	4	-	-	-	-	-	-	-	6
10:16:00	10:30:00	6	-	-	1	-	1	1	-	-	1	-	10
10:31:00	10:45:00	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	2
10:46:00	11:00:00	6	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	8
11:01:00	11:15:00	4	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	8
11:16:00	11:30:00	-	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	4
11:31:00	11:45:00	7	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	11
11:46:00	12:00:00	4	1	2	3	-	-	-	-	-	-	-	10
12:01:00	12:15:00	-	2	3	-	1	-	-	-	1	-	-	7
12:16:00	12:30:00	9	1	5	1	-	2	1	-	-	-	-	19
12:31:00	12:45:00	6	-	1	2	-	1	-	-	1	-	-	11
12:46:00	01:00:00	-	4	-	7	-	-	-	-	1	-	-	12
01:01:00	01:15:00	7	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	11
01:16:00	01:30:00	-	3	-	-	-	-	-	-	-	1	-	4
01:31:00	01:45:00	2	1	-	2	-	-	-	-	-	1	-	6
01:46:00	02:00:00	1	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	4
02:01:00	02:15:00	3	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	5
02:16:00	02:30:00	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	1	3
02:31:00	02:45:00	5	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	7
02:46:00	03:00:00	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	3
03:01:00	03:15:00	6	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	7
03:16:00	03:30:00	5	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	6
03:31:00	03:45:00	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3
03:46:00	04:00:00	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
04:01:00	04:15:00	1	-	1	1	-	2	-	-	-	-	-	5
04:16:00	04:30:00	5	-	-	2	-	-	1	1	-	-	-	9
04:31:00	04:45:00	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2
04:46:00	05:00:00	6	3	-	4	-	1	-	1	-	-	-	15
05:01:00	05:15:00	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
05:16:00	05:30:00	7	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	8
05:31:00	05:45:00	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
05:46:00	06:00:00	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Circulacion de vehiculos Diurno		164	35	26	59	7	11	6	5	9	4	9	335

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 45: Resumen del Conteo Vehicular Diurno en el Primer Punto, Ambos Sentidos, (miércoles).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA													
INGENIERIA DE TRANSITO													
CONTEO VEHICULAR DIURNO													
ESTACION		FECHA								SECUENCIA			
0 1		Miercoles								L			
TRAMO		Gigante - Murcielago											
SENTIDO		Ambos sentidos											
Hora		VEHICULO DE PASAJERO							VEHICULO DE CARGA			Otros	Total
		Vehiculos Livianos				Autobuses			Camiones				
		Moto	Auto	Jeep/S UV	Pick-Up	Microb us 15	Minibus 15-30	Bus	Liv. 2.5 tn.	C2	C3		
06:00:00	06:15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:16:00	06:30:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:31:00	06:45:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:46:00	07:00:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07:01:00	07:15:00	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
07:16:00	07:30:00	1	3	1	1	1	-	-	-	-	-	-	7
07:31:00	07:45:00	2	-	1	2	-	-	-	1	-	-	1	7
07:46:00	08:00:00	3	3	-	-	1	-	-	1	-	-	-	8
08:01:00	08:15:00	4	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-	7
08:16:00	08:30:00	2	3	2	3	-	-	1	-	1	-	-	12
08:31:00	08:45:00	3	1	-	4	-	-	-	-	-	2	-	10
08:46:00	09:00:00	2	2	1	-	-	-	1	-	1	1	-	8
09:01:00	09:15:00	1	-	3	1	-	-	-	1	-	-	-	6
09:16:00	09:30:00	-	-	1	2	-	-	-	1	-	-	-	4
09:31:00	09:45:00	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	3
09:46:00	10:00:00	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	2
10:01:00	10:15:00	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2
10:16:00	10:30:00	-	1	3	1	-	-	-	-	-	1	1	7
10:31:00	10:45:00	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	3
10:46:00	11:00:00	-	-	1	-	-	-	1	1	1	-	-	4
11:01:00	11:15:00	-	3	-	2	-	-	1	-	1	1	-	8
11:16:00	11:30:00	-	1	3	-	-	-	-	-	-	2	-	6
11:31:00	11:45:00	2	2	-	2	-	-	-	-	1	-	-	7
11:46:00	12:00:00	1	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	4
12:01:00	12:15:00	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
12:16:00	12:30:00	2	-	3	-	-	-	-	-	1	1	-	7
12:31:00	12:45:00	-	-	1	2	-	-	-	1	-	-	-	4
12:46:00	01:00:00	1	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	4
01:01:00	01:15:00	3	3	-	1	-	-	-	1	-	1	-	9
01:16:00	01:30:00	2	-	4	-	-	-	-	-	2	-	-	8
01:31:00	01:45:00	-	-	2	3	-	-	-	-	-	2	-	7
01:46:00	02:00:00	2	-	2	1	-	-	1	1	1	-	-	8
02:01:00	02:15:00	-	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	5
02:16:00	02:30:00	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	1	5
02:31:00	02:45:00	2	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	4
02:46:00	03:00:00	4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	5
03:01:00	03:15:00	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-	-	3
03:16:00	03:30:00	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	3
03:31:00	03:45:00	4	-	-	2	1	-	-	-	-	1	-	8
03:46:00	04:00:00	-	-	3	-	-	-	1	-	1	-	-	5
04:01:00	04:15:00	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2
04:16:00	04:30:00	1	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	4
04:31:00	04:45:00	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2
04:46:00	05:00:00	2	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	4
05:01:00	05:15:00	2	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	4
05:16:00	05:30:00	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
05:31:00	05:45:00	-	1	2	-	-	-	-	-	1	-	-	4
05:46:00	06:00:00	1	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	4
Circulacion de vehiculos Diurno		53	33	44	37	5	-	10	10	16	18	3	229

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 46: Tráfico Promedio Diario Anual Histórico por Tipo de Vehículo EMC 1802.



MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA

DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION

DIVISION DE ADMINISTRACION VIAL

OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS

TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL HISTORICO POR TIPO DE VEHICULO

AÑO 2017

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Depart.	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA
131	NIC-18A	1802	EMC	San Marcos - Masatepe	Carazo / Masaya	2017	4638	1379	346	1068	395	88	158	391	221	60		152			1		11	8,908
						2016	3942	1453	430	1165	423	94	163	421	272	45		81					11	8,500
						2015	3372	1291	370	993	388	85	161	382	235	36		80					9	7,402
						2014	3176	1151	348	936	320	75	145	369	240	41		69					13	6,883
						2013	2691	1161	319	875	318	86	145	351	187	25		52					11	6,221
						2012	2789	1084	357	895	341	72	130	347	230	24	2	44				1	8	6,324
						2011	1971	978	309	803	322	60	139	286	195	27		35					7	5,132
						2010	1501	1076	336	843	356	82	154	290	214	36		40					8	4,936
						2009	1326	1068	363	885	340	76	164	323	258	34		42					8	4,887
						2008	1056	944	327	917	349	78	175	335	270	42		46			1	1	13	4,554
						2004	288	814	305	1012	281	72	213	321	241	14		37			0		8	3,608
						2002	234	827	388	1113	260	61	190	223	237	25		31			1		13	3,602
						1999	224	585	287	938	142	66	196	208	150	34		21			2		17	2,871
						1997	184	500	234	746	18	69	169	91	206	18		13					12	2,260

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico; Ministerio de Transporte e Infraestructura; Edición 2017.

Tabla N° 47 : Tráfico Promedio Diario Anual Histórico por Tipo de Vehículo ECD 6202.

TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL HISTORICO POR TIPO DE VEHICULO																									
AÑO 2017																									
N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Depart.	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA	
305	NIC-62	6201	ECD	Rivas - Tola	Rivas	2010	693	809	73	218	9	1	45	79	18	3	1	3			4		19	1,975	
						2008	934	1290	99	328	3	2	69	110	51	7		7			3	1	19	2,923	
						2006	215	659	101	334	3		66	70	51	15		5		1	1		10	1,532	
						2003	124	433	41	180	1	1	54	26	36	3		1			3		8	911	
						2002	310	797	66	355	1		72	36	56	11		1			2		12	1,719	
						1999	154	130	42	203			60	34	73	40		2			1	2	13	753	
						EMC: 1802																			
						Tasa Crecimiento:	7.38%	2017	1141	1332	120	359	15	2	74	130	30	5	2	5		7		31	3,251
306	NIC-62	6202	ECD	Tola - Las Salinas	Rivas	2009	377	15	55	153	2	1	14	23	17	1					1			659	
						2008	257	79	54	141	2	1	22	49	21	3		5			1		2	637	
						2006	58	11	55	118	1		10	25	15	5		1			1	1	3	302	
						2003	25	21	24	95	2		13	6	13	6		1			3		3	212	
						2001	51	5	14	55			12	8	5	32		1			4	4	1	193	
						1999	44	8	12	59			20	9	17	2		2			2		2	177	
						EMC: 1802																			
						Tasa Crecimiento:	7.38%	2017	666	27	97	270	4	2	25	41	30	2				2			1,165

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico; Ministerio de Transporte e Infraestructura; Edición 2017.

Tabla N° 48: Diagrama de Cargas Permisibles.

1 C2 15 T 5 T 10 T 5 mts mín 12 mts máx	7 T3-S1 30 T 5 T 16 T 9 T 10.5 mts mín 17.5 mts máx
2 C3 21.5 T 5 T 16.5 T 5 mts mín 12 mts máx	8 T3-S2 37 T 5 T 16 T 16 T 14.4 mts mín 17.5 mts máx
3 C4 25 T 5 T 20 T 5 mts mín 16.75 mts máx	9 T3-S3 41 T 5 T 16 T 20 T 14.4 mts mín 17.5 mts máx
4 T2-S1 23 T 5 T 9 T 9 T 6.67 mts mín 16.75 mts máx	10 C2-R2 PT(a)=21.5 T PT(b)=24.5 T (a) 4.5 T (a) 9 T (a) 4 T (a) 4 T (b) 4.5 T (b) 9 T (b) 6.5 T (b) 6.5 T 12.38 mts mín 18.30 mts máx
5 T2-S2 30 T 5 T 9 T 16 T 10.50 mts mín 17.50 mts máx	11 C3-R2 PT(a)=29 T PT(b)=34 T (a) 4.5 T (a) 16 T (a) 4 T (a) 4 T (b) 4.5 T (b) 16 T (b) 6.5 T (b) 6.5 T 14.4 mts mín 18.30 mts máx
6 T2-S3 34 T 5 T 9 T 20 T 10.5 mts mín 17.5 mts máx	12 C3-R3 PT (a) = 35 T PT (b) = 37.5 T (a) 4.5 T (a) 16 T (a) 4 T (a) 4 T (b) 4.5 T (b) 16 T (b) 6.5 T (b) 6.5 T 14.4 mts mín 18.30 mts máx

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

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

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

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura, Departamento de Viabilidad.

Tabla N° 49: Diagrama de Cargas Permisibles

Tipo de Vehículo	Peso por Eje (ton)	Peso por Eje (Lb)
AUTOMOVIL	1 / 1	2200 / 2200
JEEP	1 / 1	2200 / 2200
CAMIONETA	1 / 2	2200 / 4400
MC-15	2 / 4	4400 / 8800
MC-12-30	4 / 8	8800 / 17600
C2-LIV	4 / 8	8800 / 17600
BUS = C2	5 / 10	11000 / 22000

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura, Departamento de Viabilidad.

Tabla N° 50: Factores Flexibles de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Simples Pt = 2.0.

Carga p/eje (kips) ⁶	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 Pavimento, capítulo 3. Pág. 6.

Tabla N° 51: Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Tándem Pt = 2.0.

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

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, Capítulo 3. Pág. 7

Tabla N° 52: Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Trídem, Pt = 2,0.

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.010	0.012	0.012	0.010	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.060	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.080	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.140	0.149	0.140	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.390	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.560	0.587	0.580	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.710	0.705	0.686	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.05	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15.0	13.8	13.0	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, Capítulo 3. Pág. 8

Tabla N° 53 : Valor Percentil para Diseño de Subrasante, de Acuerdo al Nivel de Tránsito.

N° de Ejes de 18 kips (8.2 ton) en el Carril de Diseño (N)	Valor Percentil para Diseño de Subrasante
< de 10,000 Esal's	60%
Entre 10,000 Esal's y 1,000,000 Esal's	75%
> 1,000,000 Esal's	87.5%

Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Fonseca Montejo. Segunda Edición 2001.

Tabla N° 54 : Confiabilidad (R%).

Clasificación general	Niveles de Confiabilidad Recomendado	
	Urbano	Rural
Carreteras Regionales	85 – 99.9	80 – 99.9
Troncales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: AASHTO – 93. Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos; pág. 17.

Tabla N° 55: Desviación Estándar Normal (Z_R).

Confiabilidad R (%)	Desviación Estándar Normal (Z_R)
50	- 0.00
60	- 0.253
70	- 0.524
75	- 0.674
80	- 0.841
85	- 1.037
90	- 1.282
99.99	- 3.750

Fuente: AASHTO – 93. Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos Capítulo 3, pág. 10.

Tabla N° 56: Índice de Serviciabilidad.

Índice de Serviciabilidad Inicial	
	P0
Pavimento Rígido	4.5
Pavimento Flexible	4.2
Índice de Serviciabilidad Final	
	Pt
Caminos Muy Importantes	2.5
Caminos de Tránsito Menor	2

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Edición 2002
Capítulo 3, pág. 4

Tabla N° 57: Espesores Mínimos para Capas de Concreto Asfáltico y Base en Función del Tráfico Esperado.

Cargas Equivalentes Esal's	Base y/o subbase Granular
Menos de 50,000	10.0 cm
50,000 - 150,000	10.0 cm
150,000 - 500,000	10.0 cm
500,000 - 2,000,000	15.0 cm
2,000,000 - 7,000,000	15.0 cm
Mas de 7,000,000	15.0 cm

Fuente: AASHTO – 93. Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos Flexibles; pág. 46.

Figura N° 40: Superficie del Tramo Desgastada. (Est. 1 + 050).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 41: Bordillos desplazados y Fracturados (Est. 1 + 500).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 42: Escalonamiento entre adoquines y confinamiento.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 43: Drenaje Obstruido (Est. 4 + 000).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 44: Cuneta con Maleza y Sedimentos, (4 + 000).



Fuente: Elaboración Propia.