

DEPARTAMENTO DE BOLIVAR

REHABILITACIÓN DE LA VIA QUE INTERCOMUNICA A LOS MUNICIPIOS DE SANTA ROSA DE LIMA, VILLA NUEVA Y SAN ESTANISLAO DE KOSTKA, PERMITIENDO LA INTERCONEXION VIAL PARA DESARROLLO ECONOMICO, SOCIAL, AGRICOLA Y TURISTICO DE LAS SUBREGIONES FUNCIONALES 7 Y 48 DEL DEPARTAMENTO DE BOLIVAR

VOLUMEN III
ESTUDIO GEOTÉCNICO Y DISEÑO DE PAVIMENTO

ABRIL DE 2025

Título del documento	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA VIA QUE INTERCOMUNICA A LOS MUNICIPIOS DE SANTA ROSA DE LIMA, VILLA NUEVA Y SAN ESTANISLAO DE KOSTKA, PERMITIENDO LA INTERCONEXION VIAL PARA DESARROLLO ECONOMICO, SOCIAL, AGRICOLA Y TURISTICO DE LAS SUBREGIONES FUNCIONALES 7 Y 48 DEL DEPARTAMENTO DE BOLIVAR

Este Documento ha sido revisado y aprobado como se indica abajo. Las modificaciones realizadas se describen a continuación en el índice de modificaciones. Por favor destruir todas las revisiones previas.
CUADRO DE RESPONSABLES

Elaboró	**Nombre**	**LUIS CARLOS ALANDETE BONFANTE**
	Matrícula Profesional	13202-159914 BLV
	Firma	

CONTROL DE MODIFICACIONES		
CAPITULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 6
1. FORMULACIÓN DEL ESTUDIO 7
1.1 OBJETIVO 7
1.1.1 Objetivos Específicos 7
1.2 ALCANCES 7
1.3 METODOLOGÍA 7
2. ASPECTOS GENERALES 9
2.1 DESCRIPCIÓN DEL TRAMO 9
2.2 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 9
2.3 LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA TRAMO VÍA – DEPARTAMENTO DE BOLIVAR. 12
2.4 LOCALIZACIÓN GEORREFERENCIADA DEL TRAMO 13
2.5 CONDICIÓN INICIAL DEL TRAMO 13
3. ESTUDIO DE GEOTECNIA 14
3.1 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE DEL CORREDOR VIAL TRAMO SANTA ROSA DE LIMA - VILLANUEVA – SAN ESTANISLAO. DEPARTAMENTO DE BOLIVAR 14
3.1.1 Hidrografía 14
3.1.2. Clima 15
3.1.3. Geología 15
3.2. TRABAJOS DE CAMPO 16
3.3. Resultados de ensayos de laboratorio. 18
3.3.1 Análisis Granulométrico. 19
3.3.2. Análisis de Limites de Atterberg e Índices de Plasticidad 21
3.3.3. Contenido de Humedad 22
3.3.4. Ensayo de CBR de Suelos Compactados en el Laboratorio 24
3.3.5. Estratigrafía 26
3.3.6. Análisis de resultados geotécnicos y recomendaciones. 27
4. DISEÑO DE PAVIMENTOS 27
4.1. DETERMINACION DEL FACTOR DAÑO POR METODO DE LA CUARTA POTENCIA 27
4.2. TRÁNSITO DE DISEÑO 29
4.3. ANALISIS DE LA VARIABLE CLIMA 34
5. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE 46
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 47

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.Coordenadas Puntos inicial y Final del Tramo. 13
Tabla 2.Ubicación de apiques. 18
Tabla 3 Resultados de granulometría de apiques. 20
Tabla 4 Resultados de límites de Atterberg 21
Tabla 5 Resultados de contenido de humedad. 23
Tabla 6 Resultados de CBR en laboratorio. 25
Tabla 7.Peso de vehículos de diseño. Fuente: Elaboración propia. 28
Tabla 8.Determinacion en kilonewton de vehículos de diseño. Fuente: elaboración propia. 28
Tabla 9.Factores de equivalencia de carga por cuarta potencia y determinación del factor daño. Fuente: elaboración propia. 29
Tabla 10.Transito promedio diario proyectado a 10 años para la estación 1 29
Tabla 11.Transito promedio diario proyectado a 10 años para la estación 2 30
Tabla 12Total número de ejes equivalentes calculado para el carril de diseño. (Estación 1 y 2) 30
Tabla 13. datos de conteo estación 1. 31
Tabla 14. Datos de diseño. 31
Tabla 15. Transito promedio diario estación 1. 31
Tabla 16.información del tránsito estación 1. 32
Tabla 17.Transito promedio diario estación 2. 32
Tabla 18.información del tránsito estación 2. 33
Tabla 19.Espectro de carga estación 1 34
Tabla 20.Espectro de cargar estación 2 34
Tabla 21.datos del clima. 35
Tabla 22.cálculo de la temperatura media de la mezcla. 35
Tabla 23.Parámetros Método AASHTO caracterización dinámica de los materiales. 37
Tabla 24.Valores típicos de MR para diferentes materiales. 40
Tabla 25. Prediseño 40
Tabla 26.Calculo de modulo resiliente de materiales granulares izzat 41
Tabla 27.Estructura Propuesta. 41
Tabla 28.CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN PUNTOS CRÍTICOS DEL MODELO ESTRUCTURAL ACORDE CON EL MODELO DE FATIGA DEL INSTITUTO DE ASFALTO. 43
Tabla 29.CHEQUEO MODELO ESTRUCTURAL ACORDE CON EL MODELO DE FATIGA DEL INSTITUTO DE ASFALTO. 44
Tabla 30.CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN PUNTOS CRÍTICOS DEL MODELO ESTRUCTURAL ACORDE CON EL MODELO DE FATIGA DEL INSTITUTO DE ASFALTO 45

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.Localización general del proyecto. 11
Ilustración 2.Localización Subregión del Dique Bolivarense 11
Ilustración 3.Localización vía SANTAROSA-VILLANUEVA- SAN ESTANISLAO 13
Ilustración 4.Puntos de exploración Geotécnica 17
Ilustración 5. Análisis granulométrico. 21
Ilustración 6.Análisis de resultados de contenido de humedad. 24
Ilustración 7.Análisis de resultados de CBR. 26
Ilustración 8.Estratigrafía de la estructura existente. 26
Ilustración 9. Expresiones para el cálculo del factor de equivalencia. Fuente: Sánchez y Campagnoli 2016 y Austroads 28
Ilustración 10.Valores por defecto de Mr de acuerdo con la clasificación del suelo. 37
Ilustración 11.prediseño para encontrar número estructural de sub-rasante. 38
Ilustración 12.prediseño sub-base 39
Ilustración 13. pre-diseño base granular. 39
Ilustración 14.principio de protección de capas y numero estructural requerido. 40
Ilustración 15. estructura propuesta en prediseño no cumple por deformaciones en capa de rodadura. 43
Ilustración 16. Estructura requerida de 13 cm de asfalto con mejoramiento de capas granulares base 20 cm y subabse 30 cm 43
Ilustración 17. verificación estructural prediseño. (no cumple) 44
Ilustración 18. Propuesta de 13 cm asfalto, 20 cm base y 30 cm de subbase aprobado estructuralmente. 44
Ilustración 19.Propuesta de 12 cm asfalto, 20 cm base y 30 cm de subbase aprobado estructuralmente. (CUMPLE PERO SE DEBE GENERAR UN TRATAMIENTO A LA SUBRASANTE E INCREMENTAR EL MODULO Mpa DEL ASFALTO) 45

INTRODUCCIÓN

El presente documento, titulado “Diseño de Pavimento”, forma parte de los Estudios y Diseños para la Rehabilitación y Mantenimiento de la vía: Cruce 90 (Carretera La Cordialidad) – Santa Rosa de Lima – Villanueva – San Estanislao, en el Departamento de Bolívar. Su objetivo es proporcionar un análisis detallado de las condiciones actuales de la infraestructura vial y de los materiales existentes, elementos fundamentales para el planteamiento de una solución de pavimentación que garantice la funcionalidad y durabilidad de la vía.

Este estudio permite evaluar el estado estructural de la vía, identificar zonas críticas de deterioro y analizar las características geotécnicas del corredor, lo cual resulta esencial para diseñar una intervención eficiente, sostenible y adaptada a las necesidades de tránsito previstas. Asimismo, aporta lineamientos técnicos que permiten optimizar la capacidad portante, mejorar el comportamiento del pavimento y reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.

La evaluación presentada incluye investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y modelación del comportamiento del suelo, con el fin de desarrollar un diseño de pavimento que optimice la resistencia estructural y la funcionalidad de la vía, contribuyendo así a la conectividad y al desarrollo socioeconómico del área de influencia.

1. FORMULACIÓN DEL ESTUDIO

1.1 OBJETIVO

Realizar el estudio geotécnico y el diseño de pavimento para la Rehabilitación y Mantenimiento de la vía: Cruce 90 (Carretera La Cordialidad) – Santa Rosa de Lima – Villanueva – San Estanislao, en el Departamento de Bolívar, proporcionando información técnica confiable que permita desarrollar una solución de pavimentación adecuada a las condiciones del terreno y a las necesidades del tránsito vehicular.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades geotécnicas del suelo mediante investigaciones de campo y ensayos de laboratorio.
- Identificar posibles limitaciones o problemas geotécnicos que puedan afectar la estabilidad y el desempeño de la estructura del pavimento.
- Determinar la resistencia del suelo y su influencia en el diseño estructural del pavimento.
- Definir la estructura óptima del pavimento considerando las cargas de tránsito, las condiciones climáticas y la durabilidad requerida.
- Proponer recomendaciones técnicas para garantizar la estabilidad y funcionalidad del pavimento, incluyendo medidas de drenaje y mitigación de riesgos geotécnicos.

1.2 ALCANCES

El estudio abarca el levantamiento de información geotécnica y el diseño estructural del pavimento para la rehabilitación de la vía. Incluye la ejecución de exploraciones de campo, así como la realización de ensayos de laboratorio para determinar las características físicas y mecánicas del suelo.

Con base en los resultados obtenidos, se desarrolla un análisis geotécnico detallado y se diseña la estructura del pavimento más adecuada para las condiciones del corredor vial. Además, se presentan recomendaciones para el control de calidad en la construcción y la estabilización del terreno en caso de ser necesario.

1.3 METODOLOGÍA

Debido a las características del proyecto, la realización del estudio geotécnico y el diseño del pavimento requiere un reconocimiento y análisis detallado de los parámetros fundamentales para su ejecución. Entre estos se incluyen la evaluación de la subrasante, su caracterización geomecánica, el diagnóstico del estado actual del pavimento y el análisis del tránsito, con el fin de establecer los parámetros necesarios para el diseño de pavimentos, ya sean nuevos o rehabilitados. Para llevar a cabo estos estudios, se desarrollan las siguientes actividades de investigación:

Evaluación general del estado del pavimento, que abarca una visita de reconocimiento a la vía, el análisis de la información preliminar disponible sobre la zona en estudio, una evaluación geotécnica inicial, el diagnóstico del estado superficial de la calzada y la revisión del tránsito existente.
Análisis final de la información básica, que implica la caracterización de los parámetros esenciales para el diseño y la modelación de las estructuras de pavimento.

El proceso metodológico seguido para el desarrollo del estudio se estructura en las siguientes etapas:

a.) RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN:

Comprende la recopilación de información existente en las diferentes entidades sobre el corredor vial en estudio, en lo referente a las áreas técnicas básicas para el desarrollo de estos.

b.) EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO:

La evaluación estructural del pavimento tiene como propósito determinar la capacidad de carga y el estado estructural de la vía existente, con el fin de definir si es necesario un refuerzo, una rehabilitación o el diseño de un nuevo pavimento.

c.) EVALUACIÓN GEOTÉCNICA:

El análisis geotécnico tiene como objetivo identificar la distribución y extensión de los distintos tipos de suelos, determinar su disposición en capas y verificar la profundidad del nivel freático. En el caso de estructuras viales existentes, también permite caracterizar las capas que conforman el pavimento. Esta evaluación constituye un componente esencial dentro de la metodología establecida, ya que la exploración geotécnica se centra en la caracterización del suelo de fundación y en la identificación de las capas que conforman el pavimento actual.

A partir de un análisis detallado de la información recopilada, se determinan los parámetros fundamentales para el diseño estructural del pavimento, asegurando que las soluciones propuestas sean adecuadas y eficientes.

d.) EVALUACIÓN DEL TRANSITO

El análisis del tránsito tiene como finalidad establecer la carga directa que soporta la estructura del pavimento debido al paso continuo de los vehículos, factor que contribuye a su deterioro con el tiempo. A partir de un estudio detallado de la información disponible, se determinan los parámetros fundamentales para el diseño de las estructuras de pavimento, tomando como referencia los datos obtenidos en el correspondiente estudio de tránsito.

e.) ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

El análisis estructural y diseño de la solución evalúa la capacidad del pavimento existente y define la intervención más adecuada para su rehabilitación o construcción. Se analizan los datos geotécnicos y estructurales para determinar la resistencia del suelo, el estado de las capas del pavimento y las fallas presentes. Con base en estos resultados, se establece si es necesario un refuerzo, una rehabilitación o una reconstrucción, definiendo los espesores y materiales óptimos para cada capa estructural. El diseño se elabora conforme a metodologías normativas, garantizando resistencia, durabilidad y un desempeño eficiente ante las cargas de tránsito. Finalmente, se incluyen recomendaciones técnicas para la

construcción, el control de calidad y el mantenimiento del pavimento, asegurando su funcionalidad y vida útil.

f.) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta sección presenta un resumen de los hallazgos obtenidos a lo largo del estudio geotécnico y el diseño de pavimento. Se destacan los aspectos clave relacionados con la caracterización del suelo, la evaluación estructural del pavimento existente y el análisis del tránsito, los cuales han servido de base para el diseño de la solución propuesta.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 DESCRIPCIÓN DEL TRAMO

El tramo vial objeto de estudio conecta los municipios de Santa Rosa de Lima, Villanueva y San Estanislao de Kostka en el departamento de Bolívar, desempeñando un papel clave en la movilidad local y regional. Esta vía facilita el acceso a diversas localidades, promoviendo la integración social, económica y cultural de las comunidades aledañas, y fortaleciendo las actividades productivas de la zona, como el comercio, la agricultura y el transporte de carga. El corredor presenta características predominantemente rurales, con una topografía variada que incluye tanto zonas planas como tramos montañosos con pendientes pronunciadas. Estas condiciones influyen en la operatividad de la vía y requieren un diseño adecuado para garantizar la seguridad y eficiencia del tránsito vehicular.

La infraestructura existente muestra deterioro en la superficie de rodadura y deficiencias en los sistemas de drenaje, lo que afecta el desempeño operativo y la seguridad vial. Estas condiciones demandan intervenciones orientadas a rehabilitar la vía, mejorar su capacidad estructural y garantizar niveles de servicio adecuados para los usuarios.

El análisis del corredor se enfocará en identificar los factores que afectan la capacidad vial, evaluar la eficiencia del flujo vehicular y proponer lineamientos para mejorar la conectividad, seguridad y funcionalidad de este importante eje de movilidad. La longitud aproximada de este tramo es de 35 kilómetros.

2.2 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El departamento de Bolívar está ubicado en la región norte de Colombia, con una extensión aproximada de 25.978 km² y una población estimada de 2.070.110 habitantes según el censo de 2018. Limita al norte con el mar Caribe, al este con los departamentos de Atlántico y Magdalena, al sur con los departamentos de Sucre y Córdoba, y al oeste con el mar Caribe y el departamento de Sucre. Su capital es Cartagena de Indias, reconocida por su importancia histórica, cultural y turística.

Santa Rosa de Lima es un municipio ubicado a 24 km al sureste de Cartagena de Indias. Tiene una extensión territorial de aproximadamente 151 km² y una población de 22.592 habitantes, según datos recientes. La densidad poblacional es de 149,6 habitantes por km². Las coordenadas geográficas son

10°26'44" de latitud norte y 75°22'7" de longitud oeste, con una altitud de 37 metros sobre el nivel del mar. El municipio limita al norte con Cartagena de Indias, al este con Villanueva, al sur con San Estanislao de Kostka y al oeste con Turbaco

Villanueva se encuentra al este de Santa Rosa de Lima y cuenta con una superficie de 134 km². Según el censo de 2018, su población es de 23.777 habitantes, lo que resulta en una densidad poblacional de aproximadamente 170 habitantes por km². Las coordenadas geográficas son 10°26'39" de latitud norte y 75°16'29" de longitud oeste, con una altitud de 100 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el municipio de Santa Catalina, al este con San Estanislao de Kostka, al sur con Mahates y al oeste con Santa Rosa de Lima.

San Estanislao de Kostka está situado al sur de Villanueva y al este de Santa Rosa de Lima. Tiene una extensión de 208 km² y una población de 16.518 habitantes según el censo de 2018, con una densidad poblacional de 79 habitantes por km². Las coordenadas geográficas son 10°24' de latitud norte y 75°8' de longitud oeste, y se encuentra a una altitud de 160 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Villanueva, al este con el Canal del Dique, al sur con Mahates y al oeste con Santa Rosa de Lima.

El proyecto se centra en el tramo vial que conecta los municipios de Santa Rosa de Lima, Villanueva y San Estanislao de Kostka, ubicados en el departamento de Bolívar. Esta vía es fundamental para la conectividad regional, facilitando el transporte de bienes y personas entre estas localidades y hacia la capital departamental, Cartagena de Indias. El corredor atraviesa una zona de topografía variada, incluyendo áreas planas y sectores con pendientes pronunciadas, lo que influye en las condiciones de movilidad y seguridad vial. La región se caracteriza por un clima cálido, con temperaturas promedio alrededor de 29°C, y una economía basada en actividades agrícolas y comerciales.

La rehabilitación del tramo vial que conecta Santa Rosa de Lima, Villanueva y San Estanislao de Kostka es fundamental para fortalecer la interconexión regional. Esta vía facilita el acceso al Puente Catalino Parra, una estructura de aproximadamente 800 metros de longitud que une San Estanislao y Soplaviento, mejorando la comunicación entre varios municipios del norte de Bolívar. Además, esta infraestructura permite una conexión más eficiente con municipios como Mahates, San Cristóbal, Arroyo hondo y Calamar, optimizando las rutas hacia el departamento del Atlántico y promoviendo el desarrollo económico y social en la región. En la Figura 1 mostrada a continuación se puede observar la división por Subregiones y la División política del Departamento de Bolívar.



Ilustración 1.Localización general del proyecto.

En el Mapa mostrado en la Figura 2 se Ilustra la Localización a Nivel Departamental se encuentra en la subregión del Dique Bolivarense.



Ilustración 2.Localización Subregión del Dique Bolivarense

2.3 LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA TRAMO VÍA – DEPARTAMENTO DE BOLIVAR.

El tramo vial objeto de estudio se localiza en la subregión del Dique Bolivarense, en el departamento de Bolívar, conectando los municipios de Santa Rosa de Lima, Villanueva y San Estanislao de Kostka.

El municipio de Santa Rosa de Lima posee una extensión aproximada de 151 km² y cuenta con una población de alrededor de 23,000 habitantes. Villanueva, por su parte, abarca 134 km² con una población cercana a los 19,691 habitantes, mientras que San Estanislao de Kostka posee un área de 208 km² y alberga aproximadamente 16,257 habitantes. Estos municipios desempeñan un papel fundamental en la economía regional debido a su vocación agrícola y comercial, además de su cercanía con el Canal del Dique, que facilita la comunicación con otras localidades como Clemencia, Turbaco y Mahates.

La subregión del Dique Bolivarense se encuentra ubicada en la región norte del departamento de Bolívar, con coordenadas geográficas aproximadas de 10º24’00’’ de latitud norte y 75º14’00’’ de longitud oeste. Su clima predominante es tropical cálido con temperaturas que oscilan entre los 25°C y 32°C, y su relieve combina zonas planas con sectores montañosos que presentan pendientes pronunciadas. El municipio limita de la siguiente manera:

Norte: Municipio de Clemencia
Este: Municipio de Turbaco
Sur: Municipio de Mahates
Oeste: Canal del Dique y el municipio de Arjona

El tramo vial objeto de estudio se desarrolla en un entorno con características geográficas diversas, combinando terrenos planos con sectores montañosos. La vegetación predominante es de tipo seco tropical, con suelos aptos para actividades agropecuarias. Esta vía es fundamental para la conectividad interna de la subregión del Dique Bolivarense, facilitando el acceso de las poblaciones rurales a los centros municipales, así como el tránsito hacia otros municipios del Atlántico y la interconexión con el puente de Soplaviento. Esta infraestructura permite una conexión estratégica con los municipios de Mahates, San Cristóbal, Arroyo hondo, Calamar y otras localidades clave para la movilidad regional y el comercio

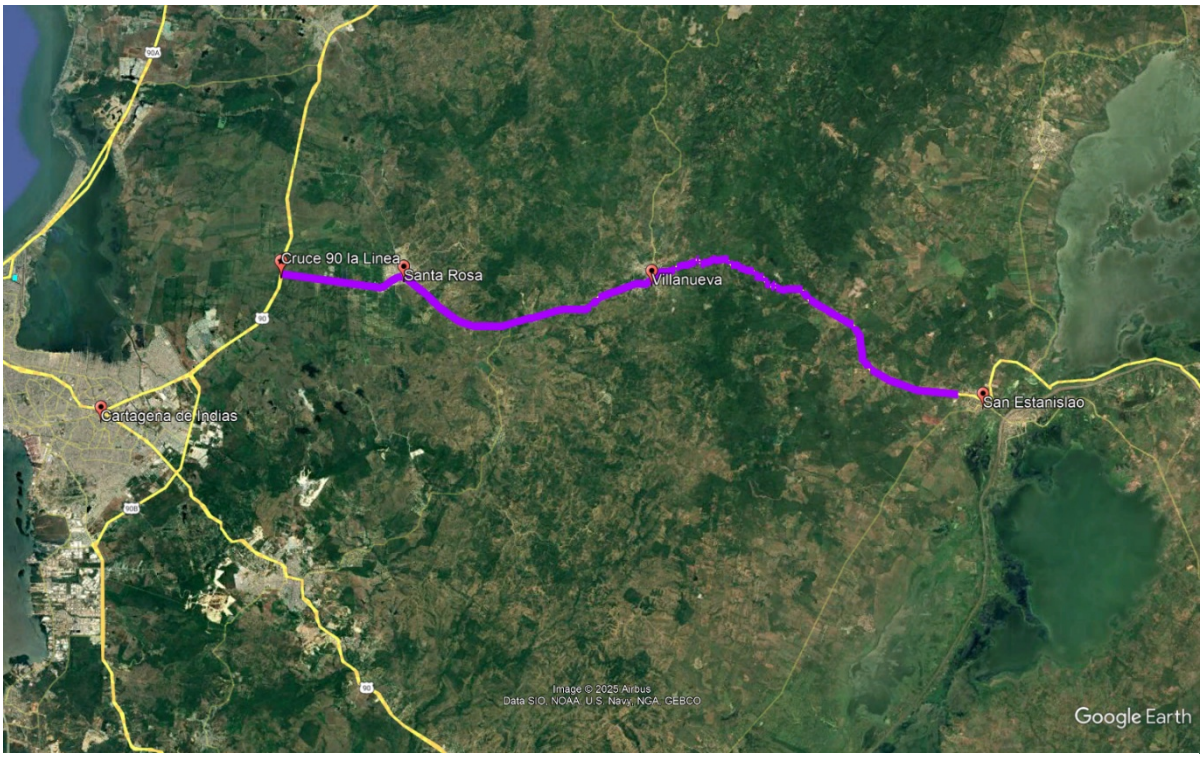


Ilustración 3.Localización vía SANTAROSA-VILLANUEVA- SAN ESTANISLAO

2.4 LOCALIZACIÓN GEORREFERENCIADA DEL TRAMO

De acuerdo con el estudio de topografía en su fase de Georreferenciación del Tramo de la Línea se encontraron las siguientes coordenadas para los puntos inicial y final del tramo objeto del presente informe.

Tabla 1.Coordenadas Puntos inicial y Final del Tramo.

Punto	Latitud	Longitud
Inicial	10° 24.060'N	75° 9.931'O
Final	10° 26.676'N	75° 24.879'O

Fuente: Elaboración Propia

2.5 CONDICIÓN INICIAL DEL TRAMO

El tramo vial que conecta los municipios de Santa Rosa de Lima, Villanueva y San Estanislao de Kostka presenta condiciones operativas y estructurales que requieren intervención para garantizar un tránsito seguro y eficiente. Actualmente, la vía exhibe deterioro en la superficie de rodadura, con presencia de baches, fisuras longitudinales y transversales, zonas con pérdida de carpeta asfáltica y deformaciones que afectan la comodidad y seguridad de los usuarios.

La falta de drenajes idóneos en varios sectores ha generado acumulación de agua, lo que provoca un deterioro acelerado del pavimento y la aparición de agrietamientos. Además, la señalización horizontal y

vertical es deficiente o inexistente, lo que incrementa el riesgo de accidentes, especialmente en horas nocturnas. Los elementos de drenaje presentan fallas, con cunetas obstruidas o erosionadas, lo que compromete la estabilidad de la vía.

En general, la condición actual del tramo limita su funcionalidad y disminuye los niveles de servicio, por lo que se requieren acciones de rehabilitación orientadas a mejorar la estructura del pavimento, optimizar el drenaje, implementar señalización adecuada y garantizar la seguridad vial para todos los usuarios.

En el anexo fotográfico se puede observar el Estado Actual del tramo vial en diferentes sectores.

3. ESTUDIO DE GEOTECNIA

3.1= RECOPILACIÓN=DE=INFORMACIÓN=EXISTENTE=DEL=CORREDOR=VIAL=TRAMO=SANTA=ROSA DE LIMA - VILLANUEVA – SAN ESTANISLAO. DEPARTAMENTO DE BOLIVAR

Implica la recolección de datos disponibles en distintas entidades sobre el corredor vial en estudio, abarcando las áreas técnicas esenciales para su desarrollo. Para ello, se consultan diversas instituciones vinculadas a la infraestructura vial, determinándose que no existen estudios previos.

La información base presentada a continuación proviene del Plan de Ordenamiento Territorial, documento proporcionado por la administración municipal de cada municipio de la zona, y ha sido complementada con datos obtenidos mediante investigación en fuentes digitales.

3.1.1= Hidrografía

El corredor vial que conecta Santa Rosa de Lima, Villanueva y San Estanislao se encuentra en una región con una red hidrográfica significativa, caracterizada por arroyos, ciénagas y cuerpos de agua que desempeñan un papel crucial en el ecosistema local.

3.1.1.1. Santa Rosa de Lima

Este municipio está atravesado por varios arroyos, entre los que destacan el arroyo Hormiga y el arroyo Tabacal. Estos cursos de agua, junto con sus afluentes, como el arroyo León, Olivo, Maretira y Abdala, forman una red de microcuencas que desembocan hacia la Ciénaga de la Virgen en Cartagena. La deforestación en las cuencas ha provocado problemas de retención de humedad y aumento de inundaciones durante las lluvias.

3.1.1.2. Villanueva

Villanueva cuenta con una red hidrográfica diversa, con arroyos como Ariguaya, Babilla, Candelaria, Guayepo, Malpaso, Sabaneta, Saladito y Tabacal. Estos arroyos forman parte de dos vertientes principales: la que desemboca en la Ciénaga de la Virgen y la que fluye hacia el Canal del Dique. La presencia de estas cuencas es vital para las actividades agrícolas y la biodiversidad local.

3.1.1.3. San Estanislao

Aunque la información específica sobre la hidrografía de San Estanislao es limitada, se sabe que comparte características similares con los municipios vecinos, con presencia de arroyos y cuerpos de agua que forman parte de la red hidrográfica regional.

3.1.2. Clima

El corredor vial que conecta Santa Rosa de Lima, Villanueva y San Estanislao se encuentra en una región con un clima tropical monzónico, caracterizado por altas temperaturas, humedad significativa y una marcada estacionalidad en las precipitaciones.

- **Temperatura**

Las temperaturas medias anuales en la región oscilan entre 26°C y 30°C, con máximas que pueden superar los 35°C en los meses más cálidos. La variación térmica diaria es moderada, y las noches suelen ser cálidas y húmedas.

- **Precipitación**

La precipitación anual promedio varía entre 800 mm y 1.200 mm. Se presentan dos estaciones lluviosas principales: de abril a junio y de agosto a noviembre, siendo octubre el mes más lluvioso. Las temporadas secas se extienden de diciembre a marzo y en julio. Durante las épocas de lluvias intensas, es común la ocurrencia de tormentas eléctricas y precipitaciones de corta duración, pero alta intensidad.

- **Humedad y Radiación Solar**

La humedad relativa promedio anual es del 80%, aumentando durante las épocas lluviosas y disminuyendo en las secas. La radiación solar es alta durante todo el año, con una duración del día que varía ligeramente, entre 11,5 y 12,7 horas, debido a la proximidad al ecuador.

- **Vientos**

Los vientos predominantes provienen del noreste, con velocidades promedio entre 8 y 16 km/h. Durante las temporadas secas, los vientos alisios pueden intensificarse, contribuyendo a la disminución de la humedad relativa y aumentando la evapotranspiración.

3.1.3. Geología

La geología del corredor vial Santa Rosa de Lima – Villanueva – San Estanislao está influenciada por la interacción de diversas formaciones geológicas y estructuras tectónicas que han modelado el relieve y las características del suelo en la región.

Formaciones Geológicas:

- **Formación Noreán:** Presente en áreas cercanas a la Serranía de San Lucas, esta formación del Jurásico Temprano está compuesta por lavas andesíticas a riolíticas y depósitos piroclásticos. Se formó en un entorno de arco magmático continental y constituye la base económica en el sur del Valle Inferior del Magdalena.

- **Formación Paja:** Del Cretácico Temprano, esta formación se extiende desde Simití en el norte hasta el anticlinal de Pauna en el sur. Está compuesta por lutitas negras, arcillolitas abigarradas y nódulos de caliza, y es conocida por su riqueza fósil, incluyendo reptiles marinos y tortugas.

Estructuras Tectónicas:

- **Falla de Palestina:** Esta falla regional de rumbo noreste-suroeste atraviesa los departamentos de Antioquia, Caldas y Bolívar. Es una falla inversa oblicua sinistral que ha desplazado rocas metamórficas paleozoicas y, en menor medida, rocas plutónicas mesozoicas. Aunque actualmente se considera inactiva, su presencia ha influido en la configuración geológica de la región.

3.2. TRABAJOS DE CAMPO

Con el fin de caracterizar la subrasante existente en el corredor vial objeto de estudio, se programó la ejecución de exploraciones mediante la apertura de apiques manuales, espaciados cada 1000 metros aproximadamente, cumpliendo con los requerimientos técnicos establecidos en los términos de referencia del proyecto.

Los apiques fueron ejecutados hasta alcanzar profundidades promedio de 40 a 48 centímetros, permitiendo el reconocimiento del perfil del suelo de la subrasante y la recolección de muestras representativas de cada estrato encontrado. Se realizaron un total de 29 apiques a lo largo del tramo comprendido entre el Cruce 90 (Carretera La Cordialidad), Santa Rosa de Lima, Villanueva y San Estanislao, en el Departamento de Bolívar.

Durante la ejecución de los apiques se tomaron muestras alteradas de suelo para la realización de ensayos de laboratorio que incluyeron análisis granulométrico, determinación de límites de Atterberg (límites líquido y plástico), contenido de humedad natural y clasificación de suelos, se recolectaron muestras inalteradas a una profundidad promedio de 40 cm para la ejecución de ensayos de CBR (California Bearing Ratio), permitiendo así determinar la capacidad portante de la subrasante en condiciones de humedad natural y bajo el Proctor Modificado al 95%.

Esta exploración permitió identificar las diferentes unidades de suelo que conforman la estructura actual de la vía, evaluar sus propiedades físicas y mecánicas, y definir su comportamiento ante las cargas de tránsito previstas, sirviendo como base fundamental para el diseño estructural del pavimento.

En el **Anexo 2** se presentan los registros de campo de la exploración geotécnica.

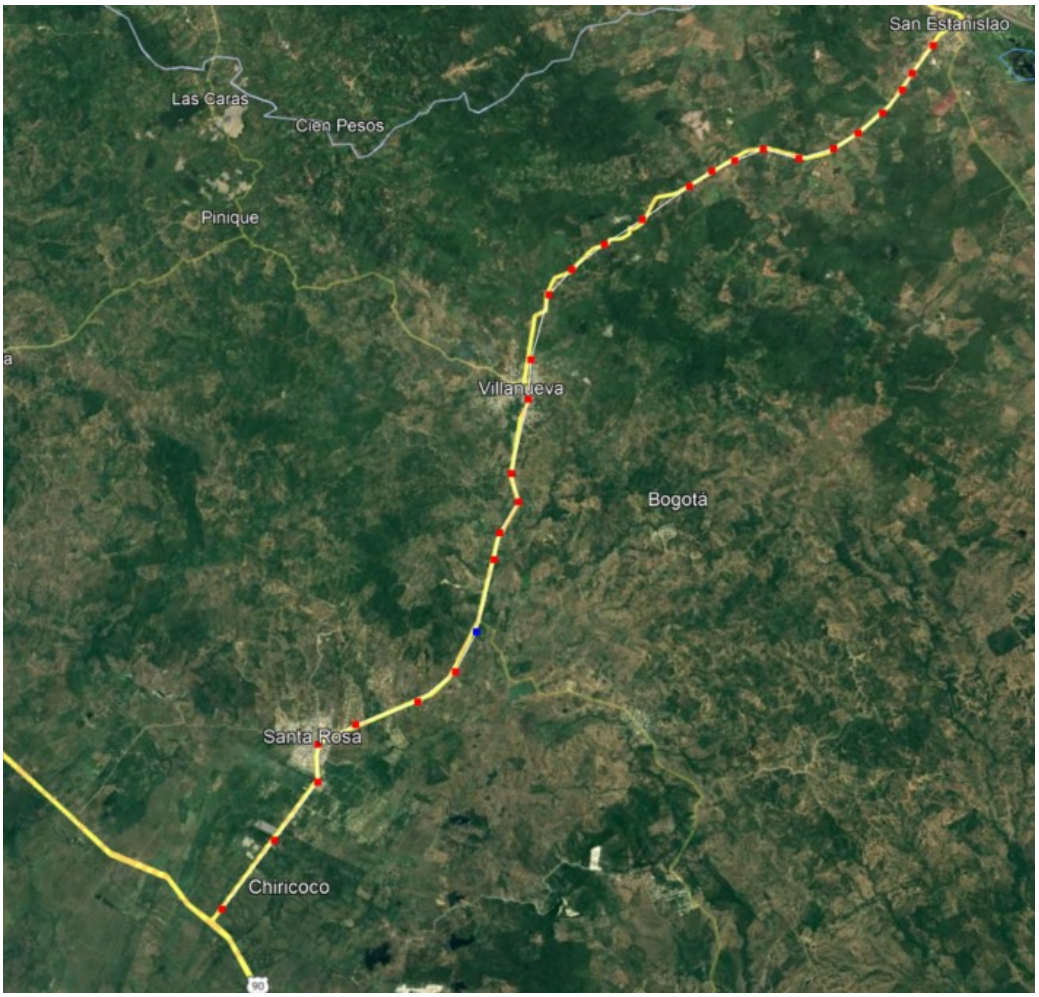


Ilustración 4.Puntos de exploración Geotécnica
Fuente: Google Earth

Los apiques que se realizaron en campo se encuentran geográficamente ubicados en las siguientes coordenadas (Ver tabla 2).

Tabla 2.Ubicación de apiques.

DESCRIPCION	LATITUD	LONGITUD
APIQUE 1	10.44391792966237	-75.41117382055008
APIQUE 2	10.44143129750964	-75.39256630988073
APIQUE 3	10.43950883709985	-75.3768091241323
APIQUE 4	10.44379282344363	-75.36931806697744
APIQUE 5	10.43853347180064	-75.36156180900768
APIQUE 6	10.4288330055045	-75.35059512113043
APIQUE 7	10.42518350470193	-75.33305078508509
APIQUE 8	10.4297579874441	-75.31392342383246
APIQUE 9	10.43178615141388	-75.30773741101494
APIQUE 10	10.43149436153004	-75.29937108623952
APIQUE 11	10.4362694261316	-75.29405012791506
APIQUE 12	10.44150835672234	-75.27629646761883
APIQUE 13	10.44565551274436	-75.26738905172968
APIQUE 14	10.44947409288464	-75.25145605117493
APIQUE 15	10.44779343617135	-75.2433919361101
APIQUE 16	10.44409127397303	-75.23436947882878
APIQUE 17	10.43930304967929	-75.22482328320478
APIQUE 18	10.43352895770147	-75.21243961429266
APIQUE 19	10.43072806263356	-75.20669034961156
APIQUE 20	10.42722870199526	-75.20198121178883
APIQUE 21	10.42268675690302	-75.19661512103022
APIQUE 22	10.41416083672232	-75.19558810771062
APIQUE 23	10.40818563934438	-75.18996102924106
APIQUE 24	10.40494917543648	-75.18401510545957
APIQUE 25	10.40228533399728	-75.17692514112632
APIQUE 26	10.40089911522891	-75.16948561284059
APIQUE 27	10.40079903298442	-75.16451732289501
APIQUE 28	10.3996275822648	-75.15589382372958
APIQUE 29	10.425398	-75.342621

3.3. Resultados de ensayos de laboratorio.

Se emplea la información geotécnica como base para conocer las condiciones y propiedades geomecánicas del suelo, analizando los resultados de los ensayos de campo y laboratorio. Esto permite obtener los parámetros necesarios para evaluar la adecuación del pavimento. A través de esta exploración, se identifican los distintos tipos de suelo presentes en la rasante local y sus características específicas, así como su comportamiento mecánico.

Para el análisis de las muestras extraídas, se programó la ejecución de los siguientes ensayos:

- **Estado y Clasificación del Suelo**

- Determinación de humedad natural.
- Límites de Atterberg: límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad.
- Análisis granulométrico.

- **Resistencia**

- Ensayo CBR en suelos compactados en laboratorio.

a.) Ensayo de Granulometría de Suelos

Este ensayo determina cuantitativamente la distribución de partículas en el suelo, siguiendo la norma INV-E123. Se analiza el porcentaje de material que pasa por los diferentes tamices empleados en la prueba, incluyendo el de 75 µm (No. 200).

b.) Ensayo de Límite Plástico e Índice de Plasticidad

Este procedimiento establece el menor contenido de agua en el que el suelo aún conserva su estado plástico. El índice de plasticidad representa el rango de contenido de humedad en el que el suelo mantiene esa condición, expresado como porcentaje de la masa seca del suelo. Se aplica el método manual de rollos según la norma INV-E126-13.

c.) Ensayo de Límite Líquido

Siguiendo la norma INV-E125-13, este ensayo determina el contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el que el suelo pasa del estado plástico al líquido.

d.) Ensayo de Humedad

Conforme a la norma INV-E122-13, este ensayo mide en laboratorio el contenido de agua en suelos, agregados y mezclas de suelo y roca, expresado en porcentaje respecto a su masa.

e.) Ensayo de CBR en Suelos Compactados en Laboratorio

Regulado por la norma INV-E148-13, este ensayo establece el índice de resistencia de suelos de subrasante, sub-base granular y base granular, conocido como CBR (California Bearing Ratio). Se aplica a materiales con tamaños máximos de partículas inferiores a 19 mm (3/4”).

3.3.1 Análisis Granulométrico.

Según los resultados del ensayo granulométrico aplicado a cada una de las muestras del material presente en la zona de exploración, la siguiente tabla presenta los valores obtenidos para LA VIA: CRUCE 90

Tabla 3 Resultados de granulometría de apiques.

APIQUE No.	ABSCISA	CLASIFICACION S.U.C.S	CLASIFICACION AASHTO	GRANULOMETRIA % QUE PASA		
				Gravas	Arenas	Finos
1	K0+000	SP-SC	A-1-b	36,40%	54,70%	8,90%
2	K1+000	SP-SC	A-1-b	41,20%	49,50%	9,30%
3	K2+000	SP-SC	A-1-a	38,00%	53,50%	8,50%
4	K3+000	SP-SC	A-1-a	40,30%	48,30%	11,40%
5	K4+000	SP-SC	A-1-b	36,80%	52,80%	10,40%
6	K5+000	SP-SM	A-1-a	41,70%	47,80%	10,50%
7	K6+000	SP-SM	A-1-a	37,70%	51,80%	10,50%
8	K7+000	GP-GC	A-1-a	51,70%	38,70%	9,60%
9	K8+000	SP-SC	A-1-a	43,20%	46,70%	10,10%
10	K9+000	SP-SM	A-1-a	41,70%	49,30%	9,00%
11	K10+000	SP-SM	A-1-b	41,40%	47,70%	10,90%
12	K11+000	GC-GM	A-1-a	51,00%	35,60%	13,30%
13	K12+000	SP-SM	A-1-a	44,90%	45,40%	9,70%
14	K13+000	SM	A-1-a	44,50%	40,20%	15,40%
VILLANUEVA						
15	K15+000	GM	A-1-b	50,10%	31,70%	18,20%
16	K16+000	SM	A-2-4	47,40%	39,50%	13,10%
17	K17+000	SM	A-1-b	37,50%	49,00%	13,50%
18	K18+000	SP-SM	A-1-b	31,60%	60,60%	7,80%
19	K19+000	SP-SM	A-1-a	35,60%	55,20%	9,20%
20	K20+000	GP-GM	A-1-a	54,20%	37,90%	7,80%
21	K21+000	SP	A-1-a	43,60%	52,10%	4,30%
22	K22+000	SP-SM	A-1-a	42,30%	50,10%	42,30%
23	K23+000	SM	A-1-a	37,80%	47,90%	14,20%
24	K24+000	SP-SM	A-1-a	48,80%	42,20%	9,00%
SANTA ROSA						
25	K26+000	GP-GC	A-1-a	50,60%	39,40%	10,00%
26	K27+000	SP-SM	A-1-a	40,00%	52,60%	7,40%
27	K28+000	SP-SC	A-1-a	49,20%	39,60%	11,20%
28	K29+000	SC-SM	A-1-b	34,80%	47,90%	17,30%
29	K29+800	GP-GM	A-1-a	58,80%	33,20%	8,00%

Nota: Las abscisas fueron consideras como el K0+000 en San Estanislao

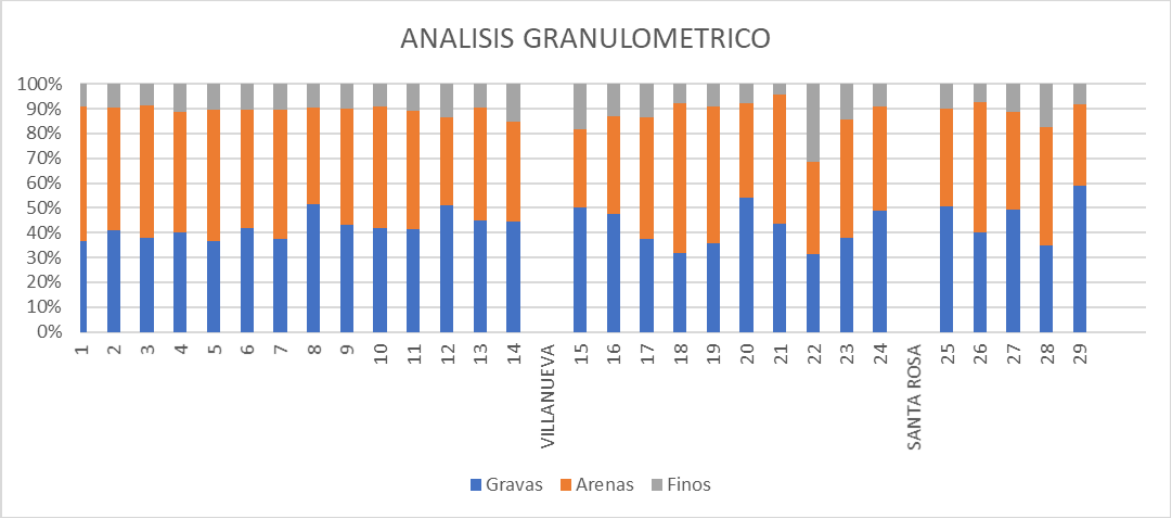


Ilustración 5. Análisis granulométrico.

3.3.2. Análisis de Limites de Atterberg e Índices de Plasticidad

De los datos obtenidos en el ensayo de límites e índice de plasticidad a cada una de las muestras obtenidas se han determinado los valores mostrados en la tabla 4, donde se aprecia que el **Límite Líquido (LL):** Oscila entre 20,5% y 27,7%, lo que indica suelos de baja a media plasticidad. **Índice Plástico (IP):** Varía entre 1,5% y 5,8%, predominando valores muy bajos, lo que sugiere materiales poco cohesivos y de baja expansividad. Además, Según la clasificación general los suelos que tengan LL < 30% y IP < 7%: Son suelos de baja plasticidad, generalmente clasificados como limos inorgánicos (ML) o arenas limosas (SM) de acuerdo con el sistema SUCS.

Para: CRUCE 90 (CARRETERA LA CORDIALIDAD)- SANTA ROSA DE LIMA - VILLANUEVA – SAN ESTANISLAO. DEPARTAMENTO DE BOLIVAR, El bajo índice plástico indica que los suelos tienen baja susceptibilidad a los cambios volumétricos por humedad (hinchamiento y retracción). Estos suelos presentan un comportamiento favorable para el pavimento, en el sentido de que no generarán movimientos importantes de la estructura por cambios estacionales.

Sin embargo, el bajo IP también indica baja cohesión, lo que puede hacer que los suelos sean susceptibles a la erosión si no se manejan bien los drenajes superficiales y subterráneos.

Tabla 4 Resultados de límites de Atterberg

APIQUE No.	ABSCISA	LIMITES DE ATTERBERG		
		L.L.	L.P.	I.P.
1	K0+000	25,50%	20,00%	5,50%

2	K1+000	23,70%	18,80%	4,90%
3	K2+000	21,70%	17,40%	4,20%
4	K3+000	24,20%	22,70%	1,50%
5	K4+000	20,50%	18,20%	2,20%
6	K5+000	N.P.		
7	K6+000	20,50%	18,80%	1,60%
8	K7+000	25,40%	20,10%	5,30%
9	K8+000	22,50%	16,80%	5,80%
10	K9+000	N.P.		
11	K10+000	N.P.		
12	K11+000	26,10%	21,00%	5,20%
13	K12+000	N.P.		
14	K13+000	27,70%	24,70%	2,90%
VILLANUEVA				
15	K15+000	23,50%	19,90%	3,60%
16	K16+000	22,50%	21,00%	1,50%
17	K17+000	N.P.		
18	K18+000	23,40%	20,40%	3,00%
19	K19+000	N.P.		
20	K20+000	N.P.		
21	K21+000	N.P.		
22	K22+000	24,70%	21,70%	2,90%
23	K23+000	24,50%	20,70%	3,80%
24	K24+000	N.P.		
SANTA ROSA				
25	K26+000	25,00%	19,90%	5,20%
26	K27+000	N.P.		
27	K28+000	25,00%	20,30%	4,70%
28	K29+000	25,30%	21,20%	4,10%
29	K29+800	22,60%	20,40%	2,10%

Nota: Las abscisas fueron consideras como el K0+000 en San Estanislao

3.3.3. Contenido de Humedad

De acuerdo con la información obtenida en el ensayo de contenido de humedad natural, para cada una de las muestras obtenidas se han determinado los valores mostrados en la tabla 5.

Tabla 5 Resultados de contenido de humedad.

APIQUE No.	ABSCISA	CLASIFICACION S.U.C.S	CLASIFICACION AASHTO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
1	K0+000	SP-SC	A-1-b	6,70%
2	K1+000	SP-SC	A-1-b	5,50%
3	K2+000	SP-SC	A-1-a	4,10%
4	K3+000	SP-SC	A-1-a	3,70%
5	K4+000	SP-SC	A-1-b	2,90%
6	K5+000	SP-SM	A-1-a	3,40%
7	K6+000	SP-SM	A-1-a	3,40%
8	K7+000	GP-GC	A-1-a	6,20%
9	K8+000	SP-SC	A-1-a	4,60%
10	K9+000	SP-SM	A-1-a	2,50%
11	K10+000	SP-SM	A-1-b	6,50%
12	K11+000	GC-GM	A-1-a	6,20%
13	K12+000	SP-SM	A-1-a	5,70%
14	K13+000	SM	A-1-a	4,50%
VILLANUEVA				
15	K15+000	GM	A-1-b	1,90%
16	K16+000	SM	A-2-4	2,30%
17	K17+000	SM	A-1-b	3,50%
18	K18+000	SP-SM	A-1-b	1,40%
19	K19+000	SP-SM	A-1-a	3,20%
20	K20+000	GP-GM	A-1-a	7,30%
21	K21+000	SP	A-1-a	4,80%
22	K22+000	SP-SM	A-1-a	4,20%
23	K23+000	SM	A-1-a	1,90%
24	K24+000	SP-SM	A-1-a	2,40%
SANTA ROSA				
25	K26+000	GP-GC	A-1-a	5,20%
26	K27+000	SP-SM	A-1-a	2,30%
27	K28+000	SP-SC	A-1-a	4,10%
28	K29+000	SC-SM	A-1-b	3,40%
29	K29+800	GP-GM	A-1-a	4,90%

Nota: Las abscisas fueron consideras como el K0+000 en San Estanislao

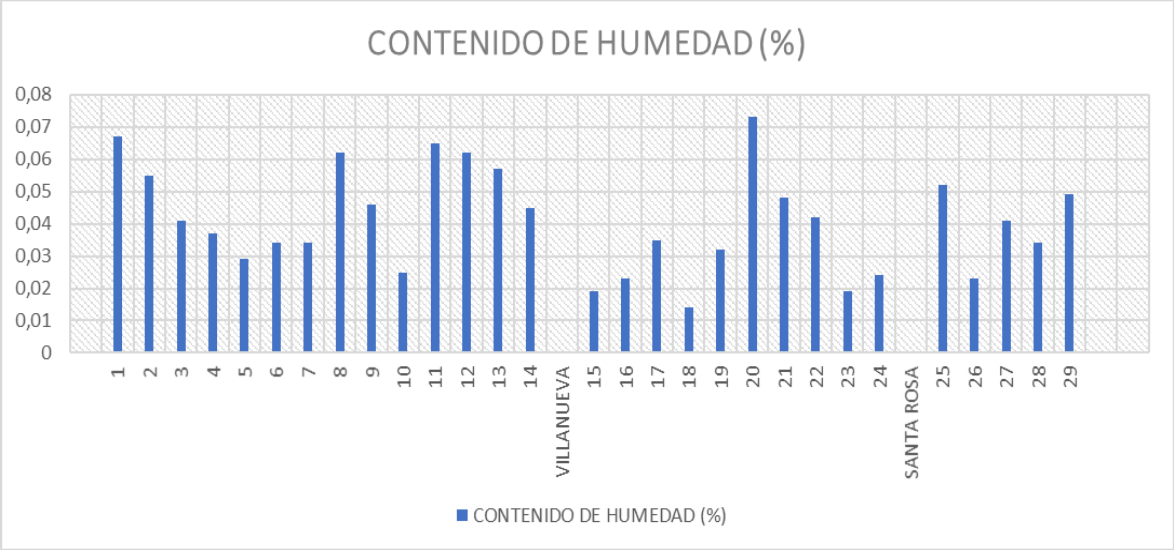


Ilustración 6.Análisis de resultados de contenido de humedad.

3.3.4. Ensayo de CBR de Suelos Compactados en el Laboratorio

De acuerdo con la información obtenida en el ensayo de CBR de laboratorio, para cada una de las muestras obtenidas cada kilómetro, se han determinado los valores mostrados en la tabla 6. Los resultados muestran una variedad moderada en la capacidad portante de los materiales utilizados en la estructura del pavimento existente. Se observan valores de CBR que varían entre el 17,6% y el 78,5%. Un alto porcentaje de los puntos evaluados presentan CBR superiores al 60%, especialmente en los sectores de Villanueva y Santa Rosa, indicando la presencia de materiales con alta capacidad de soporte, clasificados como materiales aptos para capas de base granular. Sin embargo, en algunos sectores, especialmente entre Cruce 90 y San Estanislao, se registran CBR entre 17,6% y 38%, lo cual corresponde a materiales adecuados para capas de subbase granular.

En los sectores donde los CBR son inferiores al 40% (principalmente entre los kilómetros K0+000 y K2+000, y K26+000 a K28+000), se recomienda realizar reemplazos parciales o tratamientos de mejoramiento para garantizar la estabilidad de la vía a largo plazo.

Los resultados de los ensayos de CBR reflejan un buen comportamiento general del material existente, con necesidad de intervenciones puntuales en sectores de baja resistencia, lo que permitirá optimizar los procesos de rehabilitación y mantenimiento del corredor vial Cruce 90 – Santa Rosa de Lima – Villanueva – San Estanislao.

Tabla 6 Resultados de CBR en laboratorio.

APIQUE No.	ABSCISA	CLASIFICACION S.U.C.S	CLASIFICACION AASHTO	CBR (%) 95%PM
1	K0+000	SP-SC	A-1-b	24,00%
2	K1+000	SP-SC	A-1-b	17,60%
3	K2+000	SP-SC	A-1-a	20,90%
4	K3+000	SP-SC	A-1-a	69,00%
5	K4+000	SP-SC	A-1-b	78,00%
6	K5+000	SP-SM	A-1-a	72,00%
7	K6+000	SP-SM	A-1-a	73,00%
8	K7+000	GP-GC	A-1-a	29,00%
9	K8+000	SP-SC	A-1-a	26,00%
10	K9+000	SP-SM	A-1-a	64,00%
11	K10+000	SP-SM	A-1-b	30,00%
12	K11+000	GC-GM	A-1-a	31,00%
13	K12+000	SP-SM	A-1-a	75,00%
14	K13+000	SM	A-1-a	70,00%
VILLANUEVA				
15	K15+000	GM	A-1-b	74,00%
16	K16+000	SM	A-2-4	68,00%
17	K17+000	SM	A-1-b	70,00%
18	K18+000	SP-SM	A-1-b	67,00%
19	K19+000	SP-SM	A-1-a	73,00%
20	K20+000	GP-GM	A-1-a	33,90%
21	K21+000	SP	A-1-a	75,00%
22	K22+000	SP-SM	A-1-a	78,50%
23	K23+000	SM	A-1-a	69,00%
24	K24+000	SP-SM	A-1-a	75,00%
SANTA ROSA				
25	K26+000	GP-GC	A-1-a	38,00%
26	K27+000	SP-SM	A-1-a	75,00%
27	K28+000	SP-SC	A-1-a	34%
28	K29+000	SC-SM	A-1-b	67%
29	K29+800	GP-GM	A-1-a	70%

Nota: Las abscisas fueron consideras como el K0+000 en San Estanislao

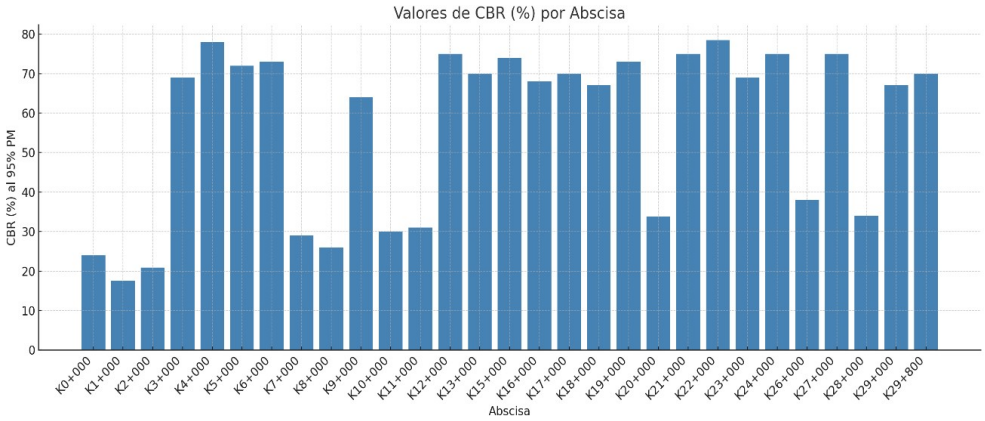


Ilustración 7.Análisis de resultados de CBR.

3.3.5. Estratigrafía

La estratigrafía del área de estudio se caracteriza por la disposición de distintas capas de suelo y material granular, cada una con propiedades geotécnicas específicas que influyen en el comportamiento del terreno. A partir de los ensayos de exploración, La estratigrafía del área de estudio se caracteriza por la presencia de capas conformadas por carpeta asfáltica, materiales granulares y, en menor medida, suelos de terraplén. A partir de los sondeos realizados, se identificó inicialmente una capa de carpeta asfáltica con espesores que varían entre 7,2 cm y 14,2 cm, evidenciando una superficie de rodadura relativamente uniforme, aunque con variaciones en su espesor a lo largo del corredor vial. Posteriormente, se encontró una capa de material granular, predominantemente base granular, con presencia puntual de subbase granular, con espesores de exploración entre 38 cm y 50 cm. Esta configuración estratigráfica sugiere una estructura del pavimento compuesta por materiales con buenas características mecánicas, aunque la variabilidad en espesores y tipos de material granular puede afectar la uniformidad del desempeño estructural. Estos datos son fundamentales para la caracterización del subsuelo y la definición de parámetros para el diseño de pavimentos y cimentaciones dentro del proyecto.

En detalle, la composición de la estructura se aprecia a continuación en la figura 8:

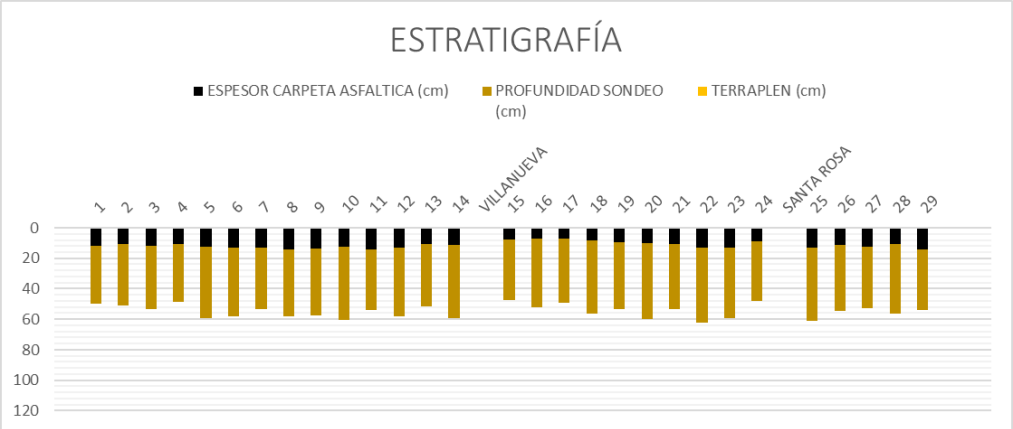


Ilustración 8.Estratigrafía de la estructura existente.

3.3.6. Análisis de resultados geotécnicos y recomendaciones.

Del análisis de los resultados de laboratorio de CBR y de los perfiles estratigráficos obtenidos, se observa una aceptable uniformidad en el tipo de material utilizado en la estructura granular del pavimento existente. Predomina el uso de materiales de base granular con buenos niveles de resistencia (CBR superiores al 70% en varios puntos) y en menor medida capas de subbase granular con resistencias más bajas, particularmente en las zonas de transición y sectores iniciales del tramo.

Sin embargo, se identifica una variabilidad en los resultados de CBR, donde algunos sectores de subbase presentan valores inferiores al 30%, lo que indica una capacidad de soporte limitada en estos puntos. Esta variabilidad puede ser crítica, considerando que, con el tiempo, los materiales granulares no tratados tienden a degradarse debido a los efectos de cargas repetitivas, factores ambientales y procesos de construcción, tal como lo señalan estudios (Álvarez, A. E., Espinosa, L. V., Ortiz, P. A., Hurtado, M. D., Cotes, L. E., y López, Y. M, 2019; R. García-Rojo, H. J. Herrmann). La degradación de las partículas genera la formación de finos, alterando la granulometría y reduciendo la rigidez estructural del pavimento, situación que puede provocar deformaciones permanentes y disminución de la vida útil de la vía.

Los datos de estratigrafía evidencian además espesores variables de carpeta asfáltica, entre 7,2 cm y 14,2 cm, lo que refleja sectores con mayores niveles de desgaste superficial y menor protección de la estructura granular inferior. Se recomienda retirar el material granular existente en un espesor mínimo de 70 cm, para eliminar completamente las capas de subbase y base granular potencialmente degradadas, evitando así su influencia negativa en el nuevo diseño estructural del pavimento.

Adicionalmente, deberá reconformar adecuadamente la fundación, asegurando un CBR mínimo del 10% en la capa de apoyo, previo a la reconstrucción de la estructura granular.

En los sectores donde no se evidencien daños estructurales, pero sí deterioro superficial, se podrá optar por intervenciones localizadas de fresado menor y recapado asfáltico.

4. DISEÑO DE PAVIMENTOS

4.1. DETERMINACION DEL FACTOR DAÑO POR METODO DE LA CUARTA POTENCIA

Se observa que el modelo que presenta un mayor factor de correlación es el potencial, sin embargo, al observar el comportamiento futuro, este modelo arroja un TPD poco confiable en comparación con el lineal que también arroja un factor de correlación adecuado. Los modelos exponencial y logarítmico arrojan un factor de correlación inferior al lineal y al Potencial por lo que son descartados y además el comportamiento futuro es bastante ilógico, para el exponencial se dispara y para el logarítmico decae. Debido a lo anterior y en concordancia con las recomendaciones del invias y autores como Carlos Alberto Benavidez el modelo que mejor representa las proyecciones futuras es el modelo lineal, este fue elegido para la proyección del tránsito del presente estudio.

Sobre dichas proyecciones, por cada tipo de vehículo, se aplicaron los siguientes factores daño, los cuales corresponden a los establecidos en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito del Instituto Nacional de Vías.

Tabla 7.Peso de vehículos de diseño. Fuente: Elaboración propia.

TONELADAS							
Vehiculo	Peso total	SRS	SRD		TANDEM	TANDEM	TRIDEM
BUS	10	4	6				
C2p	8.5	2.5	6				
C2g	17	6	11				
c3	28	6			22		
c3S2	48	6			21	21	
C3S3	52	6			22		24

Tabla 8.Determinacion en kilonewton de vehículos de diseño. Fuente: elaboración propia.

KILONEWTON							
Vehiculo	Peso total	SRS	SRD		TANDEM	TANDEM	TRIDEM
BUS	98	39.2	58.8				
	0						
C2p	83.3	24.5	58.8				
C2g	166.6	58.8	107.8				
c3	274.4	58.8			215.6		
c3S2	470.4	58.8			205.8	205.8	
C3S3	509.6	58.8			215.6		235.2

Tabla 2.6. Expresiones para la estimación de los factores de equivalencia de carga utilizando el criterio de la ley de la cuarta potencia.

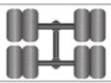
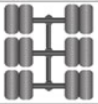
Sistema de eje	Detalle del eje	Expresiones para el cálculo del factor de equivalencia (Sánchez y Campagnoli 2016)	Expresiones para el cálculo del factor de equivalencia (Austroads 2017)
Simple de rueda simple		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje en kN}}{61\ \text{kN}}\right]^4$	$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje en kN}}{53\ \text{a}\ 58\ \text{kN}}\right]^4$
Simple de rueda doble		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje en kN}}{80\ \text{kN}}\right]^4$	$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje en kN}}{80\ \text{kN}}\right]^4$
Tándem de rueda doble		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje en kN}}{141\ \text{kN}}\right]^4$	$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje en kN}}{135\ \text{kN}}\right]^4$
Trídem de rueda doble		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje en kN}}{191\ \text{kN}}\right]^4$	$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje en kN}}{182\ \text{kN}}\right]^4$

Ilustración 9. Expresiones para el cálculo del factor de equivalencia. Fuente: Sánchez y Campagnoli 2016 y Austroads

Tabla 9.Factores de equivalencia de carga por cuarta potencia y determinación del factor daño. Fuente: elaboración propia.

FACTORES EQUIVALENCIA DE CARGA Y FACTOR DAÑO								
Vehiculo	Peso total	SRS	SRD		TANDEM	TANDEM	TRIDEM	FACTOR DAÑO
BUS		0.17053948	0.291843051					0.46
C2p		0.02602226	0.291843051					0.32
C2g		0.8633561	3.296970759					4.16
c3		0.8633561			5.4666161			6.33
c3S2		0.8633561			4.5384236	4.5384236		9.94
C3S3		0.8633561			5.4666161		2.29940674	8.63

4.2. TRÁNSITO DE DISEÑO

El tránsito es un parámetro importante para la definición del tipo de intervención a ejecutar en el tramo, pues en función del uso vehicular y las características geotécnicas y climáticas de la zona se dimensionan las alternativas de pavimentación. Como parte de los estudios generados se tiene el estudio de tránsito generado por el ingeniero **RAFAEL DAVID MENDEZ ANILLO** como consultor respecto del tránsito de diseño, se tomaron aforos vehiculares en 2 puntos durante 7 días, los aforos se realizaron en dos sitios, estación 1 en el k31+800 es decir municipio SAN ESTANISLAO y la estación 2 en el K0+000 en CRUCE 90 (CARRETERA LA CORDIALIDAD)-SANTA ROSA DE LIMA.

Resultados para diseño de pavimentos por ejes equivalentes.

Tabla 10.Transito promedio diario proyectado a 10 años para la estación 1

PERIODO	AÑO	BUSES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5
0	2025	890	252	160	317	51	4
1	2026	940	267	170	335	55	5
2	2027	993	283	180	354	59	6
3	2028	1049	299	191	374	63	7
4	2029	1109	316	202	396	67	8
5	2030	1172	334	214	419	71	9
6	2031	1238	353	227	443	75	10
7	2032	1308	373	240	468	80	11
8	2033	1382	394	254	495	85	12
9	2034	1460	417	269	523	90	13
10	2035	1543	441	285	553	96	14
	Totales:	**13084**	**3729**	**2392**	**4677**	**792**	**99**

Fuente: Estudio de tránsito.

Tabla 11.Transito promedio diario proyectado a 10 años para la estación 2

PERIODO	AÑO	BUSES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5
0	2025	768	218	142	273	46	4
1	2026	812	230	151	289	49	5
2	2027	858	243	160	306	52	6
3	2028	907	257	170	324	55	7
4	2029	959	272	180	343	59	8
5	2030	1013	288	191	363	63	9
6	2031	1071	305	202	384	67	10
7	2032	1132	323	214	406	71	11
8	2033	1196	342	227	429	75	12
9	2034	1264	362	240	454	80	13
10	2035	1336	383	254	480	85	14
	Totales:	**11316**	**3223**	**2131**	**4051**	**702**	**99**

Fuente: Estudio de tránsito.

Para el cálculo del número de ejes equivalentes de 80 kN (N) para un período de diseño de 10 años (para pavimentos flexibles), se debe tener en cuenta que por el ancho de vía de 7m el factor de distribución **Fd es igual a 0.5** y el factor carril por ser una vía de dos carriles y una calzada se toma un valor para **Fca de 1.00** en base a la Tabla 2.5 “Factor de distribución por carril según NCHRP” en el manual INVIAS de diseño de pavimentos asfalticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito de 2015. A partir de los datos del tránsito promedio diario esperado para cada año del periodo de diseño, se calcula el número de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas por tipo de vehículo pesado, utilizando la siguiente expresión:

$$Ni = 365 * Ci * Fi * Fd * Fca$$

Dónde:

Ni = Numero de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas en el Año i
Ci = Cantidad de vehículos comerciales diarios (TPD) del tipo i
Fi = Factor daño de vehículo comercial Tipo i
Fd = Factor de Distribución Direccional
Fca = Factor de distribución por carril

El mayor valor del número de ejes equivalentes resulta de los volúmenes **obtenidos en la estación 1,** por lo tanto, a continuación, se presenta en la siguiente tabla los respectivos valores referidos a estos volúmenes.

Tabla 12Total número de ejes equivalentes calculado para el carril de diseño. (Estación 1 y 2)

FC*VCi	FDi	Fcai	EALS
52.840,34	0,50	1,00	9.643.361

FC*VCi	FDi	Fcai	EALS
46.200,80	0,50	1,00	8.431.647

Fuente: Estudio de tránsito.

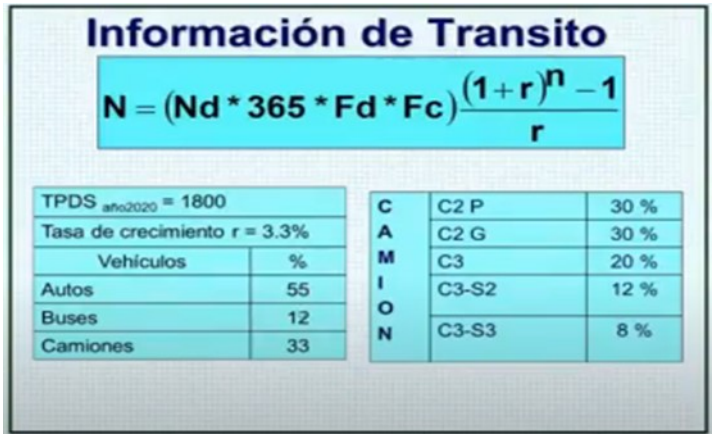


Tabla 13. datos de conteo estación 1.

TABLA DE CONTEO								
DIA	TPD	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5
DOMINGO	3516	2155	733	201	133	257	37	0
LUNES	3566	2172	741	207	132	270	42	2
MARTES	3902	2371	818	234	144	284	48	3
MIERCOLES	3795	2324	791	217	139	279	42	3
JUEVES	3732	2252	775	246	144	270	42	3
VIERNES	3843	2328	806	222	148	289	47	3
SABADO	3465	2106	724	200	129	262	44	0
	3688.42857	2244	770	218	138	273	43	2

Tabla 14. Datos de diseño.

Periodo de diseño:	10
Transito Atraído	10.00%
Transito Generado	5.50%
Tasa de Crecimiento	5.63%

Tabla 15. Transito promedio diario estación 1.

DESCRIPCION	BUSES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	TPDs
AFOROS	770	218	138	273	43	2	3688
Atraido (Na)	77	22	14	28	5	1	147
Generado (Ng)	43	12	8	16	3	1	83
Totales:	**890**	**252**	**160**	**317**	**51**	**4**	**3918**

Tabla 16.información del tránsito estación 1.

CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO Y TOTAL (ESTACION 1)			
TRANSITO DIARIO	3918	TASA DE CRECIMIENTO %	5.63
FACTOR SENTIDO	0.5	FACTOR CARRIL	1
		PERIODO DE DISENO (Años)	10
		CONFIABILIDAD (90%)	1.282

VEHICULOS	PORCENTAJE	NUMERO VEHICULOS DIARIOS	FACTOR DANO	TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO
VEHICULOS	%	3918		
AUTOS	57%	2243	0	0
BUSES	23%	890	0.46	412
CAMIONES	20%	785		
C2P	32.1	252	0.32	80
C2G	20.4	160	4.16	666
C3	40.4	317	6.33	2007
C3S2	6.5	51	9.94	507
C3S3	0.5	4	8.63	35
TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO				3705

TRANSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO	10153015
TRANSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO MODELO LINEAL	9823444

Tabla 17.Transito promedio diario estación 2.

DESCRIPCION	BUSES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	TPDs
AFOROS	664	188	122	236	39	2	3176
Atraido (Na)	67	19	13	24	4	1	128
Generado (Ng)	37	11	7	13	3	1	72
Totales:	**768**	**218**	**142**	**273**	**46**	**4**	**3376**

Tabla 18.información del tránsito estación 2.

CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO Y TOTAL (Estacion 2)			
TRANSITO DIARIO	3376	TASA DE CRECIMIENTO %	5.63
FACTOR SENTIDO	0.5	FACTOR CARRIL	1
		PERIODO DE DISENO (Años)	10
		CONFIABILIDAD (90%)	1.282

VEHICULOS	PORCENTAJE	NUMERO VEHICULOS DIARIOS	FACTOR DANO	TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO
VEHICULOS	%	3376		
AUTOS	57%	1925	0	0
BUSES	23%	768	0.46	355
CAMIONES	20%	683		
C2P	31.9	218	0.32	69
C2G	20.8	142	4.16	591
C3	40.0	273	6.33	1728
C3S2	6.7	46	9.94	457
C3S3	0.6	4	8.63	35
TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO				3235

TRANSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO	8864281
TRANSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO MODELO LINEAL	8576542

El espectro de carga de proyección del tránsito es una representación gráfica de las cargas vehiculares que se esperan en una carretera o pavimento durante su vida útil. Este espectro se utiliza para diseñar el espesor y la resistencia de la capa estructural del pavimento para garantizar su durabilidad y capacidad de soporte de carga. El espectro de carga de proyección se construye a partir de datos de carga de tráfico históricos y proyecciones futuras de tráfico en la carretera en cuestión. El espectro se representa en un eje vertical que muestra la carga aplicada en términos de ejes equivalentes, que es una medida de la carga total que pasa por una sección de carretera durante su vida útil. En el eje horizontal se representa el número de ciclos de carga aplicados a lo largo del tiempo.

El espectro de carga de proyección puede variar según la ubicación y el uso previsto de la carretera. Por ejemplo, una carretera de alta velocidad y tráfico pesado tendrá un espectro de carga de proyección diferente al de una carretera de baja velocidad y tráfico ligero. Además, la calidad de la subrasante, la

resistencia de los materiales de la capa estructural y el clima también pueden influir en el espectro de carga de proyección.

El uso de un espectro de carga de proyección adecuado es fundamental para garantizar la durabilidad y la seguridad del pavimento. Los diseñadores de pavimentos utilizan esta herramienta para determinar el espesor y la resistencia adecuados de las capas estructurales del pavimento para soportar las cargas de tráfico previstas y garantizar la vida útil deseada del pavimento.

Tabla 19.Espectro de carga estación 1

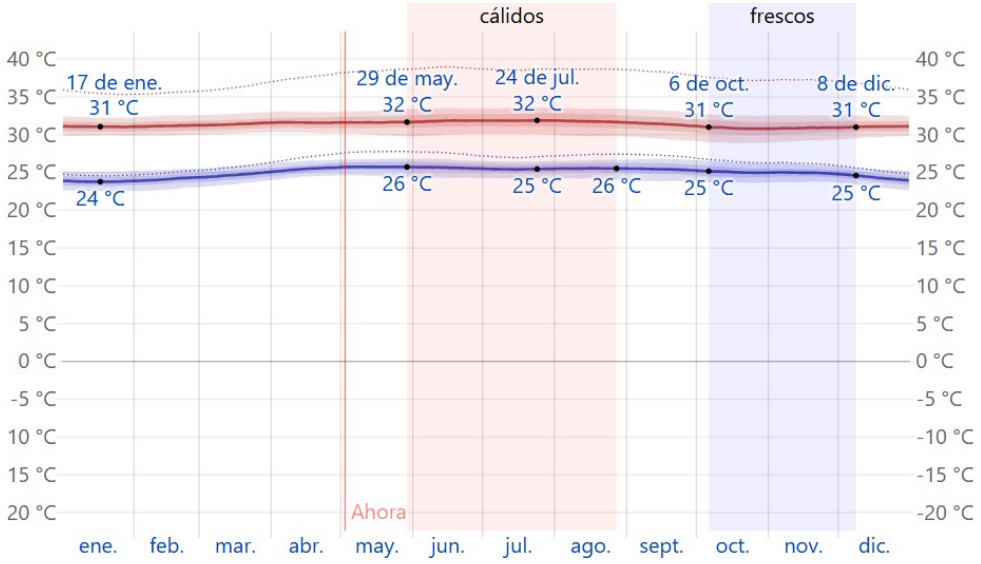
	INFORMACION PARA CALCULO DE ESPECTRO DE CARGAS									
	NUMERO VEHICULOS ACUMULADOS	EJES SIMPLES RUEDA SIMPLE				SIMPLE RUEDA DOBLE		EJES TANDEM		TRIDEM
		2.5	4	6		6	11	21	22	24
	10735714									
	6146046									
BUS	2438690		2438690			2438690				
C2P	690505	690505				690505				
C2G	438416			438416			438416			
C3	868612			868612					868612	
C5	139745			139745				279490		
C6	10960			10960					10960	10960
	TOTAL	690505	2438690	1457734	0	3129195	438416	279490	879572	10960
	10732974									

Tabla 20.Espectro de cargar estación 2

	INFORMACION PARA CALCULO DE ESPECTRO DE CARGAS									
	NUMERO VEHICULOS ACUMULADOS	EJES SIMPLES RUEDA SIMPLE				SIMPLE RUEDA DOBLE		EJES TANDEM		TRIDEM
		2.5	4	6		6	11	21	22	24
	9250580									
	5274694									
BUS	2104397		2104397			2104397				
C2P	597342	597342				597342				
C2G	389094			389094			389094			
C3	748047			748047					748047	
C5	126045			126045				252089		
C6	10960			10960					10960	10960
	TOTAL	597342	2104397	1274147	0	2701739	389094	252089	759008	10960

4.3. ANALISIS DE LA VARIABLE CLIMA

La temporada calurosa dura 3,0 meses, del 29 de mayo al 27 de agosto, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 32 °C. El mes más cálido del año en Santa Rosa es junio, con una temperatura máxima promedio de 32 °C y mínima de 26 °C.



Promedio	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Máxima	31 °C	31 °C	31 °C	32 °C	32 °C	32 °C	32 °C	32 °C	31 °C	31 °C	31 °C	31 °C
Temp.	27 °C	27 °C	27 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	27 °C	27 °C
Mínima	24 °C	24 °C	25 °C	25 °C	26 °C	26 °C	25 °C	26 °C	25 °C	25 °C	25 °C	24 °C

Tabla 21.datos del clima.

VARIABLE CLIMA	
Temperatura Media del Aire	35°C

Tabla 22.cálculo de la temperatura media de la mezcla.

CALCULO DE TEMPERATURA DE MEZCLA ASFALTICA		
Ma: Temperatura media Ponderada del aire °Centigrado	35	$Mp = Ma\left(1+\frac{1}{z+4}\right)-\frac{34}{z+4}+6$
Ma: Temperatura media Ponderada del aire °Farenheit	95	
H: Espesor capa asfaltica (cm)	**13**	
Mitad Espesor capa asfaltica (pulg)	2.56	•Mp:Temperatura media de la mezcla (°F).
Tercio Superior capa asfaltica (pulg)	1.71	•Ma:Temperatura media ponderada del aire (°F).
Mp: Temperatura Media de la Mezcla a H/2 °Farenheit	110.30	•z:Profundidad a la cual se estima la temperat. de la mezcla (pg).
Mp: Temperatura Media de la Mezcla a H/3 °Farenheit	111.69	
Mp: Temperatura Media de la Mezcla a H/2 °Centigrado	43.50	
Mp: Temperatura Media de la Mezcla a H/3 °Centigrado	44.27	

CALCULO DE FRECUENCIA		
DATOS	**Velocidad (Km/h)**	60
	Espesor de la capa Asfaltica (Cm)	13
CALCULOS	**Tiempo de Carga *(seg)***	0.02
	Frecuencia *(Hz)*	10.2

CARACTERIZACIÓN DE DINAMICA DE LOS MATERIALES

El Módulo Resiliente y su uso:
-Provee la relación básica entre tensiones y deformaciones de un material de construcción de pavimentos para su uso en análisis estructural multicapa.
-Simula las condiciones de trabajo ambientales y tensiones bajo acción de las cargas.

Niveles para determinar modulo resiliente ASSHTO MEPDG

Determinado con ensayo de laboratorio. Usar K1,K2,K3.
Determinado por correlaciones con valores de CBR, R, propiedades de plasticidad o gradación.
Valores por defecto de acuerdo con la clasificación de suelos.
Debido al costo que representa la determinación del módulo resiliente por ensayo de laboratorio y por su disponibilidad baja a nivel costa, se opta por la determinación del módulo resiliente a partir del nivel 2
Nivel 2: Determinación por correlaciones con valores del CBR expresión de transport research laboratory (Powell) teniendo en cuenta propiedades de gradación y plasticidad.

Mr=17.6(CBR)^0,64 Donde:
Mr: módulo de resiliente en Mpa.
CBR: Relación de soporte california del material, expresada en %.

la subrasante tiene un CBR PROMEDIO del 56.7%, aplicamos la misma fórmula:

Mr=17.6·(CBR)^0.64Mr =

Resultado con CBR = 56.7%
Mr=233.02 MPa
Mr = 33780 psi

Para el diseño de pavimento flexible en una rehabilitación, es común tomar un valor conservador del módulo resiliente Mr de la subrasante, ya que:

- Se deben contemplar condiciones reales del suelo (humedad, compactación variable, posibles daños).
- Se necesita garantizar seguridad y durabilidad del diseño.
- Las metodologías de diseño (como AASHTO o las normativas locales) exigen análisis integrales **y conservadores.**
- El cbr promedio encontrado es de la estructura de pavimento deteriorada existente, por ende, no corresponde al valor de cbr de subrasante si no que será estimado acorde a los lineamientos de las metodologías aplicadas**.**

Valores por defecto de acuerdo a la clasificación del suelo: Según clasificación del suelo, el método ASSHTO propone los siguientes rangos de módulo resiliente (Mr)

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	RANGOS DE M_R (PSI)	VALOR TÍPICO M_R (PSI)
A-7-5	8,000 - 17,500	12,000
A-7-6	5,000 - 13,500	8,000

CLASIFIC. DEL MATERIAL	RANGOS DE M_R (PSI)	VALOR TÍPICO M_R (PSI)
CH	5,000 - 13,500	8,000
MH	8,000 - 17,500	11,500
CL	13,500 - 24,000	17,000
ML	17,000 - 25,500	20,000

Ilustración 10.Valores por defecto de Mr de acuerdo con la clasificación del suelo.

Tabla 23.Parámetros Método AASHTO caracterización dinámica de los materiales.

Parámetros Método AASHTO	
Parámetros	Valores
Serviciabilidad Inicial	4.2
Serviciabilidad Final	2.5
Confiabilidad (R%)	90%
Error de Diseño (So)	0.49
Tránsito (N)	10.732.974

El diseño de pavimento flexible con número estructural es un método utilizado para determinar la capacidad estructural de un pavimento flexible y asegurar que cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad necesarios para soportar las cargas del tráfico vehicular durante su vida útil. El número estructural es una medida de la capacidad del pavimento para soportar las cargas del tráfico y se basa en factores como la resistencia de las capas del pavimento, la rigidez del suelo subyacente y el tráfico esperado.

El diseño de pavimento flexible con número estructural se divide en dos etapas principales: la determinación del número de equivalencia de ejes estándar (ESAL, por sus siglas en inglés) y la selección de las capas del pavimento adecuadas para soportar las cargas del tráfico previsto.

En la primera etapa, se utiliza un modelo de tráfico para predecir el número de ESAL que se espera que soporte el pavimento durante su vida útil. Esto se basa en factores como el tipo de vehículos que circularán por la carretera, el volumen de tráfico y la duración prevista de la vida útil del pavimento. En la segunda etapa, se seleccionan las capas del pavimento adecuadas para soportar el número de ESAL previsto. Esto se realiza mediante el uso de tablas y gráficos que relacionan el número de ESAL con la resistencia y rigidez de cada capa del pavimento, y se eligen las capas que cumplan con los requisitos de resistencia y durabilidad para el número de ESAL previsto.

En resumen, el diseño de pavimento flexible con número estructural es un proceso complejo que implica la consideración de múltiples factores, pero es esencial para garantizar la seguridad, durabilidad y viabilidad económica de las carreteras y autopistas.

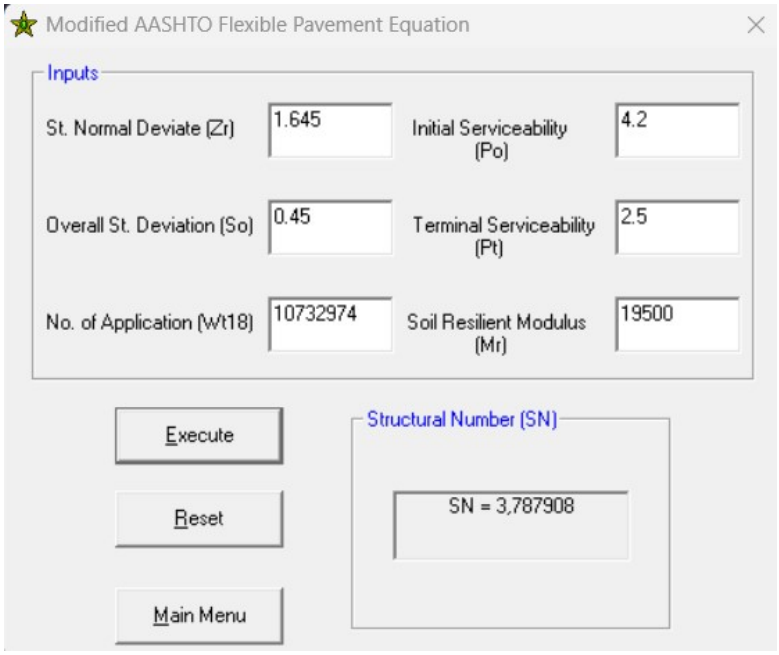


Ilustración 11.prediseño para encontrar número estructural de sub-rasante.

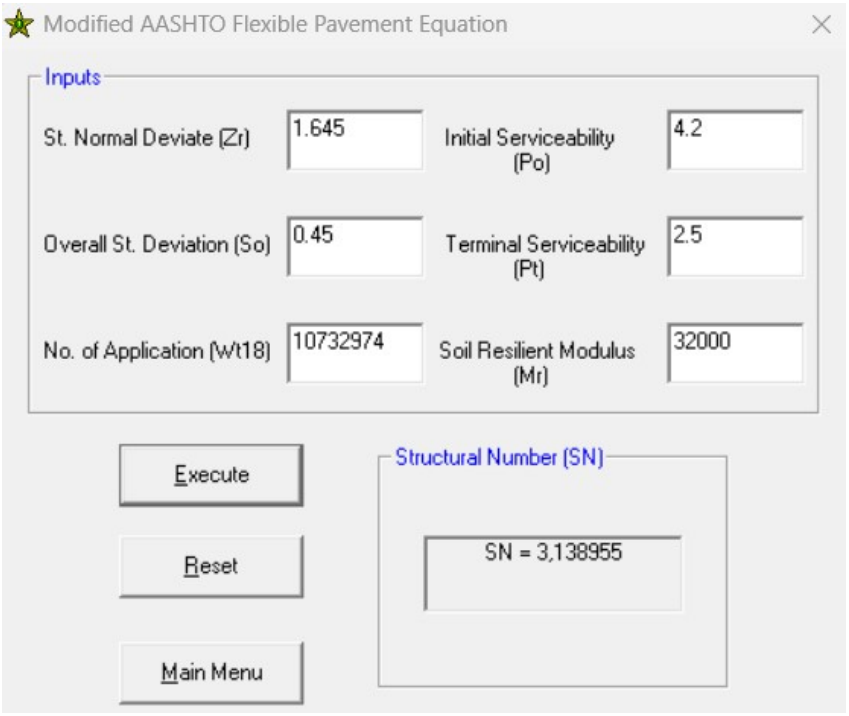


Ilustración 12.prediseño sub-base

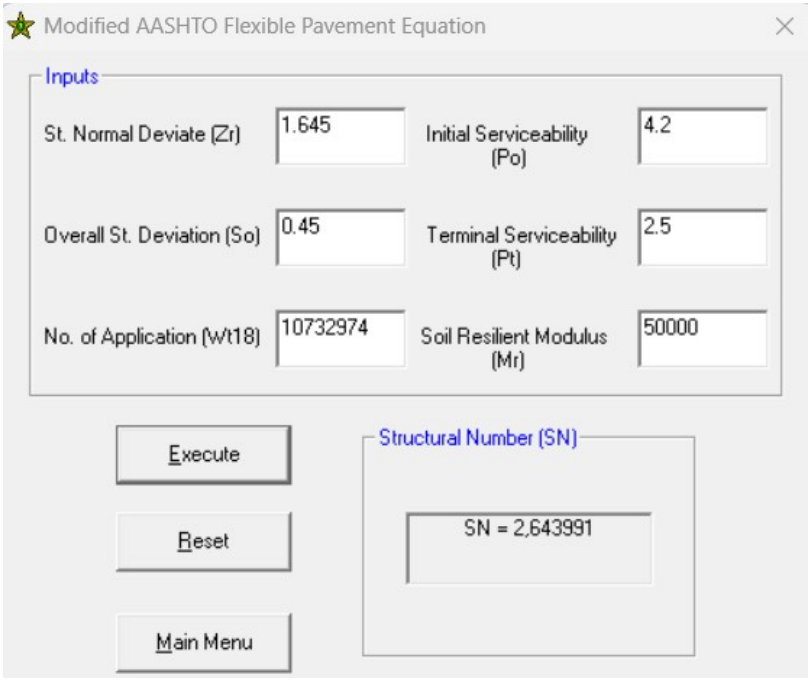


Ilustración 13. pre-diseño base granular.

Tabla 24.Valores típicos de MR para diferentes materiales.

Condición del Material	Mr (MPa)	Mr (psi)
Subrasante pobre o limosa, alta humedad	50	7,252
Subrasante media, CBR entre 5–10%	100	14,504
Subrasante buena, CBR > 15%	150	21,756
Base granular regular, compactación aceptable	250	36,259
Base granular bien graduada, compactada	350	50,763
Base granular de excelente calidad (triturada)	450	65,266
Base estabilizada con cemento (valor de referencia)	700	101,527

Utilizando el principio de protección de capas verificamos los espesores y el numero estructural requerido.

PREDISEÑO VARIANDO EL ESPESOR

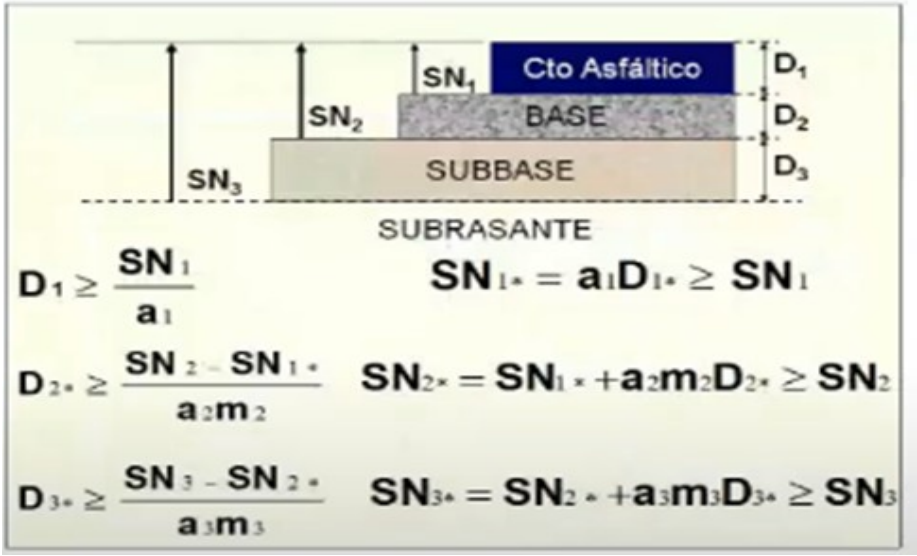


Ilustración 14.principio de protección de capas y numero estructural requerido.

Tabla 25. Prediseño

CAPA	MR	SN requerido	Coeficiente Estructural	Coeficiente de drenaje	H (pulgada)	H(cm) teórico	H (cm) real	SN REAL
CTO ASFAL			0.55		4.62	11.73	10	
BASE	55000	2.54	0.22	0.9	4.72	11.99	15	2.17
SUBBASE	32000	3.10	0.12	0.8	4.64	11.78	20	3.33
SUBRSANTE	19500	3.78						4.09
		9.42						9.59

CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

La tendencia mundial es desarrollar métodos de diseño empírico -mecanístico (M-E), debido a las deficiencias de los métodos empíricos, como el AASHTO - 93. El modelo de predicción WITCZAK del

módulo dinámico es un modelo matemático utilizado para predecir el comportamiento dinámico de pavimentos flexibles bajo cargas dinámicas, como las causadas por el tráfico vehicular. Este modelo se basa en el análisis de la respuesta de la estructura del pavimento en términos de desplazamientos, velocidades y aceleraciones.

El modelo de predicción WITCZAK utiliza la teoría de la elasticidad para modelar la respuesta del pavimento a las cargas dinámicas, y tiene en cuenta factores como la rigidez del suelo subyacente, la resistencia a la tracción del material del pavimento y las características del tráfico vehicular. El modelo también considera la interacción entre las capas del pavimento y la influencia del clima en el comportamiento del pavimento.
El modelo de predicción WITCZAK se utiliza comúnmente para predecir la vida útil y el rendimiento de los pavimentos flexibles, lo que permite a los ingenieros y responsables de mantenimiento planificar y realizar el mantenimiento preventivo de manera más efectiva. También se utiliza para el diseño y la evaluación de nuevas carreteras y para la optimización de la construcción de carreteras existentes.

Tabla 26.Calculo de modulo resiliente de materiales granulares izzat

CALCULO DE MODULO RESILIENTE DE MATERIALES GRANULARES IZZAT						
			CONCRETO ASFALTICO			
ESPESORES				MODULOS		
Cms	Pulgadas			PSI	Kg/cm2	Mpa
15.00	5.91		BASE GRANULAR	53527.7	3763.37	369.1
20.00	7.87		SUBBASE GRANULAR	28020.3	1970.02	193.2
MR	150		SUBRASANTE	19500.0	1370.99	134.4

Tabla 27.Estructura Propuesta.

ESTRUCTURA			
10	ER=1654 Mpa	U1=0.35	CA
15	E2=369.1 Mpa	U2=0.40	BASE
20	E3=193.2 Mpa	U3=0.45	SUBBASE
	Es=134.4 Mpa	U4=0.50	SUBRASANTE

MODELO MULTICAPA Y SOLICITACIONES DE DISEÑO

Se implementa el sofware libre para diseño considerando una estructura multicapa, esta programa es OPEN PAVE, El cálculo de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos en sistemas de capas elásticas se realiza mediante el uso de modelos matemáticos que representan el comportamiento mecánico de las diferentescapas que conforman el sistema. Estos modelos pueden ser analíticos o numéricos, y se basan

enlas propiedades mecánicas de los materiales y en las condiciones de carga a las que está sometido el sistema.

A continuación, se describen los pasos generales para realizar el cálculo de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos en un sistema de capas elásticas:

1. Definir la geometría del sistema de capas: Esto implica conocer el espesor y la posición de cada una de las capas que conforman el sistema. Estos datos se utilizan para definir el modelo matemático del sistema.
2. Caracterizar los materiales: Es necesario conocer las propiedades mecánicas de cada una de las capas, como la rigidez elástica (módulo de elasticidad) y el coeficiente de Poisson. Estos datos se utilizan para definir el modelo matemático del sistema.
3. Definir las condiciones de carga: Las condiciones de carga se refieren a las cargas vehiculares y peatonales que soportará el sistema de capas. Estas cargas se modelan como cargas distribuidas o como cargas puntuales.
4. Establecer las condiciones de contorno: Las condiciones de contorno se refieren a las restricciones o apoyos que se establecen en los bordes del sistema de capas. Estas condiciones pueden ser libres (sin restricciones), fijas (con restricciones) o mixtas.
5. Resolver el modelo matemático: Una vez definidos todos los parámetros anteriores, se procede a resolver el modelo matemático utilizando métodos analíticos o numéricos. En el caso de los métodos numéricos, se utiliza un software especializado como OpenPave.
6. Obtener los resultados: Los resultados del cálculo incluyen los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos en cada una de las capas que conforman el sistema. Estos resultados se utilizan para evaluar la capacidad de soporte del sistema de capas y para realizar el diseño de pavimentos.

Es indispensable conocer los puntos verticales para analisis de fatiga y ahuellamiento.

En la capa asfaltica tener en cuenta la deformacion maxima por traccion en su parte inferior. (fatiga).

En la Base Asfaltica es importante analizar la deformacion maxima por traccion en su parte inferior (fatiga), esfuerzos y deformaciones verticales en su parte intermedia desde el nivel superior (ahuellamiento).

En las Capas granulares es necesario verificar el esfuerzo y deformacion vertical en su parte superior (ahuellamiento) esfuerzo maximo por traccion en su parte inferior (traccion)

En la subrasante es necesario verificar deformacion vertical en su parte superior (ahuellamiento) esfuerzo vertical en su parte inferior (ahuellamiento)

CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN PUNTOS CRÍTICOS DEL MODELO ESTRUCTURAL ACORDE CON EL MODELO DE FATIGA DEL INSTITUTO DE ASFALTO.

Tabla 28.CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN PUNTOS CRÍTICOS DEL MODELO ESTRUCTURAL ACORDE CON EL MODELO DE FATIGA DEL INSTITUTO DE ASFALTO.

VERIFICACION ESTRUCTURAL

MODULO Mpa	1654	MODULO PSI	239892	Vol Bitumen	10		Vol Vacios	4.8					
K1	18.4	K2			3.445		K3	0.804					
M	-0.0572	C			0.877		DEFORMACION a				DEFORMACION a		
TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA EJE KN	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESION DE INFLADO Kg/cm2	PRESION DE INFLADO Kpa	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL CAPA DE RODADURA			EVALUACION ESTRUCTURAL SUBRASANTE		
								Deformacion Traccion	Repeticnes Admisibles	PORCENTAJE DE CONSUMO	Deformacion Compresion	Repeticnes Admisibles	PORCENTAJE DE CONSUMO
SIMPLE RUEDA SIMPLE	2.5	24.52	12.26	7.65	750	7.2	690505	1.50E-04	49145667	1.4	6.50E-05	7606056235	0
	4	39.23	19.61	7.65	750	9.1	2438690	2.03E-04	17338659	14.1	1.03E-04	967207749.2	0
	6	58.84	29.42	7.65	750	11.2	1457734	2.51E-04	8273669	17.6	1.53E-04	165146777.3	1
SIMPLE RUEDA DOBLE	6	58.84	14.71	7.65	750	7.9	3129195	1.91E-04	21286656	14.7	1.37E-04	273360353.7	1
	11	107.87	26.97	7.65	750	10.7	438416	3.68E-04	2219290	19.8	3.57E-04	3707322.439	12
TANDEM RUEDA DOBLE	21	205.94	25.74	7.65	750	10.5	279490	3.54E-04	2532689	11.0	3.43E-04	4411920.496	6
	22	215.75	26.97	7.65	750	10.7	879572	3.64E-04	2305316	38.2	3.59E-04	3596073.457	24
TRIDEM RUEDA DOBLE													
	24	235.36	19.61	7.65	750	9.1	10960	2.42E-04	9440814	0.1	2.54E-04	17023319.8	0.06
CONSUMOS TOTALES										116.8			45
EJE EQUIVALENTE	8.2	80	20	7.65	750	9.2	10732974	2.34E-04	10548393	102	1.85E-04	70678246.09	15

Ilustración 15. estructura propuesta en prediseño no cumple por deformaciones en capa de rodadura.

VERIFICACION ESTRUCTURAL

MODULO Mpa	1654	MODULO PSI	239892	Vol Bitumen	13		Vol Vacios	4.8					
K1	18.4	K2			3.445		K3	0.804					
M	0.2073	C			1.612		DEFORMACION a				DEFORMACION a		
TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA EJE KN	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESION DE INFLADO Kg/cm2	PRESION DE INFLADO Kpa	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL CAPA DE RODADURA			EVALUACION ESTRUCTURAL SUBRASANTE		
								Deformacion Traccion	Repeticnes Admisibles	PORCENTAJE DE CONSUMO	Deformacion Compresion	Repeticnes Admisibles	PORCENTAJE DE CONSUMO
SIMPLE RUEDA SIMPLE	2.5	24.52	12.26	7.65	750	7.2	690505	1.50E-04	90374608	0.8	6.50E-05	7606056235	0
	4	39.23	19.61	7.65	750	9.1	2438690	2.03E-04	31884285	7.6	1.03E-04	967207749.2	0
	6	58.84	29.42	7.65	750	11.2	1457734	2.51E-04	15214558	9.6	1.53E-04	165146777.3	1
SIMPLE RUEDA DOBLE	6	58.84	14.71	7.65	750	7.9	3129195	1.91E-04	39144308	8.0	1.37E-04	273360353.7	1
	11	107.87	26.97	7.65	750	10.7	438416	3.68E-04	4081082	10.7	3.57E-04	3707322.439	12
TANDEM RUEDA DOBLE	21	205.94	25.74	7.65	750	10.5	279490	3.54E-04	4657394	6.0	3.43E-04	4411920.496	6
	22	215.75	26.97	7.65	750	10.7	879572	3.64E-04	4239275	20.7	3.59E-04	3596073.457	24
TRIDEM RUEDA DOBLE													
	24	235.36	19.61	7.65	750	9.1	10960	2.42E-04	17360836	0.1	2.54E-04	17023319.8	0.06
CONSUMOS TOTALES										63.5			45
EJE EQUIVALENTE	8.2	80	20	7.65	750	9.2	10732974	2.34E-04	19397577	55	1.85E-04	70678246.09	15

Ilustración 16. Estructura requerida de 13 cm de asfalto con mejoramiento de capas granulares base 20 cm y subabse 30 cm

Tabla 29.CHEQUEO MODELO ESTRUCTURAL ACORDE CON EL MODELO DE FATIGA DEL INSTITUTO DE ASFALTO.

VERIFICACION ESTRUCTURAL										
CAPA ASFALTICA Diferencia Def a - Def b				SUBRASANTE Diferencia Def a - Def b				CONSUMOS TOTALES	
EVALUACION ESTRUCTURAL				EVALUACION ESTRUCTURAL					
Deformacion b	Deformacion Traccion a - b	Repeticnes Admisibles	PORCENTAJE DE COMSUMO	Deformacion b	Deformacion Compresion a - b	Repeticnes Admisibles	PORCENTAJE DE CONSUMO	ANALISIS FATIGA	ANALISIS AHUELLAMIENTO
								1.4	0
								14.1	0
								17.6	1
									0
								14.7	1
								19.8	12
0	3.54E-04	2532689	11.0	2.06E-04	1.37E-04	2.67E+08	0.1	22.1	6
0	3.64E-04	2305316	38.2	2.17E-04	1.42E-04	2.27E+08	0.4	76.3	25
									0
0	2.42E-04	9440814	0.2	1.63E-04	9.10E-05	1.69E+09	0.0	0.3	0
			49.4				0	166.3	45

Ilustración 17. verificación estructural prediseño. (no cumple)

VERIFICACION ESTRUCTURAL										
CAPA ASFALTICA Diferencia Def a - Def b				SUBRASANTE Diferencia Def a - Def b				CONSUMOS TOTALES	
EVALUACION ESTRUCTURAL				EVALUACION ESTRUCTURAL					
Deformacion b	Deformacion Traccion a - b	Repeticnes Admisibles	PORCENTAJE DE COMSUMO	Deformacion b	Deformacion Compresion a - b	Repeticnes Admisibles	PORCENTAJE DE CONSUMO	ANALISIS FATIGA	ANALISIS AHUELLAMIENTO
								0.8	0
								7.6	0
								9.6	1
									0
								8.0	1
								10.7	12
0	3.54E-04	4657394	6.0	2.06E-04	1.37E-04	2.67E+08	0.1	12.0	6
0	3.64E-04	4239275	20.7	2.17E-04	1.42E-04	2.27E+08	0.4	41.5	25
									0
0	2.42E-04	17360836	0.1	1.63E-04	9.10E-05	1.69E+09	0.0	0.2	0
			26.9				0	90.4	45

Ilustración 18. Propuesta de 13 cm asfalto, 20 cm base y 30 cm de subbase aprobado estructuralmente.

4.4. ALTERNATIVA DE 12 CM PARA PAVIMENTO FLEXIBLE

Tabla 30.CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN PUNTOS CRÍTICOS DEL MODELO ESTRUCTURAL ACORDE CON EL MODELO DE FATIGA DEL INSTITUTO DE ASFALTO

VERIFICACION ESTRUCTURAL

MODULO Mpa	1654	MODULO PSI	239892	Vol Bitumen	12		Vol Vacios	4.8					
K1	18.4	K2			3.445		K3	0.804					
M	0.1296	C			1.348		DEFORMACION a				DEFORMACION a		
TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA EJE KN	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESION DE INFLADO Kg/cm2	PRESION DE INFLADO Kpa	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL CAPA DE RODADURA Deformacion Traccion	Repeticnes Admisibles	PORCENTAJE DE CONSUMO	EVALUACION ESTRUCTURAL SUBRASANTE Deformacion Compresion	Repeticnes Admisibles	PORCENTAJE DE CONSUMO
SIMPLE RUEDA SIMPLE	2.5	24.52	12.26	7.65	750	7.2	690505	1.50E-04	75571462	0.9	6.50E-05	7606056235	0
	4	39.23	19.61	7.65	750	9.1	2438690	2.03E-04	26661715	9.1	1.03E-04	967207749.2	0
	6	58.84	29.42	7.65	750	11.2	1457734	2.51E-04	12722449	11.5	1.53E-04	165146777.3	1
SIMPLE RUEDA DOBLE	6	58.84	14.71	7.65	750	7.9	3129195	1.91E-04	32732564	9.6	1.37E-04	273360353.7	1
	11	107.87	26.97	7.65	750	10.7	438416	3.68E-04	3412610	12.8	3.57E-04	3707322.439	12
TANDEM RUEDA DOBLE	21	205.94	25.74	7.65	750	10.5	279490	3.54E-04	3894524	7.2	3.43E-04	4411920.496	6
	22	215.75	26.97	7.65	750	10.7	879572	3.64E-04	3544892	24.8	3.59E-04	3596073.457	24
TRIDEM RUEDA DOBLE													
	24	235.36	19.61	7.65	750	9.1	10960	2.42E-04	14517173	0.1	2.54E-04	17023319.8	0.06
CONSUMOS TOTALES										76.0			45
EJE EQUIVALENTE	8.2	80	20	7.65	750	9.2	10732974	2.34E-04	16220300	66	1.85E-04	70678246.09	15

VERIFICACION ESTRUCTURAL

CAPA ASFALTICA Diferencia Def a - Def b				SUBRASANTE Diferencia Def a - Def b				CONSUMOS TOTALES	
EVALUACION ESTRUCTURAL				EVALUACION ESTRUCTURAL					
Deformacion b	Deformacion Traccion a - b	Repeticnes Admisibles	PORCENTAJE DE COMSUMO	Deformacion b	Deformacion Compresion a - b	Repeticnes Admisibles	PORCENTAJE DE CONSUMO	ANALISIS FATIGA	ANALISIS AHUELLAMIENTO
								0.9	0
								9.1	0
								11.5	1
									0
								9.6	1
								12.8	12
0	3.54E-04	3894524	7.2	2.06E-04	1.37E-04	2.67E+08	0.1	14.4	6
0	3.64E-04	3544892	24.8	2.17E-04	1.42E-04	2.27E+08	0.4	49.6	25
									0
0	2.42E-04	14517173	0.2	1.63E-04	9.10E-05	1.69E+09	0.0	0.2	0
			32.1				0	108.1	45

Ilustración 19.Propuesta de 12 cm asfalto, 20 cm base y 30 cm de subbase aprobado estructuralmente. (CUMPLE PERO SE DEBE GENERAR UN TRATAMIENTO A LA SUBRASANTE E INCREMENTAR EL MODULO Mpa DEL ASFALTO)

CONSIDERACIONES PARA QUE PUEDA IMPLEMENTARSE:

Estabilización con Cemento (Suelo-Cemento):

- **Descripción:** Se mezcla el suelo existente con una proporción de cemento Portland (generalmente entre el 2% y el 8% en peso seco del suelo) y agua, seguido de compactación. El cemento hidrata y une las partículas del suelo, aumentando significativamente la rigidez, la resistencia (y por ende el CBR) y reduciendo la susceptibilidad al agua.
- **Aplicabilidad:** Muy efectivo en suelos granulares y arenosos, e incluso en algunos suelos arcillosos de baja a media plasticidad. Dado que los CBR aún se clasifican como adecuados para capas de subbase granular, la estabilización con cemento podría ser muy efectiva, aunque incrementaría los costos.

5. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Contrastando los métodos aplicados y los diferentes análisis de consumo podemos concluir lo siguiente:

1- El método INA (Instituto de asfalto) utilizando el espectro de carga es mucho más seguro debido a que los factores daños que se implementan son agresivos, lo que al momento de diseñar se traduce en mayor confiabilidad.
2- Gracias a las características dinámicas de las diferentes capas se podría llegar a obtener una reducción de espesores, recordando siempre la importancia de la relación modular y las proporciones entre capas.
3- Es necesario contar con diseño Marshall pues la composición volumétrica de la mezcla asfáltica incide en el agrietamiento.
4- Los mayores niveles de agrietamiento generalmente ocurren en capas de Carpeta asfáltica de 3 y 5 pulgadas.
5- Los CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN PUNTOS CRÍTICOS DEL MODELO ESTRUCTURAL ACORDE CON EL MODELO DE FATIGA DEL INSTITUTO DE ASFALTO indican la siguiente estructura cumplirá con los requerimientos y solicitudes del tránsito.

ESTRUCTURA			
ESPESOR	**MODULO**	**POISSON**	**MATERIAL**
13	**ER=1654 Mpa**	**U1=0.35**	**CA**
20	**E2=369.1 Mpa**	**U2=0.40**	**BASE**
30	**E3=193.2 Mpa**	**U3=0.45**	**SUBBASE**
	Es=134.4 Mpa	**U4=0.50**	**SUBRASANTE**

6- Al diseñar un pavimento flexible existen gran cantidad de programas que se implementan hoy en día, sin embargo, se debe tener criterio y conceptos claros a la hora de diseñar evitando hacer ejercicios matemáticos y siendo racional.
7- Es valido aclarar que capas de carpeta asfáltica gruesas de alta rigidez funcionan adecuadamente en este proyecto, sin embargo, al ser una limitante la cantidad de asfalto por términos de costo y producción se recomienda implementar una Mezcla MDC-19 normalizada y aditivada para incrementar sus propiedades viscoelásticas y mejorar su adherencia a los agregados.

8- Las capas inferiores al asfalto se ven afectadas por la humedad, por lo tanto, se recomienda implementar un drenaje optimo, con obras de drenaje como cunetas y garantizar la pendiente transversal mínima requerida es decir no menor a 0,05%.
9- Resulta indispensable mejorar el módulo de la subrasante, pues esto ayudara a controlar los ahuellamientos en ella.
10- Se implemento el programa OpenPave de código abierto que utiliza un enfoque de elementos finitos para modelar el comportamiento de los pavimentos flexibles. Permite predecir cómo se comportará un pavimento flexible bajo diferentes condiciones de carga y climáticas.
11- La capa de asfalto de 10 cm no tiene suficiente espesor para soportar la carga del tráfico y proporcionar una superficie de conducción suave y cómoda.
12- MDC 19 normalizada establece las características técnicas y las proporciones de los materiales que se deben utilizar para producir mezclas asfálticas de alta calidad, como la granulometría de los agregados pétreos, la cantidad de asfalto y el contenido de aire.
13- La mezcla asfáltica MDC 19 normalizada está diseñada para cumplir con las normas técnicas establecidas por las autoridades reguladoras y es adecuada para su uso en aplicaciones estándar.
14- La mezcla asfáltica MDC 19 normalizada ofrece una serie de ventajas técnicas y económicas en comparación con una mezcla asfáltica convencional, incluyendo una calidad uniforme y predecible y una proporción adecuada de materiales para un mejor rendimiento y durabilidad en la pavimentación de carreteras y vías.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- A partir del análisis estructural y geotécnico, se determinó que gran parte del tramo vial presenta deterioro en la estructura del pavimento flexible, con presencia de baches, piel de cocodrilo y agrietamientos, lo cual justifica la necesidad de rehabilitación profunda en las zonas afectadas.

- Se evaluaron espesores de asfalto **de 10 cm, 12 cm y 13 cm** utilizando el software OpenPave, que permitió analizar detalladamente las propiedades mecánicas, como el módulo de elasticidad, la relación de Poisson y las microdeformaciones generadas bajo carga. Los resultados indicaron que la alternativa de 10 cm fue totalmente descartada debido a su insuficiente capacidad estructural para soportar las solicitaciones previstas. Por otro lado, el espesor de 12 cm, aunque técnicamente viable, implicaría costos elevados y una mayor susceptibilidad a microdeformaciones, lo que podría afectar su durabilidad y rentabilidad. Finalmente, la opción de 13 cm de asfalto, complementada con una base de 20 cm y una subbase de 30 cm, mostró una completa viabilidad para la rehabilitación, ofreciendo un desempeño adecuado, una reducción significativa en las microdeformaciones y una solución estructural eficiente y rentable.

- La Alternativa basada en el método AASHTO 93, propone una estructura con 13 cm de carpeta asfáltica MDC-19, 20 cm de base granular y 30 cm de subbase, complementada por un tratamiento específico para zonas deterioradas mediante excavación y reposición de capas estructurales, lo cual ofrece un equilibrio entre resistencia y economía.

- Para el resto del tramo, se recomienda instalar una sobrecarpeta hasta llegar al espesor de diseño, dado que las capas de soporte de la estructura existente se encuentran en óptimas condiciones y coincide

con la estructura de pavimento flexible diseñada. No obstante, en los sectores con pendientes en ascenso y descensos pronunciados donde existan zonas de frenado y aproximaciones a pasos urbanos, se recomienda hacer **microfresado** para corregir deformaciones superficiales y mejorar la adeherencia con la nueva capa de asfalto a instalar.

- En los sitios críticos, se debe reemplazar por completo la estructura de pavimento sin la posibilidad de hacer el microfresado.

- Donde existan sitios críticos se debe reemplazar la estructura de pavimento para la totalidad de la calzada vial.

- Para los tramos donde se ha previsto el bacheo de reparación de **pavimento flexible, incluyendo las areas donde se sellen grietas y fisuras, se recomienda incorporar una geomalla biaxial** entre las capas de asfalto para evitar el reflejo de las reparaciones. Esta ubicación es estratégica para reforzar la base, mejorar la distribución de las cargas vehiculares, y controlar la formación de deformaciones permanentes y grietas por fatiga, aportando mayor estabilidad y resistencia al conjunto estructural.

- Verificar en campo la compactación de las capas de terraplén, subbase y base antes de colocar la carpeta asfáltica, especialmente en zonas intervenidas, para asegurar la capacidad de soporte requerida.

- Realizar un plan de mantenimiento periódico, incluyendo sellado de fisuras y control de drenajes, a fin de preservar la vida útil del pavimento diseñado.

ANEXOS

OpenPave.org
Open Source Pavement Engineering

Exact | Quick and Dirty
Default | Boussinesq MET
Fast | Numerical MET
Vertical Deflection Only

v1.3
2017/11/26

Layer	Thickness (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction
1	130	1654	0.35	1
2	200	369.1	0.4	1
3	300	193.2	0.45	1
4	0	134.4	0.5	1

Location	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)
1	0	0	12.26	750	72.133942

Point	1	2	
X (mm)	0	0	
Y (mm)	0	0	
Z(mm)	130	630	
Layer	1	3	
δ_x (mm)	0	0	
δ_y (mm)	0	0	
δ_z (mm)	0.1218689	0.0550463	
σ_{xx} (kPa)	305.67985	3.6170375	
σ_{yy} (kPa)	305.67985	3.6170375	
σ_{zz} (kPa)	-139.937	-9.299825	
τ_{xy} (kPa)	0	0	
τ_{xz} (kPa)	0	0	
τ_{yz} (kPa)	0	0	
ε_{xx} (με)	149.73993	31.958032	
ε_{yy} (με)	149.73993	31.958032	
ε_{zz} (με)	-213.9739	-64.98529	
γ_{xy} (με)	0	0	
γ_{xz} (με)	0	0	
γ_{yz} (με)	0	0	
σ_1 (kPa)	-139.937	-9.299825	
σ_2 (kPa)	305.67985	3.6170375	
σ_3 (kPa)	305.67985	3.6170375	
τ_1 (kPa)	0	0	
τ_2 (kPa)	222.8084	6.4584312	
τ_3 (kPa)	222.8084	6.4584312	
ε_1 (με)	-213.9739	-64.98529	
ε_2 (με)	149.73993	31.958032	
ε_3 (με)	149.73993	31.958032	
γ_1 (με)	0	0	
γ_2 (με)	363.71384	96.943325	
γ_3 (με)	363.71384	96.943325	

OpenPave.org
Open Source Pavement Engineering

Exact | Quick and Dirty
Default | Boussinesq MET
Fast | Numerical MET
Vertical Deflection Only

v1.3
2017/11/26

Layer	Thickness (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction
1	130	1654	0.35	1
2	200	369.1	0.4	1
3	300	193.2	0.45	1
4	0	134.4	0.5	1

Location	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)
1	0	0	19.61	750	91.229066

Point	1	2	
X (mm)	0	0	
Y (mm)	0	0	
Z(mm)	130	630	
Layer	1	3	
δ_x (mm)	0	0	
δ_y (mm)	0	0	
δ_z (mm)	0.1894009	0.0878305	
σ_{xx} (kPa)	409.33645	5.70724	
σ_{yy} (kPa)	409.33645	5.70724	
σ_{zz} (kPa)	-197.3198	-14.76452	
τ_{xy} (kPa)	0	0	
τ_{xz} (kPa)	0	0	
τ_{yz} (kPa)	0	0	
ε_{xx} (με)	202.61828	50.636736	
ε_{yy} (με)	202.61828	50.636736	
ε_{zz} (με)	-292.5365	-103.0074	
γ_{xy} (με)	0	0	
γ_{xz} (με)	0	0	
γ_{yz} (με)	0	0	
σ_1 (kPa)	-197.3198	-14.76452	
σ_2 (kPa)	409.33645	5.70724	
σ_3 (kPa)	409.33645	5.70724	
τ_1 (kPa)	0	0	
τ_2 (kPa)	303.32815	10.235882	
τ_3 (kPa)	303.32815	10.235882	
ε_1 (με)	-292.5365	-103.0074	
ε_2 (με)	202.61828	50.636736	
ε_3 (με)	202.61828	50.636736	
γ_1 (με)	0	0	
γ_2 (με)	495.15477	153.64418	
γ_3 (με)	495.15477	153.64418	

INFORME FINAL GEOTÉCNICO Y DISEÑO DE PAVIMENTO



OpenPave.org
Open Source Pavement Engineering

(○) Exact (○) Quick and Dirty
(●) Default (○) Boussinesq MET
(○) Fast (○) Numerical MET

[ ] Vertical Deflection Only

v1.3
2017/11/26

Layer	Thickness (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction
1	130	1654	0.35	1
2	200	369.1	0.4	1
3	300	193.2	0.45	1
4	0	134.4	0.5	1

Location	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)
1	0	0	29.42	750	111.74183

Point	1	2	
X (mm)	0	0	
Y (mm)	0	0	
Z(mm)	130	630	
Layer	1	3	
δ_x (mm)	0	0	
δ_y (mm)	0	0	
δ_z (mm)	0.2748385	0.1313008	
σ_{xx} (kPa)	500.83556	8.4282629	
σ_{yy} (kPa)	500.83556	8.4282629	
σ_{zz} (kPa)	-256.7839	-21.94983	
τ_{xy} (kPa)	0	0	
τ_{xz} (kPa)	0	0	
τ_{yz} (kPa)	0	0	
ε_{xx} (με)	251.1593	75.11889	
ε_{yy} (με)	251.1593	75.11889	
ε_{zz} (με)	-367.2121	-152.8741	
γ_{xy} (με)	0	0	
γ_{xz} (με)	0	0	
γ_{yz} (με)	0	0	
σ_1 (kPa)	-256.7839	-21.94983	
σ_2 (kPa)	500.83556	8.4282629	
σ_3 (kPa)	500.83556	8.4282629	
τ_1 (kPa)	0	0	
τ_2 (kPa)	378.80974	15.189048	
τ_3 (kPa)	378.80974	15.189048	
ε_1 (με)	-367.2121	-152.8741	
ε_2 (με)	251.1593	75.11889	
ε_3 (με)	251.1593	75.11889	
γ_1 (με)	0	0	
γ_2 (με)	618.3714	227.99296	
γ_3 (με)	618.3714	227.99296	

OpenPave.org
Open Source Pavement Engineering

Exact | Quick and Dirty | Default | Boussinesq MET | Fast | Numerical MET | Vertical Deflection Only

v1.3
2017/11/26

Layer	Thickness (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction
1	130	1654	0.35	1
2	200	369.1	0.4	1
3	300	193.2	0.45	1
4	0	134.4	0.5	1

Location	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)
1	0	0	14.71	750	79.013403
2	320	0	14.71	750	79.013403

Point	1	2	3	4	
X (mm)	0	160	0	160	
Y (mm)	0	0	0	0	
Z(mm)	130	130	630	630	
Layer	1	1	3	3	
δ_x (mm)	-0.006865	0	-0.009525	0	
δ_y (mm)	0	0	0	0	
δ_z (mm)	0.2211181	0.2183443	0.1229396	0.1268047	
σ_{xx} (kPa)	301.16868	-36.75406	5.3499072	6.4679945	
σ_{yy} (kPa)	362.00991	202.6395	7.1537901	7.7137805	
σ_{zz} (kPa)	-169.0173	-92.11476	-18.63825	-20.0091	
τ_{xy} (kPa)	0	0	0	0	
τ_{xz} (kPa)	14.699914	0	2.8440922	0	
τ_{yz} (kPa)	0	0	0	0	
ε_{xx} (με)	141.24623	-45.60926	54.440551	62.116397	
ε_{yy} (με)	190.90504	149.78452	67.97901	71.46624	
ε_{zz} (με)	-242.5211	-90.79484	-125.5948	-136.5989	
γ_{xy} (με)	0	0	0	0	
γ_{xz} (με)	23.996232	0	42.690824	0	
γ_{yz} (με)	0	0	0	0	
σ_1 (kPa)	-169.4764	-92.11476	-18.97084	-20.0091	
σ_2 (kPa)	301.62781	-36.75406	5.6824981	6.4679945	
σ_3 (kPa)	362.00991	202.6395	7.1537901	7.7137805	
τ_1 (kPa)	30.191051	27.680351	0.735646	0.622893	
τ_2 (kPa)	235.55213	119.69678	12.32667	13.238547	
τ_3 (kPa)	265.74318	147.37713	13.062316	13.86144	
ε_1 (με)	-242.8958	-90.79484	-128.0909	-136.5989	
ε_2 (με)	141.62098	-45.60926	56.936704	62.116397	
ε_3 (με)	190.90504	149.78452	67.97901	71.46624	
γ_1 (με)	49.284062	45.18558	11.042305	9.3498431	
γ_2 (με)	384.51677	195.39378	185.02765	198.71525	
γ_3 (με)	433.80084	240.57936	196.06996	208.06509	

OpenPave.org
Open Source Pavement Engineering

Exact | Quick and Dirty | Default | Boussinesq MET | Fast | Numerical MET | Vertical Deflection Only

v1.3
2017/11/26

Layer	Thickness (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction
1	130	1400	0.35	1
2	200	262	0.4	1
3	300	152	0.45	1
4	0	77	0.5	1

Location	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)
1	0	0	26.96	750	106.96812
2	320	0	26.96	750	106.96812

Point	1	2	3	4	
X (mm)	0	160	0	160	
Y (mm)	0	0	0	0	
Z(mm)	130	130	630	630	
Layer	1	1	3	3	
δ_x (mm)	-0.017447	0	-0.026499	0	
δ_y (mm)	0	0	0	0	
δ_z (mm)	0.5858326	0.594133	0.3625216	0.3728803	
σ_{xx} (kPa)	470.55168	39.01706	20.830695	23.823102	
σ_{yy} (kPa)	594.81639	434.05611	24.542264	26.345821	
σ_{zz} (kPa)	-243.0404	-172.0912	-29.6164	-31.68176	
τ_{xy} (kPa)	0	0	0	0	
τ_{xz} (kPa)	26.85553	0	4.3973768	0	
τ_{yz} (kPa)	0	0	0	0	
ε_{xx} (με)	248.16435	-37.6219	152.06617	172.52812	
ε_{yy} (με)	367.99103	343.30861	187.47257	196.59353	
ε_{zz} (με)	-439.9423	-241.1906	-329.1726	-356.959	
γ_{xy} (με)	0	0	0	0	
γ_{xz} (με)	51.792807	0	83.89732	0	
γ_{yz} (με)	0	0	0	0	
σ_1 (kPa)	-244.0497	-172.0912	-29.99684	-31.68176	
σ_2 (kPa)	471.56094	39.01706	21.211137	23.823102	
σ_3 (kPa)	594.81639	434.05611	24.542264	26.345821	
τ_1 (kPa)	61.627724	105.55412	1.6655632	1.2613595	
τ_2 (kPa)	357.8053	197.51952	25.60399	27.752431	
τ_3 (kPa)	419.43302	303.07365	27.269553	29.01379	
ε_1 (με)	-440.9155	-241.1906	-332.8018	-356.959	
ε_2 (με)	249.13756	-37.6219	155.69538	172.52812	
ε_3 (με)	367.99103	343.30861	187.47257	196.59353	
γ_1 (με)	118.85347	203.56867	31.777193	24.065411	
γ_2 (με)	690.05308	380.93051	488.49718	529.48716	
γ_3 (με)	808.90655	584.49918	520.27437	553.55257	

OpenPave.org
Open Source Pavement Engineering

Exact | Quick and Dirty
Default | Boussinesq MET
Fast | Numerical MET
Vertical Deflection Only

v1.3
2017/11/26

Layer	Thickness (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction
1	130	1654	0.35	1
2	200	369.1	0.4	1
3	300	193.2	0.45	1
4	0	134.4	0.5	1

Location	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)
1	0	0	19.61	750	91.229066
2	320	0	19.61	750	91.229066
3	0	1200	19.61	750	91.229066
4	320	1200	19.61	750	91.229066
5	0	2400	19.61	750	91.229066
6	320	2400	19.61	750	91.229066

Point	1	2	3	4	5	6	7	8
X (mm)	0	160	0	160	0	160	0	160
Y (mm)	0	0	600	600	0	0	600	600
Z(mm)	130	130	130	130	630	630	630	630
Layer	1	1	1	1	3	3	3	3
δ_x (mm)	-0.012205	0	-0.003749	0	-0.023394	0	-0.022981	0
δ_y (mm)	-0.001432	-0.001493	-0.000132	-0.00014	-0.043823	-0.044422	-0.01944	-0.019631
δ_z (mm)	0.5812393	0.5872879	0.4843446	0.4935422	0.4287854	0.4367688	0.4506889	0.457237
σ_{xx} (kPa)	496.85948	62.651513	6.356344	11.34826	10.943547	12.582975	7.6300496	8.7129023
σ_{yy} (kPa)	596.69513	405.42699	-95.15602	-103.5416	7.2709017	8.0267449	-5.40318	-5.607396
σ_{zz} (kPa)	-173.2753	-113.4186	-5.247765	-5.65663	-22.36838	-23.73964	-16.93345	-17.64633
τ_{xy} (kPa)	-1.096301	0	-0.135424	0	-0.664029	0	-0.212567	0
τ_{xz} (kPa)	21.078872	0	4.5238767	0	3.1837512	0	2.3416494	0
τ_{yz} (kPa)	1.2203484	1.2785236	0.0300111	0.0348248	2.1598664	2.2126392	0.6609484	0.6717478
ε_{xx} (με)	174.33127	-19.77571	20.748835	24.783825	136.44163	151.18291	136.01178	147.51598
ε_{yy} (με)	241.72033	211.59773	-47.77201	-52.76685	95.477513	100.36342	-9.358856	-12.21042
ε_{zz} (με)	-278.0097	-138.623	12.916061	13.305524	-235.1145	-253.954	-137.9657	-146.4908
γ_{xy} (με)	-1.480006	0	-0.182822	0	-14.81296	0	-4.741884	0
γ_{xz} (με)	28.456477	0	6.1072336	0	71.022141	0	52.236795	0
γ_{yz} (με)	1.6474703	1.7260069	0.040515	0.0470134	48.181636	49.358873	14.744234	14.985142
σ_1 (kPa)	-173.9397	-113.4217	-95.15622	-103.5416	-22.83263	-23.89302	-17.19368	-17.68369
σ_2 (kPa)	497.51058	62.651513	-6.802913	-5.656618	7.3797295	8.1801223	-5.365875	-5.570029
σ_3 (kPa)	596.70844	405.43014	7.9116868	11.34826	11.298969	12.582975	7.8529748	8.7129023
τ_1 (kPa)	49.598929	88.036629	7.3572998	8.5024392	1.9596198	2.2014263	5.9139004	6.0568316
τ_2 (kPa)	335.72516	171.38931	44.176653	48.94251	15.10618	16.036571	6.6094249	7.1414659
τ_3 (kPa)	385.32408	259.42594	51.533953	57.444949	17.0658	18.237997	12.523325	13.198297
ε_1 (με)	-278.4582	-138.6252	-47.77214	-52.76686	-240.2926	-255.6647	-140.8682	-146.9076
ε_2 (με)	174.77077	-19.77571	11.866337	13.305532	96.691361	102.07417	-8.942765	-11.79364
ε_3 (με)	241.72932	211.59986	21.798691	24.783825	140.40596	151.18291	138.49825	147.51598
γ_1 (με)	66.958554	118.84945	9.9323547	11.478293	43.714595	49.108742	131.92547	135.11394
γ_2 (με)	453.22896	231.37557	59.638481	66.072389	336.98401	357.73889	147.44102	159.30962
γ_3 (με)	520.18751	350.22502	69.570836	77.550681	380.69861	406.84764	279.36649	294.42356

OpenPave.org
Open Source Pavement Engineering

Exact | Quick and Dirty | Default | Boussinesq MET | Fast | Numerical MET | Vertical Deflection Only

v1.3
2017/11/26

Layer	Thickness (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction
1	130	1654	0.35	1
2	200	369.1	0.4	1
3	300	193.2	0.45	1
4	0	134.4	0.5	1

Location	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)
1	0	0	20	750	92.131773
2	320	0	20	750	92.131773

Point	1	2	3	4	
X (mm)	0	160	0	160	
Y (mm)	0	0	0	0	
Z(mm)	130	130	630	630	
Layer	1	1	3	3	
δ_x (mm)	-0.009314	0	-0.012891	0	
δ_y (mm)	0	0	0	0	
δ_z (mm)	0.2967007	0.296253	0.166901	0.172128	
σ_{xx} (kPa)	355.41211	-27.88279	7.2228023	8.7337017	
σ_{yy} (kPa)	437.45583	273.82787	9.6495054	10.402843	
σ_{zz} (kPa)	-211.6426	-127.8742	-25.2374	-27.08864	
τ_{xy} (kPa)	0	0	0	0	
τ_{xz} (kPa)	20.03413	0	3.8444911	0	
τ_{yz} (kPa)	0	0	0	0	
ε_{xx} (με)	167.09641	-47.7428	73.692319	84.069931	
ε_{yy} (με)	234.06076	198.5144	91.905152	96.597129	
ε_{zz} (με)	-295.7354	-129.3561	-169.9272	-184.7831	
γ_{xy} (με)	0	0	0	0	
γ_{xz} (με)	32.703839	0	57.707164	0	
γ_{yz} (με)	0	0	0	0	
σ_1 (kPa)	-212.3495	-127.8742	-25.68652	-27.08864	
σ_2 (kPa)	356.11903	-27.88279	7.6719186	8.7337017	
σ_3 (kPa)	437.45583	273.82787	9.6495054	10.402843	
τ_1 (kPa)	40.6684	49.995693	0.9887934	0.8345706	
τ_2 (kPa)	284.23427	150.85533	16.679219	17.911171	
τ_3 (kPa)	324.90267	200.85102	17.668012	18.745742	
ε_1 (με)	-296.3124	-129.3561	-173.2979	-184.7831	
ε_2 (με)	167.67341	-47.7428	77.063015	84.069931	
ε_3 (με)	234.06076	198.5144	91.905152	96.597129	
γ_1 (με)	66.387352	81.613283	14.842137	12.527198	
γ_2 (με)	463.98581	246.25719	250.36094	268.85298	
γ_3 (με)	530.37317	327.87047	265.20308	281.38018	