Medellín, 30 de agosto de 2025

Ingeniera
NATALIA ANDREA CALDERÓN
Directora de obra
CONSORCIO VIALMED 2025
Correo: directora.vialmed2025@gmail.com
Medellín

Asunto: Revisión y ajuste del diseño estructural de un pavimento – Versión 3
Obra: MALLA VIAL MEDELLÍN 2025 - CONTRATO 4600105052 DEL 2025

Cordial saludo.

Adjunto a la presente, se hace entrega del informe correspondiente a la revisión y ajuste del diseño correspondiente a la calle 10A entre carreras 36 y 43D y que fue presentado en el informe CL-0809-25-623-01-07 Rev 0 del 01-07-2025 realizado por Inteinsa Pavimentos S.A.S.

Los resultados aquí presentados se refieren a la evaluación de la información entregada por el cliente, referente a los estudios existentes y los ajustes propuestos adecuados a las condiciones actuales del proyecto.

El presente informe no debe ser reproducido, excepto íntegramente, sin la aprobación por escrito de Evaltec S.A.S. Los resultados obtenidos se relacionan únicamente con la información revisada y referida en el estudio.

Agradeciendo la atención prestada, quedamos a la espera de cualquier aclaración o ampliación que considere conveniente.

Atentamente,

JORGE ALBERTO TOBÓN GARCÍA
Ingeniero Civil
Especialista en Patología de la construcción
Especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos

Elaboró	*I.C. I.E. Sonia Martínez Naranjo*	*Revisó*	*I.C. I.E. Jorge Alberto Tobón García*
Fecha	*Agosto 30 de 2025*	*Fecha*	*Agosto 30 de 2025*

EVALUACIÓN Y AJUSTE DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO

REVISIÓN DEL INFORME
CL-0809-25-623-01-07 REVISIÓN 0 (01-JULIO-2025)

ESTUDIO Y DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN DE LA CALLE 10ª ENTRE CARRERAS 36 Y 43D MEDELLÍN, ANTIOQUIA (CONTRATO MALLA VIAL 2024)
ELABORADO POR INTEINSA PAVIMENTOS S.A.S.

PROYECTO:

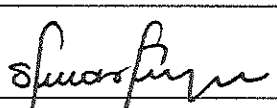
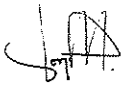
MALLA VIAL MEDELLIN 2025
CONTRATO 4600105052 DEL 2025

CLIENTE:

CONSORCIO VIALMED 2025

INFORME CO-AP-9539-146-2025-N - VERSIÓN 3
AGOSTO DE 2025

REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL DOCUMENTO

EVALUACIÓN Y AJUSTE DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO (INFORME CL-0809-25-623-01-07 REV 0) - CALLE 10A ENTRE CALLES 36 Y 43D MALLA VIAL MEDELLÍN 2025 - CONTRATO 4600105052 DEL 2025			
INFORME CO-AP-9539-146-2025-N EVALTEC S.A.S. Versión 3 – Agosto 30 de 2025			
EVALTEC S.A.S.			
Datos	**Elaboró**	**Revisó**	**Aprobó**
Nombre	Stella Martínez Naranjo	Jorge A. Tobón García	Jorge A.Tobón García
Título	I.C. Esp. en geotecnia vial y pavimentos	I.C. Esp. en geotecnia vial y pavimentos	I.C. Esp. en geotecnia vial y pavimentos
Matrícula No.	05202-73636 ANT	05202-21709 ANT	05202-21709 ANT
Fecha	Agosto 30 de 2025	Agosto 30 de 2025	Agosto 30 de 2025
Firma			 Firmado digitalmente por JORGE ALBERTO TOBON GARCIA
CONSORCIO VIALMED 2025		**INTERVENTORÍA / ENTE DE CONTROL**	
Datos	**Aprobó**	**Datos**	**Aprobó**
Nombre	Ing. Natalia Calderón	**Nombre**	
Cargo	Directora de obra	**Cargo**	
Fecha		**Fecha**	
Firma		**Firma**	
Observaciones:			

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

CONTROL DE CAMBIOS

EVALUACIÓN Y AJUSTE DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO (INFORME CL-0809-25-623-01-07 REV 0) - CALLE 10A ENTRE CALLES 36 Y 43D MALLA VIAL MEDELLÍN 2025 - CONTRATO 4600105052 DEL 2025			
Versión	**Identificación del documento**	**Fecha de elaboración**	**Observaciones o cambios**
1	Informe CO-AP-9539-141-2025	Agosto 21 de 2025	Documento original
2	Informe CO-AP-9539-142-2025-N	Agosto 28 de 2025	Se ajusta tránsito de diseño y estructuras de diseño
3	Informe CO-AP-9539-146-2025-N	Agosto 31 de 2025	Se incluye exploración de campo adicional en sector homogéneo 2 y ajuste a estructuras correspondientes

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 7
1. OBJETIVO Y ALCANCE 7
2. METODOLOGÍA EMPLEADA 7
3. INFORMACIÓN SUMINISTRADA 8
4. IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO E INSPECCIÓN DIRECTA 8
5. REVISIÓN DE ESTUDIOS 13
5.1 OBJETIVOS Y ALCANCES 13
5.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA 13
5.3 TRÁNSITO DE DISEÑO 21
5.4 TRABAJOS DE CAMPO 25
5.5 CÁLCULO DE LA DEFLECTOMETRÍA 27
5.6 CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO 32
5.7 PROPUESTAS DE REHABILITACIÓN 33
5.7.1 Alternativas propuestas en diseño en revisión 34
5.7.2 Ajuste de alternativas según parámetros indicados 36
5.8 RESUMEN DE LAS INTERVENCIONES PROPUESTAS 42
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 43
7. LIMITACIONES 48
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 48
ANEXOS 49

Consultoria en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparativo de módulos empleados en diseño y obtenidos en laboratorio..... 17

Tabla 2. Módulos a 10 Hz y 5 Hz según ensayos disponibles..... 18

Tabla 3. Valores de módulo de mezclas y coeficiente estructural, ajustados para las condiciones de operación de la vía..... 18

Tabla 4. Comparativo de Ley de fatiga de mezclas asfálticas empleadas en diseño y obtenidos en laboratorio para mezclas a emplear..... 19

Tabla 5. TPD establecido para el año 2010 – Estación 238: Calle 11 con carrera 43B..... 21

Tabla 6. Factores de daño por tipo de camión adoptados..... 22

Tabla 7. Resultado de la proyección del TPD en el carril y periodo de diseño – Estación 238: Calle 11 con carrera 43B..... 23

Tabla 8. Resultado del cálculo del total de ejes equivalentes a 80 kN en el carril y periodo de diseño para tramo Calle 10A entre carrera 36 y deprimido Avda. El Poblado..... 24

Tabla 9. Resultado del cálculo del total de ejes equivalentes a 80 kN en el carril y periodo de diseño para tramo Calle 10A entre deprimido Avda. El Poblado y carrera 43D..... 24

Tabla 10. Resumen de exploraciones de campo – Calle 10A entre Carreras 36 y 43D..... 26

Tabla 11. Resultados obtenidos a partir de la deflectometría (diseño) – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D..... 29

Tabla 12. Resultados verificados/ajustados a partir de la deflectometría – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D..... 30

Tabla 13. Sectores homogéneos – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D..... 31

Tabla 14. Resultados de parámetros de diseño – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D..... 31

Tabla 15. Caracterización de las estructuras por sectores homogéneos – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D..... 32

Tabla 16. Número estructural requerido por sectores homogéneos – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D..... 33

Tabla 17. Coeficiente estructural para las capas asfálticas existentes, recomendados por el INVIAS..... 34

Tabla 18. Coeficiente estructural de la mezcla asfáltica existente por sectores homogéneos – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D..... 34

Tabla 19. Estructuras definidas por AASHTO-93 y ajustadas en diseño en revisión – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D..... 35

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Tabla 20. *Planteamiento de alternativas por metodología AASHTO-93 para el sector 1– Calle 10A entre Cras. 36 y 38 - Medellín* 37

Tabla 21. *Planteamiento de alternativas por metodología AASHTOI-93 para el sector 2– Calle 10A entre Cras. 38 y 42 (inicio del deprimido)* 38

Tabla 22. *Planteamiento de alternativas por metodología AASHTOI-93 para el sector 3– Calle 10A entre fin del deprimido y carrera 43D* 39

Tabla 23. *Deformación radial admisible en la mezcla asfáltica* 40

Tabla 24. *Deformación y esfuerzo admisible por compresión en la subrasante* 40

Tabla 25. *Alternativas iniciales para revisión de esfuerzos y deformaciones – Calle 10A entre carreras 36 y 43D – Medellín* 40

Tabla 26. *Verificación de esfuerzos y deformaciones para cada sector. Alternativas iniciales y ajustadas – Calle 10ª entre carreras 36 y 43D – Medellín* 41

Tabla 27. *Alternativas ajustadas– Calle 10ª entre carreras 36 y 43D - Medellín* 43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. *Localización del tramo en estudio – Calle 10ª entre carreras 36 y 43D - Medellín* . 8

Figura 2. *Factor de desplazamiento propuesto para evaluación de deformación por fatiga en mezclas* 20

Figura 3. *Metodología de diferencias acumulativas para sectorización (parámetro: deflexiones)* 31

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

INTRODUCCIÓN

En cumplimiento del trabajo solicitado, Evaltec S.A.S. ha realizado las actividades correspondientes, con el fin de evaluar y en caso de requerirse, ajustar el diseño estructural de pavimentos entregado por el municipio de Medellín al Consorcio Vialmed 2025, para la vía Calle 10A entre carreras 36 y 43D del municipio de Medellín, teniendo como finalidad principal, revisar las premisas de diseño y verificar la posibilidad de cumplir con ellas con los materiales disponibles y, de ser necesario, recomendar ajustes o recomendaciones que permitan mejorar u optimizar los procesos constructivos.

1. OBJETIVO Y ALCANCE

Revisar técnicamente el informe identificado como CL-0809-25-623-01-07 Rev 0 del 01-07-2025 realizado por Inteinsa Pavimentos S.A.S., con el fin de evaluar y determinar la necesidad de complementar, actualizar y/o ajustar el diseño estructural de pavimentos existente para la vía, teniendo en cuenta las consideraciones de diseño y las características previstas de los materiales a emplear, en concordancia con los materiales disponibles actualmente para usar en el proyecto.

El tramo de evaluación está definido como la calle 10A entre carreras 36 y 43D, sin incluir el deprimido en pavimento de hormigón que se desarrolla bajo la avenida El Poblado.

No hacen parte de este trabajo, la revisión estudios geotécnicos detallados, ni de estabilidad, diseños de obras de contención, alcantarillas, estudios hidráulicos y de drenaje, estudios de tránsito, diseños geométricos, estudios de redes y demás obras complementarias, ni ningún otro que no se defina específicamente en el alcance de este informe.

2. METODOLOGÍA EMPLEADA

El trabajo se desarrolló según la siguiente metodología:

- *Inspección directa de la vía para evaluar condiciones actuales de la misma.*
- *Recopilación de información empleada para el diseño de pavimentos, revisión de los parámetros de diseño y evaluación y análisis de las alternativas planteadas.*

Consultoria en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

- *Elaboración de informe con los hallazgos, las observaciones, conclusiones y recomendaciones generales para la intervención de la vía, incluyendo posibles ajustes o complementaciones.*

3. INFORMACIÓN SUMINISTRADA

La información suministrada para revisión es la siguiente:

- *Informe CL-0809-25-623-01-07 Rev 0 del 01-07-2025 , elaborado por Inteinsa Pavimentos. Estudio realizado para el contrato Malla Vial 2024 (incluye siete anexos).*

4. IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO E INSPECCIÓN DIRECTA

La vía en estudio se desarrolla entre el casco urbano del municipio de Medellín, en la comuna 14 El Poblado, específicamente en la Calle 10Aentre carreras 36 y 43D con una longitud total de aproximadamente 770 m, sin incluir el deprimido que se encuentra construido en pavimento de hormigón, bajo la Avenida El Poblado con una longitud aproximada de 150 m (k0+430 a k0+580 aprox.).

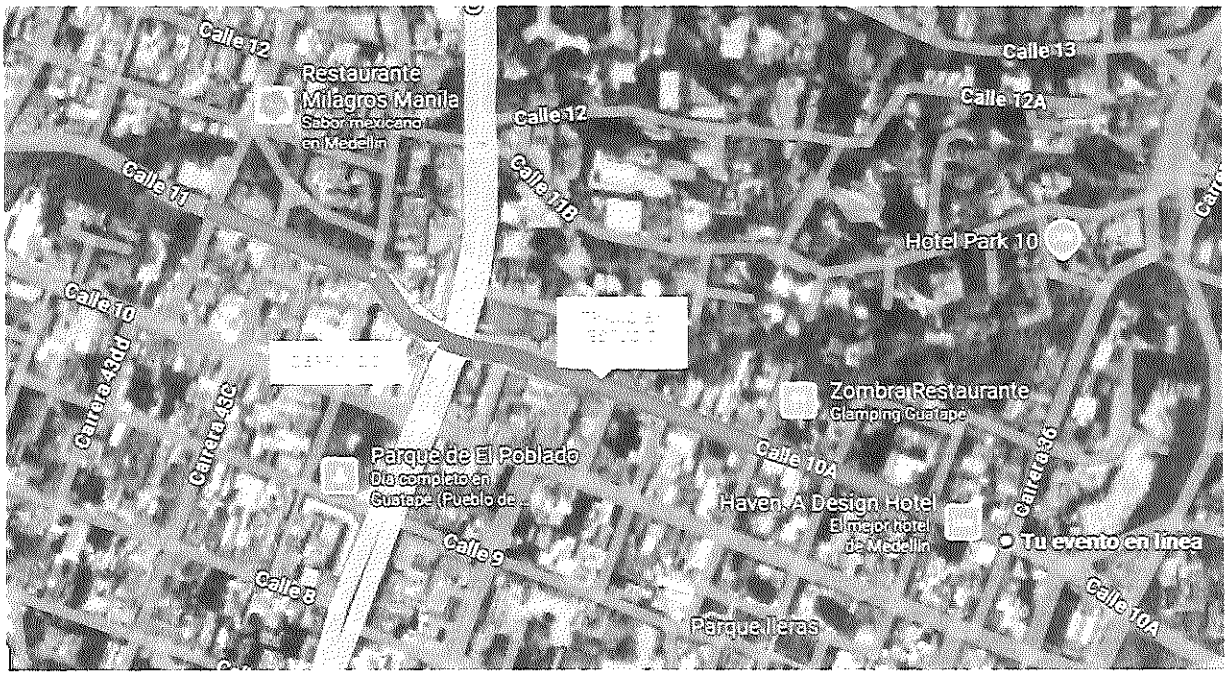


Figura 1. *Localización del tramo en estudio – Calle 10ª entre carreras 36 y 43D - Medellín*
Fuente: Google Maps1

La calle 10 A en el barrio Poblado, acoge gran cantidad de vehículos que realizan viajes desde la zona oriental alta del Poblado y requieren trasladarse entre las zonas de la avenida de El Poblado, Las Vegas y la Avenida del Río principalmente. Los vehículos son en su mayoría automóviles, dada la vocación residencial de la zona alta y comerciales en atención a la destinación misma de la calle 36 hacia el occidente. La actividad edificadora de la zona oriental es importante y este corredor, distribuye el flujo unidireccional hacia el corredor del río Medellín, donde se asientan las plantas de producción y comerciantes de la actividad constructora de la ciudad.

A partir de la carrera 36 hacia el occidente, se inicia un tramo con pocas fisuras y un estado general adecuado, donde se logra evidenciar desgaste superficial como lo más notorio. Este tramo es de una calzada de dos carriles. El cruce de la calle 36 con 10A está en buena condición. Desde el cruce de observan algunas fisuras menores y el proceso de desgaste es alto. Hay agrietamientos aislados. Los remates contra los cordones son deficientes. Se observan parches antiguos algunos ya fallados. La cantidad de área afectada se estima en menos del 5%.

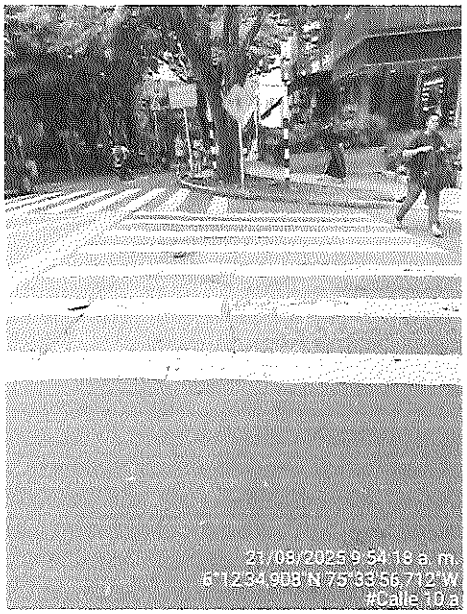


Foto 1. *Calle 10A cruce con carrera 36*

Entre las carreras 37 y 38, se nota un poco más de daños, máximo un 10% del área expuesta. En el cruce de la carrera 37 hay defectos como grietas y hundimientos. La calle presenta alto desgaste, parcheos antiguos, más grietas aisladas. Se observan grietas de redes de servicios públicos y un resalto para control del tránsito.

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co



Foto 2. *Deterioros típicos Calle 10A*

El cruce con la carrera 38 se observa muy deteriorado, agrietamientos anchos, cámaras, parcheos y deformaciones. Desde la carrera 38 hacia la carrara 43 avenida El Poblado, la situación cambia a tramos viales deficientes, con deformaciones, agrietamientos severos incluyendo pieles de cocodrilo y muchas grietas en forma de grandes bloques posiblemente reflejos de elementos o discontinuidades subyacentes. Gran cantidad de parcheos algunos fallados, cámaras, válvulas etcétera. La vía pasa a tres carriles desde la carrera 41.



Fotos 3 y 4. *Deterioros en Calle 10ª entre careras 38 y 43*

Antes de la carrera 43, se desprende un lazo para llegar a la Avenida de El Poblado Carrara 43, en la parte superior del deprimido, que se encuentra en muy mal estado superficial.

Sobre el eje de la calle 10A, se inicia un deprimido en losas de concreto, en mal estado, con losas fracturadas a la mitad y muchas con múltiple fractura. Se evidencias fracturas de esquina y eyección de materiales. Hay presencia de escalonamiento y las intervenciones de sumideros y sus tuberías han afectado negativamente la superficie. Se logran ver fracturas amplias y piezas móviles. El estado general del deprimido es deficitario.



Foto 5. *Aspecto del tramo deprimido en pavimento de hormigón*

Al salir del deprimido hacia el occidente, se presenta un cambio de situación, inicialmente graves fisuras en piel de cocodrilo y posteriormente menos fisuración pero un aumento considerable de las deformaciones producto aparentemente de exceso de asfalto, observándose corrimientos, ahuellamientos y deformaciones erráticas. La calzada termina con tres carriles desde la salida del deprimido hasta la carrera 43D.

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co



Foto 6 y 7. *Aspectos Calle 10ª entre carrera 43 y 42D*

En general se considera que hay cuatro tramos a saber:

Tramo 1: *Desde la carrerea 36 hasta la carrera 38, con pocos daños superficiales que puede ser tratado con parches y refuerzo de sobre carpeta, con posible fresado para control de cotas.*

Tramo 2: *desde la carrera 38 hasta el inicio del deprimido, con abundante agrietamiento y deformaciones, parches y afectación por redes de servicio público. Requiere retiro de carpeta y reposición.*

Tramo 3: *Deprimido en losas de concreto. Sobre este tramo no hay estudios y se debe investigar el estado de los materiales subyacentes para hacer el respectivo diseño de rehabilitación o reconstrucción.*

Tramo 4. *Desde el deprimido hacia el occidente buscando la carrera 43D, final del tramo en evaluación, con agrietamientos y fuertes deformaciones con corrimientos de la mezcla y ahuellamientos. Requiere retiro de mezclas asfálticas y reposición*

5. REVISIÓN DE ESTUDIOS

A continuación, se presentan los resultados de la actividad realizada sobre los estudios existentes y suministrados por el Municipio.

5.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

Los objetivos y alcances planteados en el estudio se consideran que son adecuados y suficientes para el proyecto y consisten básicamente en presentar el diseño de la estructura del pavimento flexible del corredor, Calle 10A entre carreras 36 y 43D, considerando los siguientes aspectos: medición de deflexiones con deflectómetro de impacto (FWD), exploración de campo mediante núcleos y apiques, asignación del tránsito, cálculo de espesores de refuerzo en concreto asfáltico por medio de la metodología AASHTO 93 y la posterior verificación racional por esfuerzos y deformaciones, incluyendo recomendaciones de intervención.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología empleada consiste en realizar el diseño de las estructuras por metodología AASHTO 93, previa medición de deflexiones y exploraciones de campo, y posteriormente, verificarlas por metodología racional (análisis de esfuerzos y deformaciones). Esta metodología se considera adecuada y suficiente para lograr los objetivos propuestos.

5.2.1 Metodología AASHTO 1993

Se emplea la metodología de refuerzo propuesta por AASHTO-93 que consiste en determinar el módulo resiliente de la subrasante y posteriormente, el número estructural efectivo, todo con base en las deflexiones medidas y las estructuras encontradas. Posteriormente, se establece el número estructural requerido para las condiciones específicas del proyecto y se compara con el SN efectivo, para establecer la necesidad o no de refuerzo.

Para estimar los módulos de las capas granulares y asfálticas, se emplean métodos de cálculo directo basados en las deflexiones y los espesores, como el del Departamento de Transporte del Estado de Washington para la capa granular y el propuesto en el documento FHWA-RD-05-152 para la capa asfáltica.

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos. concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

En el informe se plantea la siguiente expresión para la determinación del módulo de la capa granular:

$$\log E_G = 0.50634 + 0.03474\left[\frac{5.9}{H_{CA}}\right] + 0.12541\sqrt{\frac{5.9}{H_G}} + 0.51386\log E_0 + 0.2454\log\left[\frac{P \times A_1}{D_0^2}\right]$$

Al respecto, se requiere revisar si esta fue la expresión usada en los cálculos, dado que la ecuación referida como la del Departamento de Transporte del Estado de Washington es diferente a la mencionada:

$$\log E_G = 0.50634 - 0.03474\left[\frac{5.9}{H_{CA}}\right] - 0.12541\sqrt{\frac{5.9}{H_G}} - 0.09416\sqrt{\frac{H_{CA}}{H_G}} - 0.51386\log E_0 - 0.2454\log\left[\frac{P * A_1}{D_0^2}\right]$$

En el informe se plantean las siguientes expresiones para la determinación del módulo de las capas asfálticas:

$$E_{CA} = \frac{\left[E_P \times AF_{CA} \times k_3^{\left(\frac{1}{AF_{AC}}\right)}\right]}{k_3^2}$$

$$AF_{AC} = \left[\frac{k_2 - 1}{\left\{k_2 - \frac{AREA_{300}}{k_1}\right\}}\right]$$

Donde:

K1	=	6,81
K2	=	1,752
K3	=	HCA/2ª

Al respecto, se requiere revisar si estas fueron las expresiones usadas en los cálculos, dado que la ecuación referida para el cálculo del factor de área AF_{AC} de la fuente referida es diferente a la mencionada:

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

$$AF_{AC} = \left[\frac{k_2 - 1}{\left\{ k_2 - \frac{AREA_{300}}{k_1} \right\}} \right]^{1.35}$$

Donde: $k_1 =$ 6.85

$k_2 =$ 1.752

$k_3 =$ $H_{CA}/2a$

Para el uso de la metodología AASHTO-93, se han definido los siguientes valores:

- *Se considera una vía principal a nivel urbano, por lo que se define una confiabilidad del 90%, para la cual corresponde un valor de desviación Zr = -1.282.*

  La confiabilidad seleccionada se considera adecuada para las condiciones de la vía en estudio.

- *Error normal combinado So, que considera el error o desviación del diseño, la variación de las propiedades de los materiales de subrasante, la variación en la estimación del tránsito, la variación de las condiciones climáticas y la variación en la calidad de la construcción, para este caso se tomó como 0.45.*

  El error normal combinado seleccionado es recomendado para pavimentos flexibles nuevos. Para el caso de rehabilitaciones, usualmente es usado el valor de 0.49 que mejora las condiciones de confiabilidad del diseño.

- *El índice de serviciabilidad, tomado de las recomendaciones de la AASHTO, son:*

  Índice de servicio inicial = 4.2
  Índice de servicio final = 2.8

  Los valores de índices de servicio seleccionados se consideran adecuados para las condiciones iniciales, sin embargo, el valor final de 2.8 pareciera alto para una vía urbana como la que está en estudio, donde el principal tráfico está dado por vehículo livianos. Valores del orden de 2.8 se emplean usualmente para autopistas o carreteras principales. Se considera que el valor a emplear deberá estar entre 2.0 y 2.5 como máximo.

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

- *Se define la temperatura media anual ponderada de la zona como de 21.5°C y se estima con base en ella, la temperatura de la mezcla asfáltica (Tmezcla), para un espesor de mezcla asfáltica de 5 cm, obteniendo una Tmezcla de 33°C.*

  La temperatura de mezcla establecida corresponde a un espesor de 5 cm que seguramente será superado al establecer las alternativas de diseño, acorde a las condiciones de tránsito previstas, por lo que Tmezcla puede ser un poco menor, sin embargo, la consideración está por el lado de la seguridad del diseño.

- *Características de los materiales: Se define usar mezclas asfálticas MSC-19 con adición de fibras, MSC-25, MAM-25 y SMA, con las siguientes características:*

  - *MSC-19 Invías 2013 con fibra Forta-fi, con módulo de 4285 MPa (43693 kg/cm^2) para una temperatura de mezcla de 33°C y una frecuencia de 10 Hz y un coeficiente estructural de 0.50 (AASHTO-93).*

  - *MAM-25 Invías 2013, con módulo de 5446 MPa (55531 kg/cm^2) para una temperatura de mezcla de 33°C y una frecuencia de 10 Hz y un coeficiente estructural de 0.54 (AASHTO-93).*

  - *SMA, con módulo de 967 MPa (9856 kg/cm^2) para una temperatura de mezcla de 33°C y una frecuencia de 10 Hz y un coeficiente estructural de 0.24 (AASHTO-93). Se especifica que esta mezcla debe cumplir con especificación Invías 467-13,sin embargo ésta aplica solo para mezclas con asfalto modificado con grano de caucho reciclado.*

  Al respecto se tienen las siguientes consideraciones:

  La mezcla por emplear debería ajustarse a las especificaciones vigentes, es decir 2022.

  Los valores de módulo establecidos se observan un poco más altos que los valores alcanzados por las mezclas a emplear, las cuales se ajustan a las especificaciones Invías artículo 450-22, específicamente las mezclas MSC-19 y MAM-25 y la mezcla SMA, diseñada bajo el protocolo AMAAC PA-CR 04/2015.

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

- *Mezcla MSC-19 con fibra, empleando los resultados del informe ITF-004-025, para una temperatura de 33°C y una frecuencia de 10 Hz, la mezcla alcanza un módulo dinámico de 2909 MPa.*

- *Mezcla MAM-25, empleando los resultados del informe ITF-003-025, para una temperatura de 33°C y una frecuencia de 10 Hz, la mezcla alcanza un módulo resiliente de 4854 MPa.*

- *Mezcla SMA tipo B, empleando los resultados de los informes ITF-019-019, IT-233-023, IT-166-019 e ITF-050-020, para una temperatura de 33°C y una frecuencia de 10 Hz, respectivamente, las mezclas alcanzan unos módulos resilientes de 842 MPa, 796 MPa, 757 MPa y 1580 MPa, con un valor promedio de 994 MPa.*

Este aspecto requiere ser evaluado dado que el módulo juega un papel muy importante en los análisis y la mayoría de las mezclas a emplear, no parecen alcanzar los valores planteados por el diseñador.

***Tabla 1.** Comparativo de módulos empleados en diseño y obtenidos en laboratorio*

Mezcla	Módulos de mezcla a temperatura de 33°C y frecuencia de 10 Hz	
	Módulo considerado en diseño, MPa	Módulo que alcanzan materiales según ensayos disponibles, MPa
MSC-19 fibra	4285	2909
MAM-25	5446	4854
SMA	967	994

Fuente: archivo Evaltec S.A.S.

Tal como se ha indicado hasta ahora, se han establecido los módulos de las mezclas para una frecuencia de 10 Hz que representan condiciones de velocidad de la vía cercanos a 60 km/h. Sin embargo, para las condiciones de operación de la vía en estudio, estas velocidades raramente se alcanzan y por el contrario, predominan velocidades cercanas a los 25 km/h a 30 km/h, las cuales corresponden a frecuencias cercanas a los 5 Hz. Usualmente, la relación entre los módulos establecidos a 5 Hz y los módulos a 10 Hz se ha encontrado variando entre 0.75 y 0.85, como se muestra para las mezclas SMA y MSC-19 con fibra para las que se cuenta con información. Para el presente estudio, se tomará un valor de 0.80 para corregir los módulos de la mezcla MAM-25, que se presentan en la tabla 1.

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Tabla 2. *Módulos a 10 Hz y 5 Hz según ensayos disponibles*

Mezcla	Informe	Módulos de mezcla a temperatura de 33°C		
		Módulo que alcanzan mezclas a 10 Hz, MPa	Módulo que alcanzan mezclas a 5 Hz, MPa	Relación E 5Hz / E 10Hz
MSC-19 fibra	ITF-004-025	2909	2256	0.78
SMA	IT-050-020	1580	1304	0.83

Fuente: archivo Evaltec S.A.S.

Así, se establecen los módulos a emplear para las mezclas asfálticas y los coeficientes estructuras definidos de acuerdo con la metodología AASHTO-93 con base en estos valores

Tabla 3. *Valores de módulo de mezclas y coeficiente estructural, ajustados para las condiciones de operación de la vía*

Mezcla	Valores de módulo y coeficiente estructural para condiciones de operación de la vía		
	Módulo para condiciones de 33°C y 10 Hz	Módulo ajustado para diseño a 33°C y 5 Hz	Coeficiente estructural de mezclas asfálticas
MSC-19 fibra	2909	2209	0.38
MAM-25	4854	3883	0.48
SMA	994	825	0.20

5.2.2 Metodología Racional

Se indica que el diseño racional permite verificar elásticamente el dimensionamiento empírico y sensibilizar o refinarlo.

Para la caracterización de los materiales se han empleado relaciones de Poisson de 0.35, 0.40 y 0.45 para capas asfálticas, granulares no tratados y subrasantes, respectivamente, los cuales se consideran valores adecuados.

Parámetros admisibles

A continuación, se indican los parámetros admisibles empleados y los valores disponibles para las mezclas a emplear:

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

- **ε_t, Deformación específica por tracción para las mezclas asfálticas**

Tabla 4. Comparativo de Ley de fatiga de mezclas asfálticas empleadas en diseño y obtenidos en laboratorio para mezclas a emplear

Mezcla	Ley de fatiga diseño	Deformación para 10^6 repeticiones - diseño	Ley de fatiga para mezcla a usar - ensayos	Deformación para 10^6 repeticiones - ensayos
MAM-25	$Ln(\varepsilon)=-0.1216\ Ln(N)+6.8724$	179.9	$Ln(\varepsilon)=-0.1063\ Ln(N)+6.3853$	136.6
MSC-19 Fibra	$Ln(\varepsilon)=-0.1836\ Ln(N)+7.3576$	124.1	$Ln(\varepsilon)=-0.1915\ Ln(N)+7.4367$	120.4
SMA	$Ln(\varepsilon)=-0.1061 Ln(N)+7.2031$	310.2	$Ln(\varepsilon)=-0.0790 Ln(N)+6.8420$	314.4
Donde N= tránsito en ejes equivalentes de 80 kN				

Para cada caso se presenta la deformación inicial ε estimada, correspondiente a una vida hasta la fatiga de 10^6 ciclos para el criterio de falla y las condiciones de ensayo elegidas, encontrando valores similares para las mezclas MSC-19 con fibra y SMA, sin embargo, los valores para MAM-25 obtenidos para la mezcla a emplear son menores a los considerados en el diseño, por lo que se requiere evaluar el efecto en la vida de la estructura.

Para la mezcla asfáltica existente se usa la expresión propuesta por Shell:

$$\varepsilon = 2.91x10^{-3}\ N^{-0.1626}$$

- **σ_z, Esfuerzo de compresión de la subrasante:** *Para determinar el esfuerzo admisible, se emplea la formulación de Kerhoven y Dormon, la cual se considera adecuada:*

$$\sigma_z = \frac{0.007 * E_{SR}}{1 + 0.7 * \log N}$$

- **ε_z, Deformación por compresión de la subrasante:** *Para determinar la deformación admisible, se emplea el criterio Shell para un nivel de confianza del 95%:*

$$\varepsilon_z = 1.8 * 10^{-2} * N^{-0.25}$$

Se considera que para el proyecto puede emplearse la expresión Shell establecida para un nivel de confianza del 85%, dado que los demás parámetros se establecen con algunos factores de seguridad, tal como se indica en cada caso. La expresión por emplear es:

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

$$\varepsilon z = 2.1 \times 10^{-2} \times N^{-0.25}$$

Al evaluar las estructuras, se encuentra que el diseñador considera que las capas granulares y de subrasante no están ligadas, es decir, que no existe fricción entre ellas, situación que afecta directamente la deformación por compresión de la subrasante. Esta consultoría, en sus análisis, establece que estas capas si tienen fricción entre ellas.

En cuanto al factor de desplazamiento, el diseñador propone lo siguiente:

La Guía Metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras [3], presenta un rango en el factor de desplazamiento para el análisis de la deformación unitaria de fatiga de las capas asfálticas con valores que oscilan entre 10 y 20. En la ecuación del Instituto del Asfalto, el factor recomendado es 18.4. Unificando los criterios para la asignación del factor de desplazamiento y como cada ley de fatiga presentada fue calculada para las características propias de los materiales de la región, se propone un factor de desplazamiento en base a la confiabilidad utilizada para el proyecto de la siguiente manera:

Tabla 6. Valor del factor de desplazamiento en función del nivel de confiabilidad

CONFIABILIDAD	FACTOR DE DESPLAZAMIENTO
Mayor a 90%	12
Igual 90%	15
Menor a 90%	18

Para el proyecto **(confiabilidad del 90%)** se adopta un factor de desplazamiento de 15. Se considerará que las deformaciones por tracción calculadas en relación con las admisibles deben estar por debajo del 1; así mismo deberán estar los esfuerzos y las deformaciones en la interfaz entre las capas granulares y la subrasante en relación con los admisibles (Calculado/Admisible< 1), al igual que las deflexiones.

Figura 2. *Factor de desplazamiento propuesto para evaluación de deformación por fatiga en mezclas*
Fuente: Informe CL-0809-25-623-01-07 Rev 0 del 01-07-2025 realizado por Inteinsa Pavimentos S.A.S.

Respecto a este criterio, no es clara su determinación, pero se asemeja a los valores propuestos por el Instituto del Asfalto de 18.4, que se recomienda usar para las leyes de fatiga establecidas para las mezclas evaluadas en laboratorio. Para la mezcla existente, dado que se plantea el uso de la expresión Shell, se recomienda usar el factor de acuerdo con el tipo de mezcla y temperatura de 8.25.

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

5.3 TRÁNSITO DE DISEÑO

Para establecer el tránsito de diseño, se ha tomado información de estudios previos del año 2010, encontrándose un valor para diseño de ejes equivalentes de 80 kN de $N_{80\ kN}$ = ***15'642,360*** *para un período de 10 años. Al respecto se hacen las siguientes consideraciones:*

- *Al realizar recorridos de inspección sobre la vía actual, se observa que el tránsito principal se relaciona con vehículos livianos y pocos vehículos comerciales y de carga, por lo que los valores presentados parecen altos para el tramo en estudio.*

- *Los buses que generalmente circulan por la vía son urbanos, con bajos factores de equivalente carga, inferiores a 1.0 que son usado para buses grandes interurbanos.*

- *Los valores de tránsito presentados en el estudio del año 2010 para la estación 238 (calle 11B con carrera 43B) ya corresponden a un TPD y no es clara la afectación de un 39% que se realiza, situación que incrementa considerablemente los resultados. Adicionalmente, los estudios usados como referencia tienen más de 15 años, tiempo en el cual se han presentado grandes cambios en la movilidad de la ciudad y especialmente en la zona donde se desarrolla el proyecto.*

Las anteriores observaciones, sugieren realizar una revisión del tránsito actual del tramo con el fin de ajustar el parámetro, sin embargo, dado que el alcance para realizar aforos no está cubierto en el contrato y para fines de diseño, se presenta un análisis ajustando, considerando las observaciones previas realizadas:

Tabla 5. *TPD establecido para el año 2010 – Estación 238: Calle 11 con carrera 43B*

Código	Jerarquía	Dirección	TPD							
			AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3 Y C4	C5	C6	TOTAL
238	Arteria Mayor	Calle 11 con Carrera 43B	28387	483	239	119	19	0	1	29247

Fuente: Tabla 2 -Tránsito Promedio Diario TPD. Actualización del inventario y diagnóstico de la malla vial de la ciudad de Medellín-Fase 1. Estudio de tránsito. Determinación y asignación del TPD a los segmentos viales. CONSORCIO DIAGNÓSTICO MEDELLÍN. 2010.

Aplicando la metodología AASHTO 1993 para el diseño de la rehabilitación del pavimento flexible, inicialmente se requiere convertir el tránsito mixto (vehículos comerciales) de diferentes cargas por eje y diferentes configuraciones de éstos en un único número de repeticiones de ejes equivalentes a ejes simples de 80 kN en el mismo periodo. En este caso, dichas conversiones se realizan con los factores camión

Consultoria en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

promedio establecidos por la Universidad del Cauca en 1996, los cuales se indican a continuación.

Tabla 6. *Factores de daño por tipo de camión adoptados*

TIPO DE VEHÍCULO	FACTOR CAMIÓN
Buses	0.42
C2 P	1.14
C2 G	3.44
C3-C4	3.76
C5	4.4
>C5	4.72

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes

Posteriormente, mediante la siguiente ecuación, se calculan los ejes equivalentes a 80 kN acumulados durante la vida útil del tramo en estudio:

$$Número\ total\ de\ ejes\ equivalentes\ de\ 80\ kN\ en\ el\ carril\ de\ diseño_i = \sum FDN \times FC \times TPD_i \times FDCi$$

Donde:

- *i: tipo de vehículo considerado.*
- *FDN: Factor direccional.*
- *FC: Factor distribución por número de carriles.*
- *TPD: Tránsito promedio diario (para los buses y camiones) en el periodo de diseño.*
- *FDC: Factor de daño por tipo de camión.*

Tomando como base el tránsito promedio diario (TPD) correspondiente al año 2010, y teniendo en cuenta los siguientes parámetros, se realiza el cálculo los ejes equivalentes de 80 kN.

- *Ejes equivalentes de 80 kN acumulados desde la etapa de entrada en servicio del pavimento, es decir para el periodo de diseño de 10 años (2026-2035).*

- *Factor de distribución direccional del 100%, dado que es una vía unidireccional, por tanto DD = 1.*

- *Se adopta un factor carril del 90% para una calzada con dos carriles (generalmente sin contar con carriles intermitentes). Estos valores fueron acogidos según lo indicado en el numeral 2.1.1 del AASHTO Guide of Pavement Structures, página II-9.*

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Para el tramo entre la salida del deprimido y la carrera 43D, se toma un factor carril del 75%, según lo indicado en la Tabla 2.3.3. de la Guía Metodológica para el Diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras, para una vía con 3 carriles en sentido de circulación.

- *Factor de daño por camión, se adoptaron los valores presentados en la tabla 6.*

- *Tasa de crecimiento vehicular: Se emplea la tasa definida en el estudio en revisión (4.1%), que corresponde a valores típicos para tasas de crecimiento, según el tráfico de la vía.*

- *Una vez definido el periodo de diseño de 10 años y la tasa anual de crecimiento igual al 4.1%, se proyecta el TPD del año 2010 (estación 238) empleando el modelo exponencial. En la tabla se presenta el TPD proyectado para el carril y período de diseño.*

***Tabla 7.** Resultado de la proyección del TPD en el carril y periodo de diseño – Estación 238: Calle 11 con carrera 43B*

Año	Autos	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	Total Camiones	TPD (vehículos comerciales/día)
2010	28387	483	239	119	19	0	1	378	860
2011	29551	503	249	123	20	0	1	393	896
2012	30762	523	259	128	21	0	1	409	932
2013	32024	545	270	134	22	0	1	426	971
2014	33337	567	281	139	23	1	1	444	1010
2015	34703	590	292	145	24	1	1	462	1052
2016	36126	614	304	151	24	1	1	481	1095
2017	37607	640	317	157	25	1	1	500	1140
2018	39149	666	330	163	27	1	1	521	1187
2019	40754	693	343	170	28	1	1	542	1235
2020	42425	721	357	177	29	1	1	564	1286
2021	44165	751	372	184	30	1	1	588	1339
2022	45976	782	387	192	31	1	1	612	1394
2023	47861	814	403	200	32	1	1	637	1451
2024	49823	847	419	208	34	1	1	663	1510
2025	51866	882	437	217	35	1	1	690	1572
2026	53992	918	455	225	37	1	1	718	1637
2027	56206	956	473	235	38	1	1	748	1704
2028	58510	995	493	244	40	1	1	778	1774
2029	60909	1036	513	254	41	1	1	810	1846
2030	63406	1078	534	265	43	1	1	844	1922
2031	66006	1123	556	276	45	1	1	878	2001
2032	68712	1169	578	287	47	1	1	914	2083

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Año	Autos	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	Total Camiones	TPD (vehículos comerciales/día)
2033	71530	1216	602	299	48	1	1	952	2168
2034	74462	1266	627	311	50	1	1	991	2257
2035	77515	1318	653	324	53	1	1	1031	2350

Finalmente, en la siguiente tabla se presenta la estimación de los ejes equivalentes a 80 kN calculados durante el período de diseño (10 años), en el carril de diseño, desde el año adoptado como base para la proyección, hasta el año donde finaliza la vida útil de la estructura de pavimento. El cálculo se realiza según el factor carril adoptado, quedando de esta manera:

Tabla 8. *Resultado del cálculo del total de ejes equivalentes a 80 kN en el carril y periodo de diseño para tramo Calle 10A entre carrera 36 y deprimido Avda. El Poblado*

Proyección Ejes Equivalentes 80kN en el carril de diseño - Tramo Calle 10A entre carrera 36 y deprimido Avda. El Poblado									
Año	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	NESE ANUAL	NESE ANUAL CONSIDERADO	NESE ACUMULADO
2025	121,694	163,514	244,744	43,391	1,142	1,488	575,973	191,991	191,991
2026	126,683	170,217	254,779	45,170	1,185	1,551	599,585	599,585	791,576
2027	131,877	177,197	265,220	47,023	1,229	1,613	624,159	624,159	1,415,735
2028	137,284	184,463	276,091	48,949	1,272	1,675	649,734	649,734	2,065,469
2029	142,913	192,027	287,414	50,950	1,330	1,737	676,371	676,371	2,741,840
2030	148,773	199,899	299,201	53,038	1,388	1,814	704,113	704,113	3,445,953
2031	154,873	208,097	311,473	55,212	1,445	1,892	732,992	732,992	4,178,945
2032	161,222	216,627	324,242	57,472	1,503	1,969	763,035	763,035	4,941,980
2033	167,832	225,510	337,532	59,831	1,561	2,047	794,313	794,313	5,736,293
2034	174,713	234,757	351,375	62,289	1,619	2,124	826,877	826,877	6,563,170
2035	181,876	244,381	365,783	64,846	1,691	2,217	860,794	860,794	**7,423,964**

Tabla 9. *Resultado del cálculo del total de ejes equivalentes a 80 kN en el carril y periodo de diseño para tramo Calle 10A entre deprimido Avda. El Poblado y carrera 43D*

Proyección Ejes Equivalentes 80kN en el carril de diseño - Tramo Calle 10A entre deprimido Avda. El Poblado y carrera 43D									
Año	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	NESE ANUAL	NESE ANUAL CONSIDERADO	NESE ACUMULADO
2025	101,411	136,261	203,953	36,159	952	1,240	479,976	159,992	159,992
2026	105,569	141,847	212,316	37,642	988	1,292	499,654	499,654	659,646
2027	109,898	147,665	221,017	39,185	1,024	1,344	520,133	520,133	1,179,779
2028	114,404	153,719	230,076	40,791	1,060	1,395	541,445	541,445	1,721,224
2029	119,095	160,023	239,512	42,459	1,108	1,447	563,644	563,644	2,284,868
2030	123,978	166,583	249,334	44,198	1,156	1,512	586,761	586,761	2,871,629
2031	129,061	173,414	259,561	46,010	1,205	1,576	610,827	610,827	3,482,456
2032	134,352	180,523	270,202	47,893	1,253	1,641	635,864	635,864	4,118,320

Proyección Ejes Equivalentes 80kN en el carril de diseño - Tramo Calle 10A entre deprimido Avda. El Poblado y carrera 43D									
Año	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	NESE ANUAL	NESE ANUAL CONSIDERADO	NESE ACUMULADO
2033	139,860	187,925	281,276	49,859	1,301	1,706	661,927	661,927	4,780,247
2034	145,594	195,630	292,812	51,908	1,349	1,770	689,063	689,063	5,469,310
2035	151,563	203,651	304,819	54,038	1,409	1,848	717,328	717,328	6,186,638

Una vez determinado el número de ejes equivalentes de 80 kN, se aplica una confiabilidad del 90%, tomando como referencia los errores encontrados por la AASHTO para estructuras de pavimentos flexibles, y asumiendo una distribución normal para la diferencia entre el tránsito real y estimado, se utiliza la siguiente expresión, con el fin de proporcionar la confianza requerida en la variable tránsito[1]:

$$N' = 10^{0.05\,Zr} * N$$

Donde:

N´: N corregido para proporcionar un determinado nivel de confianza.
Z_r: distribución normal y a la confiabilidad deseada.
N: número total de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño.

*Para terminar, empleando la ecuación anterior con una confiabilidad del 90%, a la cual le corresponde un Z_r igual a 1.282, se adopta como **valor de diseño:***

Tramo calle 10A entre Carrera 36 y deprimido Avenida El Poblado
N' = 8'604.702 ejes equivalentes a 80 kN durante el periodo de diseño (10 años, 2026-2035).

Tramo calle 10A entre salida del deprimido Avenida El Poblado y carrera 43D
N' = 7'170.587 ejes equivalentes a 80 kN durante el periodo de diseño (10 años, 2026-2035).

5.4 TRABAJOS DE CAMPO

5.4.1 Deflectometría con deflectómetro de impacto (FWD)

Inicialmente, se realiza la medición de deflexiones con FWD, el día 9 de abril de 2025. Al respecto, se cuenta con una medida cada 50 m de calzada, es decir cada 100 m por carril, para un total de 16 datos en el corredor, de los cuales, tres se ubican en la

[1] *Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. INVIAS, 2016*

zona del deprimido en pavimento de concreto hidráulico. Esta información debe ser revisada en cuanto a la homogeneidad de los datos, para establecer, de acuerdo con la respuesta del pavimento, si es suficiente o requiere complementarse.

No es claro en los sectores donde se cuenta con tres carriles, como fue realizada la medición, dado que todos los registros se presentan como carril derecho o izquierdo. Tampoco se incluyen los lazos que conectan la calle 10A, desde el deprimido, hasta la Avenida de El Poblado.

5.4.2 Exploración geotécnica

Para complementar la caracterización y conocimiento de los materiales existentes en el corredor vial, se realizaron dos apiques en la vía en estudio y adicionalmente se tomaron tres núcleos para conocer características de la mezcla asfáltica existente.

Los resultados de las exploraciones son los siguientes:

***Tabla 10.** Resumen de exploraciones de campo – Calle 10A entre Carreras 36 y 43D*

Exploración	Localización	Espesor mezcla asfáltica	Espesor de material granular	Subrasante
Núcleo-20	Cl. 10A 36-20	15.7 cm	-	-
Apique-7	Cl. 10A 37-28	17 cm	10 cm	Roca
Núcleo-21	Cl. 10A 40-7	17.3 cm	-	-
Núcleo-22	Cl. 10A 41A-57	13.9 cm	-	-
Apique-8	Cl. 10A 43B-07	23 cm	20 cm	Arenilla – suelo limoso

Fuente: Informe CL-0809-25-623-01-07 Rev 0 del 01-07-2025 realizado por Inteinsa Pavimentos S.A.S.

Nota: En el anexo 5 se presentan los registros de los núcleos tomados. Aunque los espesores y las direcciones coinciden con lo indicado en el informe de diseño, los registros fotográficos no corresponden a la ubicación del tramo en estudio. Adicionalmente, sería adecuado conocer los espesores de las capas asfálticas presentes y de ser posible, el tipo de agrietamiento (ascendente o descendente) y la afectación de las capas.

Dado que entre la carrera 38 y la carrera 42 no se cuenta con apiques para conocer la estructura existente, Evaltec S.A.S., realizó el día 28 de agosto de 2025 un sondeo, encontrando lo siguiente:

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

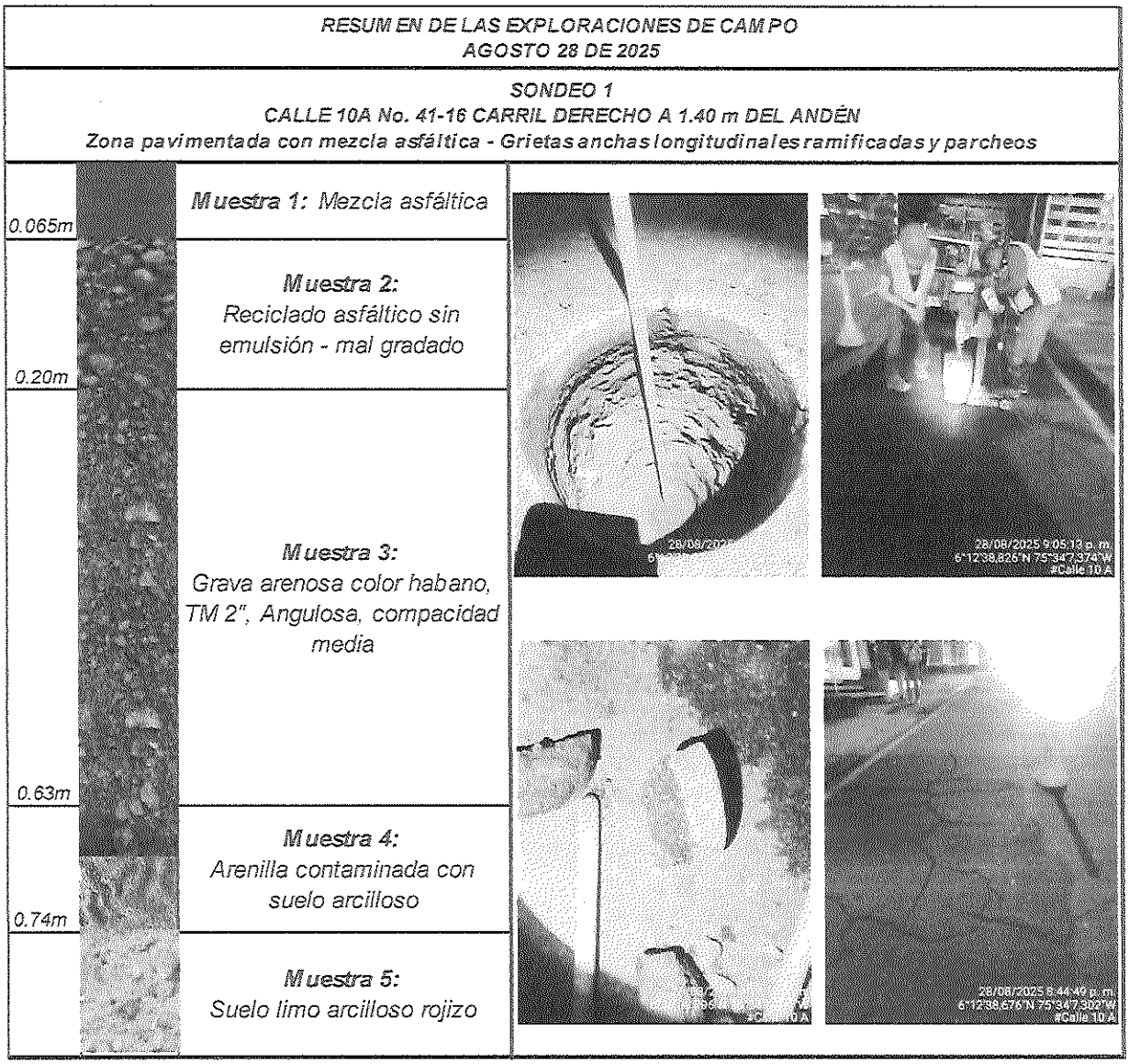


Figura 3. Sondeo en calle 10ª No, 41-16 – Sector 2 – Agosto 28 de 2025

5.5 CÁLCULO DE LA DEFLECTOMETRÍA

Se indica que se emplea el geófono 13 para la determinación del módulo de la subrasante, sin embargo, en los registros de deflexiones no se presenta una medición para dicho geófono, por lo que no es claro cómo se aplica la metodología descrita anteriormente, dado que no se presenta un anexo con la memoria de cálculo. Aparentemente, se toma una distancia r de 180 cm o 210 cm, muy alejada de la estructura del pavimento definida como 14.4 cm de mezcla y 20 cm de granulares, por lo que los valores estimados para el módulo de la subrasante se están determinando

a más de 150 cm de profundidad, situación que no representa las consideraciones previas, por lo que los valores pueden estarse subvalorando o sobrevalorando, según sean las características de los materiales que se encuentren a dicha profundidad.

Los valores de módulos de las capas granulares se determinan empleando las ecuaciones de regresión del Departamento de Transporte del Estado de Washington, tal como se menciona en la metodología descrita.

Los valores que se obtienen para los módulos de las mezclas asfálticas se observan muy altos en la mayoría de los casos y no es claro a que temperatura se estima o si se corrigen. Por tanto, para evaluar el parámetro para la revisión y ajuste, se hará uso de la metodología del Departamento de Transporte del Estado de Washington, mediante la siguiente ecuación de regresión (también contenida en la Guía Metodología para rehabilitación de pavimento – Invías 2008):

Capas asfálticas:

$$Log\ Eac = -4{,}13464 + 0{,}25726\ (5{,}9/hac) + 0{,}92874\ (5{,}9/hb)^{0.5} - 0{,}69727\ (hac/hb)^{0.5} - 0{,}96687\ Log(Esr) + 1{,}88298\ Log\ (P \times A / Do^2)$$

Donde:

P = Carga aplicada sobre una placa de 300 mm
hac = Espesor de capa asfáltica en pulgadas
hb = Espesor de las capas granulares en pulgadas
Eac = Módulo de la capa asfáltica en lb/pg²
Esr = Módulo de la subrasante, lb/pg²
D_o = Deflexión bajo el centro de aplicación de carga, pulgadas
A: Área aproximada bajo el cuenco de deflexión hasta una distancia de 900mm.

$$A = 2[2(D_0 + D_{200}) + (D_{200} + D_{300}) + 3(D_{300} + D_{600}) + 3(D_{600} + D_{900})]$$

Donde:

D_{200}: Deflexión a 200 mm del centro de aplicación de la carga (pulg.).
D_{300}: Deflexión a 300 mm del centro de aplicación de la carga (pulg.).
D_{600}: Deflexión a 600 mm del centro de aplicación de la carga (pulg.).
D_{900}: Deflexión a 900 mm del centro de aplicación de la carga (pulg.).

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Los módulos dinámicos de las capas asfálticas determinados a partir de las deflexiones deben se ajustados si la temperatura del pavimento a la que se tiene la medida es diferente a la temperatura promedio ponderadas del pavimento del sitio.

Entonces, el valor del módulo en servicio del concreto asfáltico (Ea) se determina así:

$$E_a = E_{BC} \times FA$$

Donde:

- E_{BC} *= Módulo dinámico determinado a partir de las deflexiones.*
- *FA= Factor de ajuste,* $FA= (E_a/E_{BC})=1.054^{(Tmezcla-Tmedición)}$

En la tabla 11 se presenta los valores obtenidos en el diseño en revisión y en la tabla 12 se presentan los valores revisados y calculados por esta consultoría, de acuerdo con las observaciones que se han realizado.

Tabla 11. *Resultados obtenidos a partir de la deflectometría (diseño) – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D*

Carril	Abscisa	D0 [µm]	$SN_{efectivo}$ [in]	Mr [kg/cm^2]	M. Granular [kg/cm^2]	M. CA [kg/cm^2]
Derecho	k0+002	255	3,56	1153	1475	96921
Derecho	k0+100	177	4,75	1136	1616	212395
Derecho	k0+201	715	2,40	509	733	22708
Derecho	k0+300	356	3,47	716	1032	45690
Derecho	k0+401	562	2,30	995	1057	20646
Derecho	k0+500	114	7,40	882	1693	2794257
Derecho	k0+600	476	2,93	597	917	97641
Derecho	k0+696	362	3,46	661	1026	99454
Izquierdo	k0+050	293	3,68	862	1232	87625
Izquierdo	k0+150	188	4,21	1387	1713	192385
Izquierdo	k0+250	576	3,11	371	659	32433
Izquierdo	k0+350	551	2,89	492	772	35901
Izquierdo	k0+450	232	6,41	399	955	1248773
Izquierdo	k0+550	140	6,59	838	1571	4668833
Izquierdo	k0+650	303	4,08	578	1037	231452
Izquierdo	k0+750	313	5,08	426	892	197911
Percentil 90%			2,65	413	752	27570

Fuente: Informe CL-0809-25-623-01-07 Rev 0 del 01-07-2025 realizado por Inteinsa Pavimentos S.A.S.

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Tabla 12. Resultados verificados/ajustados a partir de la deflectometría – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D

Localización		Deflexiones normalizadas por temperatura a 20°C (µm) D(0)	Módulo resiliente corregido MR (kg/cm2)	SN efectivo AASHTO	Módulo de granulares (kg/cm²)	Módulo de mezclas asfálticas a Tmezcla de 33°C (kg/cm²)
Abscisa	Carril					
K0+002	Derecho	253.6	504.4	3.52	1,656	30587
K0+050	Izquierdo	298.3	427.5	3.38	1,465	26904
K0+100	Derecho	178.4	663.5	4.10	2,097	48784
K0+150	Izquierdo	189.3	899.9	3.58	2,342	25508
K0+201	Derecho	734.3	211.3	3.64	897	19214
K0+250	Izquierdo	585.5	279.9	3.87	1,098	22794
K0+300	Derecho	373.3	503.6	4.48	1,649	28908
K0+350	Izquierdo	568.1	298.3	3.92	1,147	23326
K0+401	Derecho	585.8	485.5	3.68	1,401	9893
K0+450	Deprimido en losas de concreto					
K0+500	Deprimido en losas de concreto					
K0+550	Deprimido en losas de concreto					
K0+600	Derecho	453.7	235.3	3.41	920	14432
K0+650	Izquierdo	284.3	242.0	4.56	1,079	42797
K0+696	Derecho	342.6	308.2	3.74	1,125	17959
K0+750	Izquierdo	313.5	233.8	4.51	1,049	40854
PERCENTIL 90%			**234.1**	**3.43**	**945.6**	**15137.3**

Fuente: Elaboración propia

Como puede verse, en la tabla 12 se han eliminado las mediciones de las abscisas que corresponden al pavimento del deprimido, dado que este se encuentra en losas de concreto hidráulico y, por tanto, no aplica la metodología desarrollada para el resto del tramo.

Al realizar una revisión de los valores de deflexiones mediante la metodología de las diferencias acumuladas y el estado actual de la vía, el cual no se detalla en el informe de diseño, esta consultoría considera que se debe realizar una sectorización por tramos homogéneos, así:

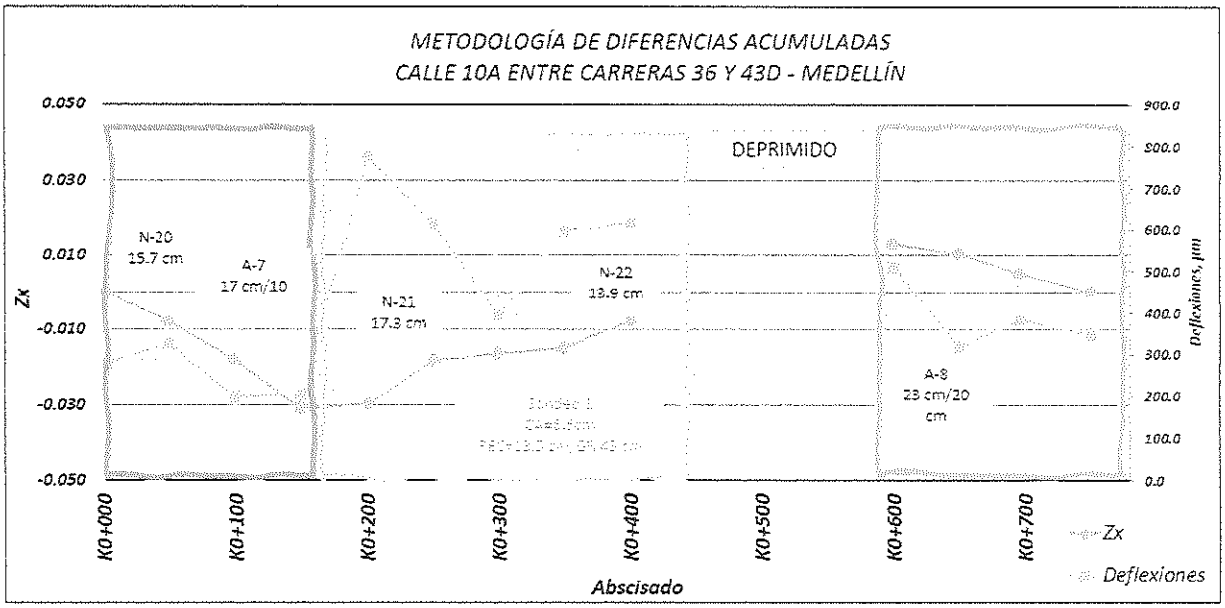


Figura 4. *Metodología de diferencias acumulativas para sectorización (parámetro: deflexiones)*
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los criterios mencionados, se plantean los siguientes sectores homogéneos:

Tabla 13. *Sectores homogéneos – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D*

Sector	Abscisas	Localización sobre la calle 10A
1	K0+000 – k0+175	Entre carreras 36 y 38 (aceptable estado superficial – Se estima un 10% de deterioro)
2	K0+175 – k0+430	Entre carrera 38 e inicio de deprimido (carrera 42) (deficiente estado – agrietamiento - deformaciones)
3	K0+580 – k0+770	Entre salida del deprimido y carrera 43D (deficiente estado – agrietamiento - deformaciones)

En la tabla 14 se presenta el resumen de parámetros determinados en el diseño en revisión para todo el tramo de la calle 10ª entre carreras 36 y 43D, usando como criterio el percentil del 90%.

Tabla 14. *Resultados de parámetros de diseño – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D*

Localización	$SN_{efectivo}$	Mr [kg/cm^2]	Granular [MPa]	Granular [kg/cm^2]
Calle 10A PR 0+000 a PR 0+750	2,65	412,7	73,78	752

Fuente: Informe CL-0809-25-623-01-07 Rev 0 del 01-07-2025 realizado por Inteinsa Pavimentos S.A.S.

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

En la tabla 14 se presenta el resumen de parámetros determinados por esta consultoría para los sectores homogéneos definidos previamente, usando como criterio el percentil del 87.5% (recomendado por el Instituto del Asfalto para tránsitos superiores a $1x10^6$ ejes equivalentes) y el valor promedio, recomendado por la metodología AASHTO-93.

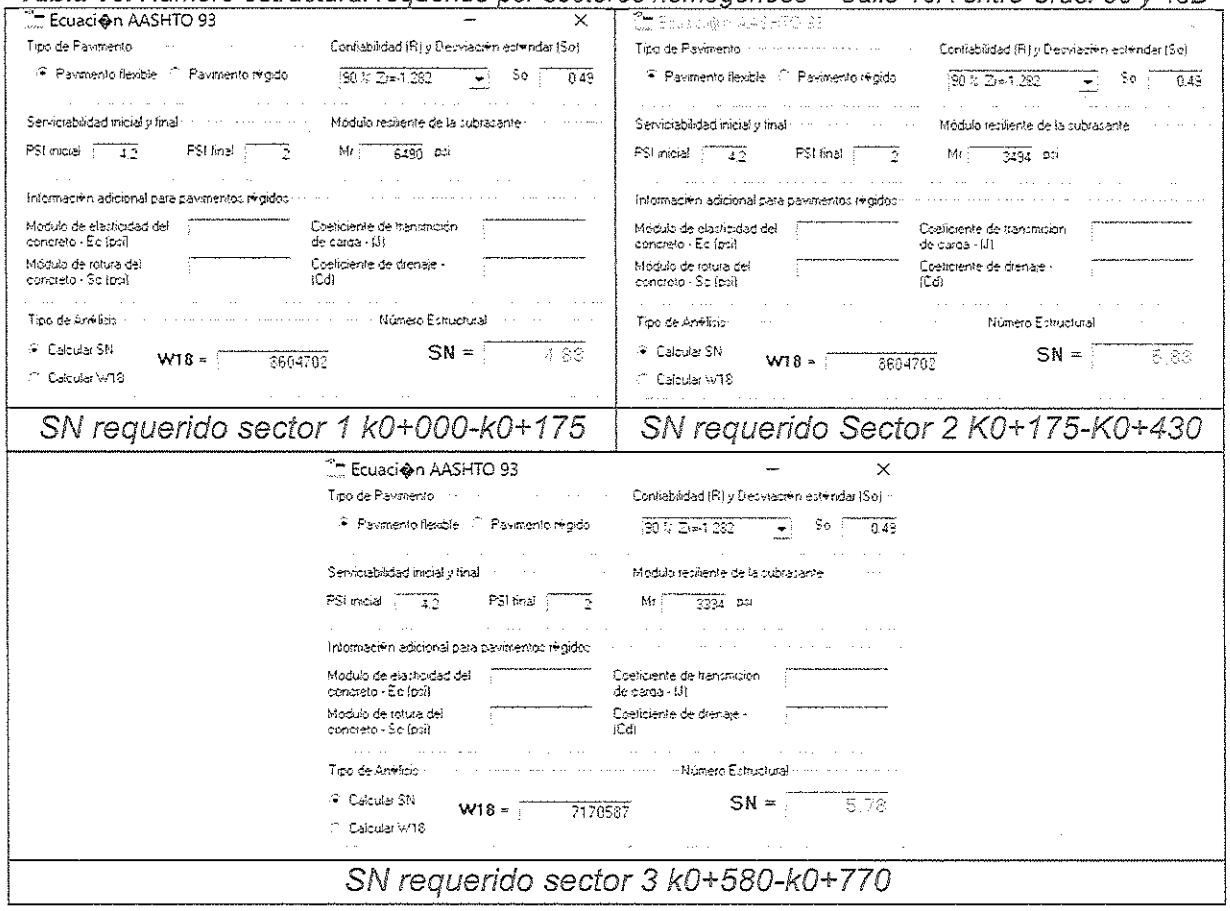
***Tabla 15.** Caracterización de las estructuras por sectores homogéneos – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D*

Parámetros		Sector 1	Sector 2	Sector 3
		K0+000 – k0+175	K0+175 – k0+430	K0+580 – k0+770
		Entre carreras 36 y 38	Entre carrera 38 y el inicio del deprimido (carrera 42)	Entre salida del deprimido y carrera 43D
Espesores considerados	Capa Granular, cm	20	56.5	20
	Mezcla asfáltica, cm	15.7	6.5	23.0
Módulo resiliente de la subrasante, kg/cm²	Promedio	623.8	355.7	254.8
	Percentil 87.5%	456.3	245.6	234.4
Módulo de capas granulares, kg/cm²	Promedio	1,890	1,239	1,043
	Percentil 87.5%	1536.6	997.7	968.2
Módulo de mezcla asfáltica, kg/cm²	Promedio	32946	20827	29010
	Percentil 87.5%	26032	14554	15755
Número estructural efectivo	Promedio	3.64	3.92	4.05
	Percentil 87.5%	3.43	3.66	3.53

5.6 CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO

En el informe de diseño en revisión se establece un número estructural requerido de 6.05 para todo el tramo. Sin embargo, teniendo en cuenta las consideraciones presentadas anteriormente, se ajusta el cálculo de los números estructurales para cada sector homogéneo.

Tabla 16. Número estructural requerido por sectores homogéneos – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D



5.7 PROPUESTAS DE REHABILITACIÓN

Para el planteamiento de las propuestas de intervención, se define el coeficiente estructural de la mezcla asfáltica existente como 0.30 para todo el corredor en estudio. Teniendo en cuenta los sectores homogéneos definidos, los módulos de mezcla estimados y el estado actual de la vía, se plantean los valores que se muestran más adelante:

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Tabla 17. Coeficiente estructural para las capas asfálticas existentes, recomendados por el INVIAS

MATERIAL	CONDICIÓN SUPERFICIAL	COEFICIENTE ESTRUCTURAL	
Concreto asfáltico	No hay fisuras tipo piel de cocodrilo y/o hay solamente fisuras transversales de severidad baja.	0.35 a 0.40	
Concreto asfaltico	<10% de fisuras tipo piel de cocodrilo de severidad baja y/o <5% de fisuras transversales de severidad media o alta	0.25 a 0.35	SECTOR 1
Concreto asfaltico	>10% de fisuras tipo piel de cocodrilo de severidad baja y/o <10% de fisuras tipo piel de cocodrilo de severidad media y/o 5 a 10% de fisuras transversales de severidad media o alta.	0.20 a 0.30	SECTOR 3
Concreto asfaltico	>10% de fisuras tipo piel de cocodrilo de severidad media y/o <10% de fisuras tipo piel de cocodrilo de severidad alta y/o >10% de fisuras transversales de severidad media o alta.	0.14 a 0.20	SECTOR 2
Concreto asfaltico	>10% de fisuras tipo piel de cocodrilo de severidad alta y/o >10% de fisuras transversales de severidad alta.	0.08 a 0.15	

Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras, Instituto Nacional de Vías, Segunda Ed. Bogotá, 2008.

Tabla 18. Coeficiente estructural de la mezcla asfáltica existente por sectores homogéneos – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D

Sector	Abscisas	Localización sobre la calle 10A	Módulo de mezcla asfáltica estimado, kg/cm²	Coeficiente estructural de mezcla asfáltica existente		
				Estimado a partir del módulo	Definido por estado actual (Tabla 17)	Valor adoptado
1	K0+000 – k0+175	Entre carreras 36 y 38 (aceptable estado superficial – Se estima un 10% de deterioro)	26032	0.40	0.25 – 0.35	**0.30**
2	K0+175 – k0+430	Entre carrera 38 e inicio de deprimido (carrera 42) (deficiente estado – agrietamiento - deformaciones)	14554	0.30	0.14 – 0.20	**0.20**
3	K0+580 – k0+770	Entre salida del deprimido y carrera 43D (deficiente estado – agrietamiento - deformaciones)	15755	0.31	0.20 – 0.30	**0.25**

5.7.1 Alternativas propuestas en diseño en revisión

En el diseño, se plantean dos alternativas de intervención para todo el tramo, que consisten en fresar 12 cm de la mezcla asfáltica existente y colocar sobre la superficie remanente una capa de mezcla tipo MAM -25 y sobre esta, como rodadura una capa de MSC-19 con fibra para la alternativa 1 o SMA para la alternativa 2. El resumen de las alternativas se presenta a continuación:

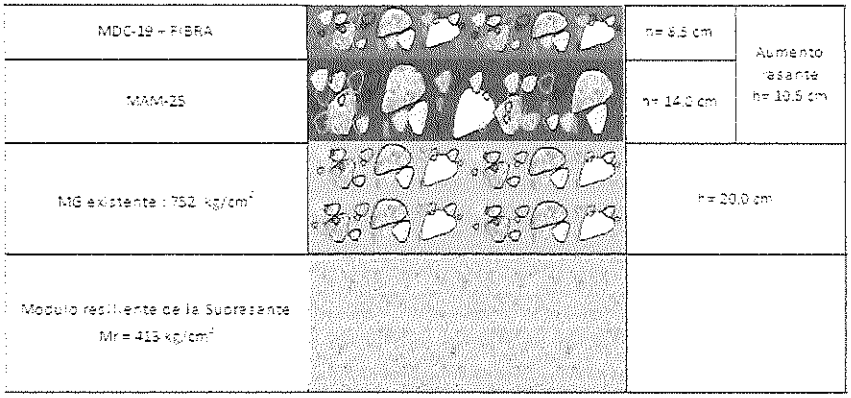
Consultoría en estudios, diseños y asesorias en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Tabla 19. Estructuras definidas por AASHTO-93 y ajustadas en diseño en revisión – Calle 10A entre Cras. 36 y 43D

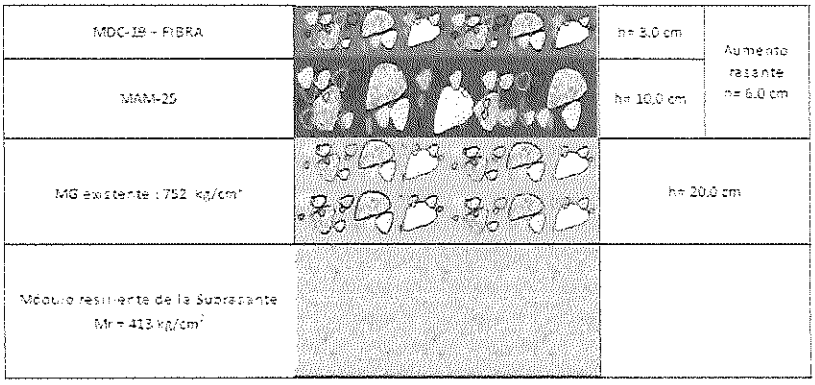
ALTERNATIVA 1

Alternativa Inicial					
Módulo Concreto Asfáltico	[kg/cm²]	10.244	Coef. Estructural Concreto Asfáltico	[in]	0,25
Espesor Fresado	[cm]	12,0	Aporte Estructural del Fresado	[in]	1,18
Módulo Granular	[kg/cm²]	752	Coef. Estructural Granular	[in]	0,07
Espesor Granular Fresado	[cm]	0,0	Aporte Estructural Granular Fresado	[in]	0,00
$SN_{efectivo}$	[in]	2,65	$SN_{requerido}$	[in]	6,05
Déficit Estructural	[in]	3,40	Deficit Estructural Total (+Fresado)	[in]	4,58

Alternativa 1			
Mezcla	Espesor/cm	Coeficiente Estructural	Aporte
MSC-19+ Fibra	8,5	0,50	1,67
MAM-25	14,0	0,54	2,98
$SN_{efectivo}$ de la estructura propuesta		[in]	6,12
Aumento de la nueva rasante en relación a la actual		[cm]	10,50



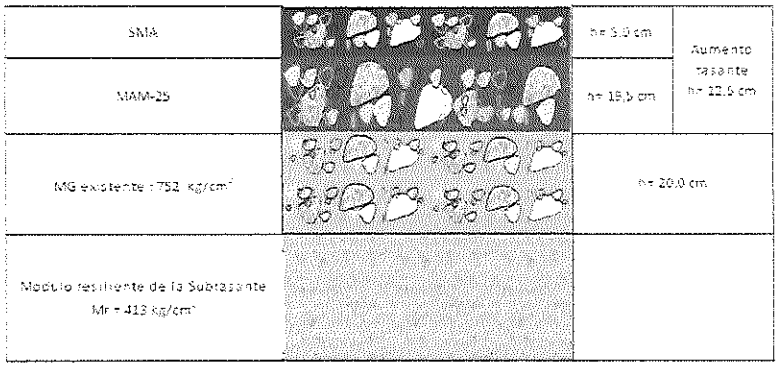
ALTERNATIVA 1 AJUSTADA



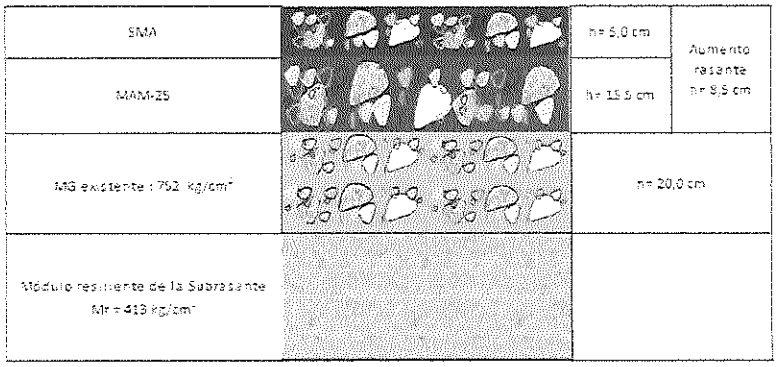
ALTERNATIVA 2

Alternativa Inicial					
Módulo Concreto Asfáltico [kg/cm²]	10.244		Coef. Estructural Concreto Asfáltico	[in]	0.25
Espesor Fresado [cm]	12.0		Aporte Estructural del Fresado	[in]	1.18
Módulo Granular [kg/cm²]	752		Coef. Estructural Granular	[in]	0.07
Espesor Granular Fresado [cm]	0.0		Aporte Estructural Granular Fresado	[in]	0.00
$SN_{efectivo}$ [in]	2,65		$SN_{requerido}$	[in]	6.05
Déficit Estructural [in]	3,40		Déficit Estructural Total (+Fresado)	[in]	4,58

Alternativa 2			
Mezcla	Espesor/cm	Coeficiente Estructural	Aporte
SMA	5,0	0,24	0,47
MAM-25	19,5	0,54	4,15
$SN_{efectivo}$ de la estructura propuesta		[in]	6,09
Aumento de la nueva rasante en relacion a la actual		[cm]	12,50



ALTERNATIVA 2 AJUSTADA



Fuente: Informe CL-0809-25-623-01-07 Rev 0 del 01-07-2025 realizado por Inteinsa Pavimentos S.A.S.

5.7.2 Ajuste de alternativas según parámetros indicados

Dado que a lo largo del documento se han planteado diversos aspectos para tener en cuenta en el diseño, a continuación, se presenta un diseño de alternativas ajustadas:

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Tabla 20. Planteamiento de alternativas por metodología AASHTO-93 para el sector 1– Calle 10A entre Cras. 36 y 38 - Medellín

CALLE 10A ENTRE CARRERAS 36 Y 43D - MEDELLÍN					
SECTOR HOMOGÉNEO	LOCALIZACIÓN			ABSCISAS	
1	Entre carreras 36 y 38			K0+000-K0+175	
CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE					
Módulo resiliente de la subrasante (psi):				6490	(456 kg/cm2)
Módulo del material granular (kg/cm2):				1536.6	
Módulo de capas asfálticas existentes (kg/cm2):				26032	
Coeficiente estructura de mezcla asfáltica existente, a_i				0.30	
Espesor de mezcla asfáltica existente (cm)				15.7	
Espesor de granulares existentes (cm)				20	
Número estructural existente, SN eff				3.43	
NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO - AASHTO -93					
Confiabilidad:				90%	
So:				0.49	
ΔPSI:				2.2	
Tránsito de diseño (10 años) - N80 kN:				8,604,702	
Número estructural requerido				4.83	
NÚMERO ESTRUCTURAL FALTANTE - AASHTO -93					
Espesor de fresado considerado (cm):				7.0	
Número estructural de material fresado, SNfresado				0.83	
Espesor de mezcla remanente luego de fresado (cm):				8.7	
Número estructural remanente después de fresar:				2.60	
Uso estructural de las capas asfáltica remanentes:				Si se considera en el análisis	
Espesor de granulares considerado para los análisis (cm):				20	
Número estructural faltante (aporte)				2.23	
ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES					
No.	Tipo	Mezcla	Espesor mm	Coeficiente estructural a1	Total aporte estructural
1	Rodadura	MSC-19 Fibra	60	0.38	0.898
	Base	MAM-25	80	0.48	1.512
	Total espesor, mm:		140	Total aporte SN:	2.41
	Incremento de nivel de rasante, cm:		7.0	CUMPLE:	CUMPLE
No.	Tipo	Mezcla	Espesor mm	Coeficiente estructural a1	Total aporte estructural
2	Rodadura	SMA TIPO B	50	0.20	0.394
	Base	MAM-25	100	0.48	1.890
	Total espesor, mm:		150	Total aporte SN:	2.28
	Incremento de nivel de rasante, cm:		8.0	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 21. Planteamiento de alternativas por metodología AASHTOI-93 para el sector 2– Calle 10A entre Cras. 38 y 42 (inicio del deprimido)

CALLE 10A ENTRE CARRERAS 36 Y 43D - MEDELLÍN					
SECTOR HOMOGÉNEO	LOCALIZACIÓN			ABSCISAS	
2	Entre carrera 38 y el inicio del deprimido (carrera 42)			K0+175-K0+430	
CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE					
Módulo resiliente de la subrasante (psi):				3494	(245.6 kg/cm2)
Módulo del material granular (kg/cm2):				997.7	
Módulo de capas asfálticas existentes (kg/cm2):				14554	
Coeficiente estructura de mezcla asfáltica existente, a_i				0.20	
Espesor de mezcla asfáltica existente (cm)				6.5	
Espesor de granulares existentes (cm)				56.5	
Número estructural existente, SN eff				3.66	
NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO - AASHTO -93					
Confiabilidad:				90%	
So:				0.49	
ΔPSI:				2.2	
Tránsito de diseño (10 años) - N80 kN:				8,604,702	
Número estructural requerido				5.83	
NÚMERO ESTRUCTURAL FALTANTE - AASHTO -93					
Espesor de fresado considerado (cm):				13.0	
Número estructural de material fresado, SNfresado				1.02	
Espesor de mezcla remanente luego de fresado (cm):				0.0	
Número estructural remanente después de fresar:				2.64	
Uso estructural de las capas asfáltica remanentes:				No se considera en el análisis	
Espesor de granulares considerado para los análisis (cm):				50.0	
Número estructural faltante (aporte)				3.19	
ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES					
No.	Tipo	Mezcla	Espesor mm	Coeficiente estructural a1	Total aporte estructural
1	Rodadura	MSC-19 Fibra	90	0.38	1.346
	Base	MAM-25	100	0.48	1.890
	Total espesor, mm:		190	Total aporte SN:	3.24
	Incremento de nivel de rasante, cm:		6.0	CUMPLE:	CUMPLE
No.	Tipo	Mezcla	Espesor mm	Coeficiente estructural a1	Total aporte estructural
2	Rodadura	MSC-19 Fibra	70	0.38	1.047
	Base	MAM-25	120	0.48	2.268
	Total espesor, mm:		190	Total aporte SN:	3.31
	Incremento de nivel de rasante, cm:		6.0	CUMPLE	CUMPLE

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Tabla 22. Planteamiento de alternativas por metodología AASHTOI-93 para el sector 3– Calle 10A entre fin del deprimido y carrera 43D

CALLE 10A ENTRE CARRERAS 36 Y 43D - MEDELLÍN		
SECTOR HOMOGÉNEO	LOCALIZACIÓN	ABSCISAS
3	Entre salida del deprimido y carrera 43D	K0+580-K0+770

CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE		
Módulo resiliente de la subrasante (psi):	3334	(234.4 kg/cm2)
Módulo del material granular (kg/cm2):	968.2	
Módulo de capas asfálticas existentes (kg/cm2):	15755	
Coeficiente estructura de mezcla asfáltica existente, a_i	0.25	
Espesor de mezcla asfáltica existente (cm)	23.0	
Espesor de granulares existentes (cm)	20	
Número estructural existente, SN eff	3.53	
NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO - AASHTO -93		
Confiabilidad:	90%	
So:	0.49	
ΔPSI:	2.2	
Tránsito de diseño (10 años) - N80 kN:	7,170,587	
Número estructural requerido	5.78	
NÚMERO ESTRUCTURAL FALTANTE - AASHTO -93		
Espesor de fresado considerado (cm):	12.0	
Número estructural de material fresado, SNfresado	1.18	
Espesor de mezcla remanente luego de fresado (cm):	11.0	
Número estructural remanente después de fresar:	2.35	
Uso estructural de las capas asfáltica remanentes:	Si se considera en el análisis	
Espesor de granulares considerado para los análisis (cm):	20	
Número estructural faltante (aporte)	2.25	

ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES					
No.	Tipo	Mezcla	Espesor mm	Coeficiente estructural a1	Total aporte estructural
1	Rodadura	MSC-19 Fibra	60	0.38	0.898
	Base	MAM-25	80	0.48	1.512
	Total espesor, mm:		140	Total aporte SN:	2.41
	Incremento de nivel de rasante, cm:		2.0	CUMPLE:	CUMPLE
No.	Tipo	Mezcla	Espesor mm	Coeficiente estructural a1	Total aporte estructural
2	Rodadura	MSC-19 Fibra	80	0.38	1.197
	Base	MAM-25	60	0.48	1.134
	Total espesor, mm:		140	Total aporte SN:	2.33
	Incremento de nivel de rasante, cm:		2.0	CUMPLE	CUMPLE

Cada una de las estructuras se verifica mediante la evaluación de esfuerzos y deformaciones, para lo cual se establecen los siguientes parámetros admisibles, según lo indicado previamente:

- *Deformación radial o por tracción en la mezcla asfáltica. ε_t*

Tabla 23. *Deformación radial admisible en la mezcla asfáltica*

Sector	Mezcla	$N_{80\ kN}$	Factor desplazamiento	ε_t admisible
Sectores 1 y 2	SMA	8,604,702	18.4	**3.34.E-04**
	MSC-19 Fibra	8,604,702	18.4	**1.39.E-04**
	MAM-25	8,604,702	18.4	**1.44.E-04**
	Mezcla existente	8,604,702	8.25	**3.06.E-04**
Sector 3	SMA	7,170,587	18.4	**3.39.E-04**
	MSC-19 Fibra	7,170,587	18.4	**1.44.E-04**
	MAM-25	7,170,587	18.4	**1.47.E-04**
	Mezcla existente	7,170,587	8.25	**3.15.E-04**

- *Deformación y esfuerzo por compresión en la subrasante, ε_z y σ_z*

Tabla 24. *Deformación y esfuerzo admisible por compresión en la subrasante*

Sector homogéneo	E (psi)	E (kg/cm²)	$N_{80\ kN}$	σ_z (kg/cm²)	σ_z (MPa)	ε_z
Sector 1	6,490	456	8,604,702	0.54559	**0.0535**	**3.877E-04**
Sector 2	3,494	245.6	8,604,702	0.29373	**0.0288**	**3.877E-04**
Sector 3	3,334	234.4	7,170,587	0.28296	**0.0277**	**4.058E-04**

En resumen, las alternativas a evaluar son las siguientes:

Tabla 25. *Alternativas iniciales para revisión de esfuerzos y deformaciones – Calle 10A entre carreras 36 y 43D – Medellín*

RESUMEN DE INTERVENCIONES INICIALES PROPUESTAS EN TRAMOS DE REHABILITACIÓN CALLE 10A ENTRE CARRERAS 36 Y 43D - MEDELLÍN												
Sector homomgéneo			Alternativa	Retiro de capas asfálticas / fresado cm	Mezcla asfáltica remanente considerada cm	Tratamiento superficie actual o remanente después de fresar	Mezcla asfaltica			Espesor total (cm)	Incremento cota. (cm)
							Base	Rodadura			
No.	Descripción	Abscisa					MAM-25	MSC-19 con fibra	SMA Tipo B		
1	Calle 10A entre carreras 36 y 38	K0+000 a K0+175	1	7.0	8.7	Parcheo fallos /sello grietas	8.0	6.0	-	14.0	7.0
			2	7.0	8.7		10.0	-	5.0	15.0	8.0
2	Calle 10A entre carreras 38 y 42 (inicio del deprimido)	K0+175 a K0+430	1	13.0	0.0	Retiro de mezcla remanente suelta y compactación superficial de granular. En sectores con mezcla remanente: parcheo de fallos y sello de grietas	10.0	9.0	-	19.0	6.0
			2	13.0	0.0		12.0	7.0	-	19.0	6.0
3	Calle 10A entre salida del deprimido y carrera 43D	K0+580 a K0+770	1	12.0	11.0	Parcheo fallos /sello grietas	8.0	6.0	-	14.0	2.0
			2	12.0	11.0		6.0	8.0	-	14.0	2.0

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

El resultado de la verificación elástica se resume en la tabla siguiente, donde se puede apreciar para cada condición que la relación de los valores actuantes sobre los admisibles, denominada como consumo de fatiga, se excede el 100% en algunos casos, los cuales se presentan resaltados en rojo y requieren ajuste, por lo que se presenta la estructura ajustada (valores en verde) y validada.

Tabla 26. *Verificación de esfuerzos y deformaciones para cada sector. Alternativas iniciales y ajustadas – Calle 10ª entre carreras 36 y 43D – Medellín*

SECTOR	ALTER-NATIVA	CAPA	ESPESOR cm	PARÁMETRO	VALOR DE SERVICIO	VALOR ADMISIBLE	% CONSUMO (Vs/Vadm) x 100	% RESERVA (100 - CONSUMO)
SECTOR 1	1	MSC-19 Fibra	6.0	ε_t	5.60E-05	-1.39E-04	-40.29	140.29
		MAM-25	8.0	ε_t	-5.76E-05	-1.44E-04	40.00	60.00
		Mezcla existente	8.7	ε_t	-1.60E-04	-3.06E-04	52.29	47.71
		Subrasante	-	ε_z	3.82E-04	3.88E-04	98.52	1.48
			-	σ_z (kg/cm2)	0.19782	0.5456	36.26	63.74
SECTOR 1	2	SMA	5.0	ε_t	9.90E-05	-3.34E-04	-29.64	129.64
		MAM-25	10.0	ε_t	-5.56E-05	-1.44E-04	38.61	61.39
		Mezcla existente	8.7	ε_t	-1.63E-04	-3.06E-04	53.27	46.73
		Subrasante	-	ε_z	3.95E-04	3.88E-04	101.87	-1.87
			-	σ_z (kg/cm2)	0.20394	0.5456	37.38	62.62
SECTOR 1	2 AJUSTADA	SMA	5.0	ε_t	9.32E-05	-3.34E-04	-27.90	127.90
		MAM-25	11.0	ε_t	-5.64E-05	-1.44E-04	39.17	60.83
		Mezcla existente	8.7	ε_t	-1.53E-04	-3.06E-04	50.00	50.00
		Subrasante	-	ε_z	3.70E-04	3.88E-04	95.43	4.57
			-	σ_z (kg/cm2)	0.19170	0.5456	35.14	64.86
SECTOR 2	1	MSC-19 Fibra	9.0	ε_t	2.51E-05	-1.39E-04	-18.06	118.06
		MAM-25	10.0	ε_t	-1.77E-04	-1.44E-04	122.92	-22.92
		Subrasante	-	ε_z	4.07E-04	3.88E-04	104.97	-4.97
			-	σ_z (kg/cm2)	0.10809	0.2937	36.80	63.20
SECTOR 2	1 AJUSTADA	MSC-19 Fibra	10.0	ε_t	-1.87E-06	-1.39E-04	1.35	98.65
		MAM-25	12.5	ε_t	-1.44E-04	-1.44E-04	100.00	0.00
		Subrasante	-	ε_z	3.33E-04	3.88E-04	85.88	14.12
			-	σ_z (kg/cm2)	0.08973	0.2937	30.55	69.45
SECTOR 2	2	MSC-19 Fibra	7.0	ε_t	5.49E-05	-1.39E-04	-39.50	139.50
		MAM-25	12.0	ε_t	-1.76E-04	-1.44E-04	122.22	-22.22
		Subrasante	-	ε_z	4.02E-04	3.88E-04	103.68	-3.68
			-	σ_z (kg/cm2)	0.10707	0.2937	36.45	63.55
SECTOR 2	2 AJUSTADA	MSC-19 Fibra	7.5	ε_t	4.54E-05	-1.39E-04	-32.66	132.66
		MAM-25	15.0	ε_t	-1.42E-04	-1.44E-04	98.61	1.39
		Subrasante	-	ε_z	3.28E-04	3.88E-04	84.59	15.41
			-	σ_z (kg/cm2)	0.08831	0.2937	30.06	69.94

SECTOR	ALTER-NATIVA	CAPA	ESPESOR cm	PARÁMETRO	VALOR DE SERVICIO	VALOR ADMISIBLE	% CONSUMO (Vs/Vadm) x 100	% RESERVA (100 - CONSUMO)
SECTOR 3	1	MSC-19 Fibra	6.0	ε_t	6.48E-05	-1.44E-04	-45.00	145.00
		MAM-25	8.0	ε_t	-8.48E-05	-1.47E-04	57.69	42.31
		Mezcla existente	11.0	ε_t	-2.14E-04	-3.15E-04	67.94	32.06
		Subrasante	-	ε_z	5.25E-04	4.06E-04	129.37	-29.37
			-	σ_z (kg/cm2)	0.13868	0.2830	49.01	50.99
SECTOR 3	1 AJUSTADA	MSC-19 Fibra	7.0	ε_t	4.60E-05	-1.44E-04	-31.94	131.94
		MAM-25	12.0	ε_t	-7.67E-05	-1.47E-04	52.18	47.82
		Mezcla existente	11.0	ε_t	-1.58E-04	-3.15E-04	50.16	49.84
		Subrasante	-	ε_z	3.88E-04	4.06E-04	95.61	4.39
			-	σ_z (kg/cm2)	0.10299	0.2830	36.40	63.60
SECTOR 3	2	MSC-19 Fibra	8.0	ε_t	3.45E-05	-1.44E-04	-23.96	123.96
		MAM-25	6.0	ε_t	-8.26E-05	-1.47E-04	56.33	43.67
		Mezcla existente	11.0	ε_t	-2.17E-04	-3.15E-04	68.89	31.11
		Subrasante	-	ε_z	5.33E-04	4.06E-04	131.34	-31.34
			-	σ_z (kg/cm2)	0.14072	0.2830	49.73	50.27
SECTOR 3	2 AJUSTADA	MSC-19 Fibra	9.0	ε_t	2.86E-05	-1.44E-04	-19.86	119.86
		MAM-25	10.0	ε_t	-7.60E-05	-1.47E-04	51.70	48.30
		Mezcla existente	11.0	ε_t	-1.60E-04	-3.15E-04	50.79	49.21
		Subrasante	-	ε_z	3.94E-04	4.06E-04	97.09	2.91
			-	σ_z (kg/cm2)	0.10503	0.2830	37.12	62.88

Tal como se observa en la tabla anterior, algunas de las estructuras iniciales no cumplen con los valores admisibles de deformación en la subrasante, por lo que se hace un ajuste y una nueva verificación (Espesores ajustados se resaltan en verde).

Las memorias de cálculo de los esfuerzos y deformaciones actuantes, que fueron obtenidos mediante el software DEPAV, se presentan en el anexo D.

5.8 RESUMEN DE LAS INTERVENCIONES PROPUESTAS

Finalmente, luego de verificar los espesores dimensionados a través de la metodología AASHTO 1993 y mediante el método racional, se realizaron ajustes con el fin de no exceder los parámetros de control:

El resumen de las alternativas obtenidas para los diferentes sectores. se presenta a continuación:

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Tabla 27. Alternativas ajustadas– Calle 10ª entre carreras 36 y 43D - Medellín

RESUMEN DE INTERVENCIONES AJUSTADAS PROPUESTAS EN TRAMOS DE REHABILITACIÓN CALLE 10A ENTRE CARRERAS 36 Y 43D - MEDELLÍN											
Sector			Alternativa	Retiro de capas asfálticas / fresado cm	Mezcla asfáltica remanente considerada cm	Tratamiento superficie actual o remanente después de fresar	Mezcla asfaltica			Espesor total (cm)	Incremento cota, (cm)
							Base	Rodadura			
No.	Descripción	Abscisa					MAM-25	MSC-19 con fibra	SMA Tipo B		
1	Calle 10A entre carreras 36 y 38	K0+000 a K0+175	1	7.0	8.7	Parcheo fallos /sello grietas	8.0	6.0	-	14.0	7.0
			2	7.0	8.7		11.0	-	5.0	16.0	9.0
2	Calle 10A entre carreras 38 y 42 (inicio del deprimido)	K0+175 a K0+430	1	13.0	0.0	Retiro de mezcla remanente suelta y compactación superficial de granular. En sectores con mezcla remanente: parcheo de fallos y sello de grietas	12.5	10.0	-	22.5	9.5
			2	13.0	0.0		15.0	7.5	-	22.5	9.5
3	Calle 10A entre salida del deprimido y carrera 43D	K0+580 a K0+770	1	12.0	11.0	Parcheo fallos /sello grietas	12.0	7.0	-	19.0	7.0
			2	12.0	11.0		10.0	9.0	-	19.0	7.0

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para las actividades previstas, se atenderá todo lo enunciado en las Especificaciones generales de construcciones de carreteras del ***INVIAS 2022.*** *Se requieren diseños de mezclas actualizados, además se sugiere realizar la caracterización dinámica de la mezcla, que permita establecer su módulo y su ley de fatiga y realizar los ajustes que sean necesarios.*

Los materiales para usar en la estructura se identifican de la siguiente manera:

- *Mezcla asfáltica tipo MSC-19 con fibra, para rodadura para NT3, según Invías, artículo 450-22*

- *Mezcla asfáltica tipo MAM-25 como capa de base para NT3, según Invías, artículo 450-22*

- *Mezcla asfáltica SMA Tipo B como capa de rodadura, según protocolo AMAAC PA-CR 04/2015.*

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Todos los materiales que se usen para la construcción de la estructura vial deberán cumplir con los requisitos de calidad establecidos en las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras del INVÍAS, versión 2022 para niveles de tránsito NT3 y se deberán realizar los controles allí exigidos, con la frecuencia normalizada.
Es necesario garantizar una rápida evacuación de las aguas superficiales en todas las etapas de la construcción, mediante la implementación de cunetas y obras provisionales que eviten el encharcamiento y la alteración de los materiales.

En la revisión realizada al diseño suministrado, identificado como CL-0809-25-623-01-07 Rev 0 del 01-07-2025, se han encontrado algunos aspectos, que esta consultoría considera, deben ser ajustados, tales como:

- *Revisión del tránsito de diseño*
- *Expresiones empleadas para establecer el módulo de las capas granulares y asfálticas.*
- *Parámetros de evaluación a partir de la metodología AASHTO-93*
- *Metodología empleada para determinar módulo resiliente de subrasante, número estructural efectivo, pues no es claro el uso de las deflexiones para este fin y no se presentan memorias de cálculo.*
- *Sectorización del tramo por condiciones estructurales evidenciadas.*
- *Ajuste de módulos de las mezclas para las condiciones de operación de la vía y materiales disponibles.*
- *Criterios de evaluación elástica, referentes a la fricción de capas granulares con subrasante, situación que cambia considerablemente los resultados de la deformación por compresión de la subrasante.*

Los resultados de los análisis realizados, muestran un vía afectada superficialmente, viéndose comprometida la capacidad estructural del pavimento, lo cual se está reflejando en agrietamientos por fatiga, deformaciones y reparaciones, con severidad media y alta. Con base en esto, se plantea dentro de las recomendaciones de intervención, el retiro total o parcial de la carpeta asfáltica existente, según las condiciones encontradas en cada caso.

Se definen tres (3) sectores homogéneos, de acuerdo a su condición estructural evidenciada, así:

- *Sector 1: k0+000-k0+175. Calle 10A entre Carreras 36 y 38*
- *Sector 2: k0+175-k0+430. Calle 10A entre Carreras 38 y 42 (inicio deprimido)*
- *Sector 3: k0+580-k0+770. Calle 10A entre Salida del deprimido y carrera 43D*

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

El tránsito de diseño establecido, de 15'642,360 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño para el período de diseño de 10 años, parece alto al contrastar con las observaciones directas de campo, por lo que se hace un análisis y una nueva evaluación con base en la información disponible, obteniendo los valores de ***8'604,702*** *para los sectores 1 y 2 y* ***7'170,587*** *para el sector 3.*

Se analizan diferentes alternativas de intervención y se plantea como adecuadas: el refuerzo previo fresado de la capa superficial de mezcla asfáltica y reposición de mezclas, empleando SMA, MSC-19 con fibra y MAM-25, según lo solicitado.

Se recomienda realizar una evaluación de campo, previa a la intervención, donde se validen los espesores de las capas granulares y asfálticas existentes, encontradas en la exploración de campo del diseño existente, con el fin de minimizar la incertidumbre, dado que solo se cuenta con un apique efectivo para todo el tramo en estudio.

Debe tenerse en cuenta que se ha considerado un espesor de fresado promedio para cada tramo, sin embargo, algunos sectores pueden presentar algunos valores inferiores y puede exponerse el material granular existente. Cuando se presente esta situación, debe garantizarse que se mantienen las condiciones del material granular, evitando su humedecimiento.

También debe tenerse el cuidado de sellar las grietas y reparar los daños remanentes después de fresar.

Dado que las alternativas planteadas, generan incrementos de cota, debe garantizarse una transición adecuada, excavando la estructura propuesta, en un desarrollo longitudinal de aproximadamente 10 metros, con el fin de no disminuir la estructura requerida para atender el tránsito previsto. Además, debe garantizarse el adecuado drenaje superficial de la vía, garantizando que el agua llega a las estructuras de drenaje existentes.

Tal como es bien sabido, los resultados obtenidos en el diseño, deben ser sólo una guía para el constructor, quien debe hacer los ajustes necesarios y oportunos, a medida que avanza el trabajo.

En el proceso de fresado y retiro de la capa asfáltica, se requiere revisar la superficie remanente después de realizar la actividad, garantizando que los daños que permanezcan sean tratados previamente a la colocación de nuevas mezclas mediante

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

bacheos profundos y en caso de ser expuesta la grava, debe hacerse un trabajo de recompactación de la misma. En caso de que la superficie expuesta al realizar el fresado, presente desprendimiento de capas asfálticas remanentes delgadas, se recomienda su retiro, dado que estas capas tan delgadas puede generar superficies débiles.

Adicionalmente, se sugiere revisar periódicamente la presencia de la capa de grava remanente, en el espesor considerado en el diseño, para lo cual se sugiere realizar exploraciones de campo previo al inicio del proceso de construcción.

De cualquier manera, las obras de pavimentación deberán precaver la acción del agua y evitar la alteración de los materiales que se expongan mediante los fresados, debido a la acción del agua y tránsito.

Se requieren todos los datos de producción actualizados, para asegurar que los materiales que se empleen cumplan los requisitos de calidad establecidos en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVÍAS 2022.

Antes de iniciar el trabajo de campo, deben definirse los ensayos y controles a realizar, la periodicidad, la forma de presentación, los responsables del trabajo y todo lo necesario, con el objeto de planear y coordinar personal y equipos, de tal forma que se obtengan rápidamente los datos necesarios.

La durabilidad de las mezclas asfáltica en rodadura no solo depende del diseño estructural adelantado, sino de las condiciones medioambientales, el tipo y calidad de los asfaltos utilizados, los cambios que pudiesen presentarse en el tipo y cargas permitidos para los vehículos en el tiempo y el mantenimiento de la vía principalmente.

El éxito de estos procesos radica en un control preciso de todos los parámetros involucrados, por lo que debe exigirse al constructor una infraestructura suficiente.

Los tramos en los que cambien las características de los materiales encontrados o los espesores de los mismos, deben ser revisados cuidadosamente, evaluando mediante ensayos de campo y laboratorio su comportamiento.

Cualquier cambio que se presente durante la ejecución de la obra, relacionado con los diseños ejecutados, deberá ser informado oportunamente a esta oficina, para realizar los ajustes a que haya lugar.

En caso de que se requiere tratar zonas mediante parcheos o bacheos, con o sin capas de pavimento continuas sobre ellos, se establecen las recomendaciones para realizar los parcheos estructurales:

- *La geometría de las zonas a intervenir debe ser de ángulos rectos y su tamaño debe ser tal que sea posible operar una máquina compactadora adecuada para los espesores a compactar, trabajando cómodamente.*

- *Las marcas deberán hacerse por fuera de las zonas falladas, por lo menos 0,30 metros, eliminando zonas débiles alrededor de los fallos.*

- *En lo posible, si hay fallos a lado y lado del eje, se recomienda tratar todo el ancho de la calzada.*

- *Se debe eliminar la grava de apoyo que se encuentre contaminada o excesivamente húmeda y remplazarla por materiales de base granular tipo Invias 2013. Si se definen pequeñas áreas y no puede lograrse el 100% de la densidad de la base granular, se recomienda colocar por lo menos 0,15 m de mezcla asfáltica.*

- *Cuando se tiene un espesor igual o menor a 0,15 metros en la caja del bacheo, se deberá rellenar totalmente con mezcla asfáltica apropiada.*

- *El control de calidad de los parcheos o bacheos, deberá incluir la extracción de núcleos para medición de espesores y densidad, conforme la norma Invias 2013. Esto debe hacerse antes de la colocación de las capas asfálticas continuas, cuando aplique.*

- *Especial tratamiento requieren los parcheos existentes y que ya presentan lesiones evidentes, pues será necesario establecer el motivo de la falla reiterada, antes de volver a incurrir en el mismo problema. Si se requiere deberá realizarse un apique y si no se encuentra el problema o no se autoriza un tratamiento seguro, sería preferible no adelantar el trabajo, dado la incertidumbre del comportamiento futuro.*

- *En general, deberán seguirse con detalle las Especificaciones Generales de Carreteras Invias 2022*

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

Todo lo anterior deberá ser confrontado y complementado con las observaciones de campo durante la construcción y en caso de situaciones no previstas en este informe, deberá avisarse a esta oficina.

7. LIMITACIONES

El presente estudio se basa en la información disponible al momento, tanto de tránsito como las exploraciones y mediciones realizadas y la información de las mezclas asfálticas a emplear. Cualquier cambio en dicha información implica cambios en los diseños.

La información de tránsito disponible data del año 2010, por lo que debe ser verificado en detalle su vigencia, lo que está por fuera del alcance de este estudio.

Las observaciones, opiniones y recomendaciones presentadas, se basan en la experiencia y conocimientos de los profesionales que apoyan este trabajo.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *Ara Inc, Eres Consultants Division (March 2004). Guide for mechanistic – empirical design of new and rehabilitated pavement structures. Final report, Part 2, Chapter 2, Champaign, Illinois.*
- *Instituto Nacional de Vías, Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras, Segunda Ed. Bogotá, 2008.*
- *Instituto Nacional de Vías. Especificaciones generales para construcción de carreteras. Bogotá, 2022*
- *AASTHO, American Association of State Hiqhway and Transportation Officials. Guide for design of pavement structures 1993. Washington D.C., 1993*
- *Serrano Lean, Jorge. Auscultación de las características estructurales. Deflectómetros de impacto. Centro de Estudios de Carreteras, CEDEX, 2002*
- *Fernando Sánchez Sabogal, Fernando; Campagnoli Martínez, Sandra Ximena. Pavimentos asfálticos de carreteras: guía Práctica para los estudios y diseños.- Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2016.*

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

ANEXOS

A. DETERMINACIÓN DE MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE Y NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO
B. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE CAPAS GRANULARES Y ASFÁLTICAS
C. VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

ANEXO A

DETERMINACIÓN DE MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE Y NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO

DEFLEXIONES MEDIDAS EN LA CALLE 10a ENTRE CARRERAS 36 Y 43D

(c) ROAD SYSTEM 2018, Metric

Client Code:	Inteinsa Pavimentos S.A.S.
Road number:	Malla vial Medellín
Name of Client:	Inteinsa Pavimentos S.A.S.
District number:	Medellín, Ant
Road reference:	-
Start reference:	K0+000
Date (dd/mm/yy):	21/03/2025
FWD Number:	Evaltech (1109-445)
Load plate radius (mm)	150

	R(2)	R(3)	R(4)	R(5)	R(6)	R(7)	R(9)	R(11)	R(12)	R(14)
Radial offset (cm)	0	20	30	45	60	90	120	150	180	210
Tolerance (%)	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10
Correction (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Filter ON:	60 Hz									

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES
DEFLEXIONES MALLA VIAL MUNICPIO DE MEDELLÍN
CALLE 10A ENTRE CARRERAS 36 Y 43D

Localización del punto		Coordenadas		Calda	Deflexiones (µm)										Carga	Esfuerzo	Temperatura(°C)			Tiempo de	Observaciones
Abscisa	Carril	Latitud	Longitud		D(2)	D(3)	D(4)	D(5)	D(6)	D(7)	D(9)	D(11)	D(12)	D(14)	kN	kPa	Sup.	Aire	Man	Pulso (ms)	
Derecho	K0+002	6.209712	-75.565813	1	282.7	237.2	201.5	153.0	130.4	76.7	43.3	25.9	21.4	16.0	40.85	577.9	24.5	24.0	26.8	25.3	
				2	280.7	233.8	201.0	152.8	131.2	76.7	42.8	27.1	21.2	15.9	40.88	578.3	24.4	24.0	26.8	25.5	
Derecho	K0+100	6.210013	-75.566675	1	197.2	177.7	144.0	106.2	89.4	59.6	41.5	30.2	24.1	16.1	40.97	579.6	24.3	23.8	26.8	25.8	
				2	197.4	175.4	144.8	106.7	90.5	59.2	43.9	31.1	24.9	16.6	41.46	586.6	24.3	23.8	26.8	26.0	
Derecho	K0+201	6.210347	-75.567507	1	781.5	612.9	510.8	372.6	311.0	182.9	107.7	70.3	48.7	36.0	40.38	571.2	24.4	23.7	26.8	26.3	Castello
				2	776.8	604.4	506.9	371.1	306.4	180.6	106.7	68.8	47.5	35.1	40.31	570.3	24.3	23.7	26.8	26.5	
Derecho	K0+300	6.210667	-75.568322	1	381.8	297.4	248.4	173.3	141.6	74.1	54.9	42.3	34.4	25.2	40.00	565.9	24.3	23.8	26.8	25.8	Calle 10A No 40 - 68
				2	394.9	306.4	256.5	178.3	143.2	77.3	56.6	43.7	35.6	26.0	41.10	581.4	24.3	23.8	26.8	25.8	
Derecho	K0+401	6.210987	-75.569158	1	624.0	458.8	364.7	229.9	174.5	81.0	44.4	30.3	24.8	17.8	41.37	585.2	24.5	23.9	26.8	26.0	FT - FL
				2	619.7	449.1	358.3	227.3	168.4	79.7	43.2	30.7	24.9	18.5	40.87	578.2	24.4	23.9	26.8	26.0	
Derecho	K0+500	6.211225	-75.570015	1	126.8	122.1	116.4	101.8	102.0	81.4	61.1	46.1	33.0	20.2	41.04	580.7	24.4	24.1	26.8	25.8	Losa concreto
				2	124.2	122.3	114.1	99.7	100.6	79.5	59.6	45.4	32.4	20.2	40.28	569.8	24.3	24.2	26.8	25.5	
Derecho	K0+600	6.211738	-75.570705	1	522.1	466.9	419.3	325.5	275.3	163.8	97.4	60.6	43.2	29.2	40.19	568.6	24.5	24.2	26.8	26.3	
				2	512.8	459.4	413.2	321.5	267.2	160.8	95.1	60.2	42.2	29.4	39.97	565.5	24.5	24.2	26.8	26.5	
Derecho	K0+696	6.212102	-75.571483	1	400.9	356.4	318.7	242.6	208.0	127.8	79.2	53.7	39.5	28.2	41.18	582.6	24.3	24.1	26.8	25.8	
				2	387.2	337.9	302.7	230.2	197.0	122.0	75.8	50.6	37.3	26.2	39.71	561.8	24.3	24.1	26.8	26.0	
Izquierdo	K0+050	6.209820	-75.566167	1	329.5	275.4	231.3	171.2	149.7	91.6	60.7	41.9	31.7	21.2	41.83	591.8	24.6	24.2	26.2	25.8	
				2	327.4	275.0	230.9	171.9	150.3	92.3	61.3	42.5	32.0	22.0	41.68	589.6	24.6	24.2	26.2	25.5	
Izquierdo	K0+150	6.210165	-75.566983	1	216.1	202.7	139.7	91.0	72.5	44.7	31.0	23.7	19.4	13.6	42.55	601.9	24.6	24.1	26.2	25.8	
				2	207.8	189.5	135.0	88.4	72.2	43.4	29.6	23.2	19.1	13.4	41.26	583.7	24.5	24.1	26.2	25.8	
Izquierdo	K0+250	6.210507	-75.567862	1	634.1	505.9	430.2	312.6	259.0	138.4	91.6	71.4	58.7	46.9	40.83	577.7	24.6	24.0	26.2	26.3	
				2	616.3	492.5	419.2	305.0	252.4	135.0	89.8	70.0	57.9	46.9	39.92	564.8	24.6	24.0	26.2	26.0	
Izquierdo	K0+350	6.210777	-75.568717	1	593.6	476.6	409.2	295.1	236.5	126.5	78.0	58.8	46.3	35.5	40.01	566.1	24.6	24.2	26.2	25.8	Selecta eventos
				2	598.0	480.6	413.4	298.1	241.0	128.5	77.7	59.2	48.9	36.4	40.49	572.9	24.6	24.2	26.2	26.5	
Izquierdo	K0+450	6.211075	-75.569537	1	256.8	250.4	239.1	216.5	216.3	170.4	129.8	95.3	67.3	44.8	41.13	581.8	24.5	24.1	26.2	25.8	Losa concreto
				2	253.6	247.6	236.4	214.6	214.6	169.2	128.3	96.1	67.6	45.5	40.77	576.8	24.5	24.1	26.2	25.5	
Izquierdo	K0+550	6.211315	-75.570397	1	147.2	144.8	139.2	122.2	121.9	103.6	83.6	70.0	28.2	20.0	39.78	562.8	24.6	24.0	26.2	25.3	
				2	148.3	148.1	137.8	121.1	121.1	102.1	83.1	69.0	27.6	20.5	39.62	560.5	24.6	24.1	26.2	25.5	
Izquierdo	K0+650	6.211875	-75.571098	1	328.1	302.1	281.0	240.8	226.5	159.0	109.3	72.2	47.2	30.3	39.98	565.7	24.7	24.1	26.2	26.0	
				2	317.9	293.2	272.5	233.5	219.6	153.3	105.3	69.8	46.4	29.0	39.17	554.2	24.6	24.1	26.2	26.3	
Izquierdo	K0+750	6.212218	-75.571898	1	349.2	316.2	296.0	251.7	235.6	167.5	119.2	85.0	61.4	43.7	41.82	591.6	24.6	24.0	26.2	26.3	Mascerca Poblada
				2	350.6	318.1	297.7	253.2	238.9	169.3	120.6	86.1	63.4	44.8	41.80	591.4	24.6	24.0	26.2	25.8	

DEFLEXIONES NORMALIZADAS POR CARGA Y TEMPERATURA

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MALLA VIAL MUNICIPIO DE MEDELLÍN - CALLE 10A ENTRE CARRERAS 36 Y 43D																DEFLEXIONES NORMALIZADAS A 40kN Y 20°C MALLA VIAL MUNICIPIO DE MEDELLÍN - CALLE 10A ENTRE CARRERAS 36 Y 43D																
Localización		Deflexiones sin normalizar (µm)										Carga kN	Esfuerzo kPa	Carga estándar de normalización (kN)	Deflexiones normalizadas por carga (µm)										Temperatura(°C)			Temperatura Pav. (°F)	Temperatura de normalización (°C)	Espesor mezcla asfáltica (cm)	Factor de corección por temperatura	Deflexiones máximas normalizadas por carga y temperatura (µm)
Abscisa	Carril	D(2)	D(3)	D(4)	D(5)	D(6)	D(7)	D(9)	D(11)	D(12)	D(14)				D(2)	D(3)	D(4)	D(5)	D(6)	D(7)	D(9)	D(11)	D(12)	D(14)	Sup.	Aire	Mon.					D(1)
K0+001	Derecho	280.7	233.8	201.0	152.8	131.2	76.7	42.8	27.1	21.2	15.9	40.88	578.3	40.0	274.7	228.8	196.7	149.5	128.4	75.1	41.9	26.5	20.7	15.6	24.4	24.0	26.8	80	20	15.7	0.903	248.1
K0+050	Izquierdo	327.4	275.0	230.9	171.9	150.3	92.3	61.3	42.5	32.0	22.0	41.68	589.6	40.0	314.2	264.0	221.6	165.0	144.3	88.6	58.9	40.8	30.7	21.1	24.6	24.2	26.2	79	20	15.7	0.911	286.3
K0+100	Derecho	197.4	175.4	144.8	106.7	90.5	59.2	41.9	31.1	24.9	16.6	41.46	586.6	40.0	190.5	169.2	139.6	102.9	87.3	57.1	40.4	30.0	24.0	16.1	24.3	23.8	26.8	80	20	15.7	0.903	172.1
K0+150	Izquierdo	207.8	189.5	135.0	88.4	72.2	43.4	29.6	23.7	19.1	13.4	41.26	583.7	40.0	201.4	183.7	130.8	85.7	70.0	42.1	28.7	22.5	18.5	13.0	24.5	24.1	26.2	79	20	15.7	0.911	183.5
K0+201	Derecho	776.8	604.4	506.9	371.1	306.4	180.6	106.7	68.8	47.5	35.1	40.31	570.3	40.0	770.7	599.7	502.9	368.2	304.0	179.2	105.9	68.3	47.2	34.8	24.3	23.7	26.8	80	20	6.5	0.945	728.6
K0+250	Izquierdo	616.3	492.5	419.2	305.0	252.4	135.0	89.8	70.0	57.9	46.9	39.92	564.8	40.0	617.6	493.5	420.1	305.6	252.9	135.3	90.0	70.2	58.0	47.0	24.6	24.0	26.2	79	20	6.5	0.950	586.6
K0+300	Derecho	394.9	306.4	256.5	178.3	143.2	77.3	56.6	42.7	35.6	26.0	41.10	581.4	40.0	384.4	298.2	249.6	173.5	139.4	75.2	55.1	42.6	34.7	25.3	24.3	23.8	26.8	80	20	6.5	0.945	363.3
K0+350	Izquierdo	598.0	480.6	413.4	298.1	241.0	128.5	77.7	59.2	48.9	36.4	40.49	572.9	40.0	590.8	474.7	408.3	294.4	238.1	126.9	76.7	58.5	48.3	36.0	24.6	24.2	26.2	79	20	6.5	0.950	561.2
K0+401	Derecho	619.7	449.1	358.3	227.3	168.4	79.7	43.2	30.7	24.9	18.5	40.87	578.2	40.0	606.5	439.5	350.7	222.4	164.8	78.0	42.3	30.1	24.4	19.1	24.4	23.9	26.8	80	20	6.5	0.945	573.3
K0+600	Derecho	512.8	459.4	413.2	321.5	267.2	160.8	95.1	60.2	42.2	29.4	39.97	565.5	40.0	513.2	459.7	413.5	321.7	267.4	161.0	95.2	60.3	42.2	29.4	24.5	24.2	26.8	80	20	23	0.895	454.1
K0+650	Izquierdo	317.9	293.2	272.5	233.5	219.6	153.3	105.3	69.8	46.4	29.0	39.17	554.2	40.0	324.6	299.4	278.3	238.4	224.2	156.5	107.5	71.2	47.4	29.6	24.6	24.1	26.2	79	20	23	0.894	290.3
K0+696	Derecha	387.2	337.9	302.7	240.2	197.0	122.0	75.8	50.6	37.3	26.2	39.71	561.8	40.0	390.0	340.3	304.9	241.9	198.5	122.9	76.4	50.9	37.5	26.4	24.3	24.1	26.8	80	20	23	0.885	345.1
K0+750	Izquierdo	350.6	318.1	297.7	253.2	238.9	169.3	120.6	86.1	63.4	44.8	41.80	591.4	40.0	335.5	304.4	284.8	242.2	228.6	161.9	115.4	82.4	60.6	42.9	24.6	24.0	26.2	79	20	23	0.894	299.9

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B - 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín - Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co

MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE Y NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE - MÓDULO EFECTIVO DEL PAVIMENTO - NÚMERO ESTRUCTURAL EXISTENTE
MALLA VIAL MUNICIPIO DE MEDELLÍN - CALLE 10A ENTRE CARRERAS 36 Y 43D

Localización		Espesor carpeta (cm)	Espesor granulares (cm)	Espesor estructura pavimento D (pulg)	do (μm)	r (cm)	dr (μm)	Carga Aplicada P (lbf)	r (pulg)	dr (pulg)	MR Retrocálculo (psi)	do (pulg)	a (pulg)	p (psi)	Ep (psi)	Módulo resiliente corregido			SNeff AASHTO-93	VERIFICACIÓN ae (pulg)	0.7 ae (pulg)	0.7 ae (cm)	Cumple r ≥ 0.7 ae
Carril	Abscisa															MR (Psi)	MR (kg/cm2)	MR (MPa)					
Derecho	K0+002	15.7	20.0	14.06	253.6	90	76.7	9189.20	35.43	0.003020	20497.7	0.009982	5.91	83.87	172109.9	7174.2	504.4	49.5	3.52	29.17	20.42	51.87	SI
Izquierdo	K0+050	15.7	20.0	14.06	298.3	90	92.3	9368.94	35.43	0.003634	17371.7	0.011744	5.91	85.51	152557.9	6080.1	427.5	41.9	3.38	29.59	20.72	52.62	SI
Derecho	K0+100	15.7	20.0	14.06	178.4	90	59.2	9321.28	35.43	0.002329	26965.2	0.007022	5.91	85.08	272841.1	9437.8	663.5	65.1	4.10	30.97	21.68	55.06	SI
Izquierdo	K0+150	15.7	20.0	14.06	189.3	90	43.4	9275.97	35.43	0.001709	36569.0	0.007453	5.91	84.66	180750.6	12799.1	899.9	88.3	3.58	24.66	17.26	43.84	SI
Derecho	K0+201	6.5	56.5	24.80	734.3	90	180.6	9062.60	35.43	0.007110	8587.7	0.028908	5.91	82.72	34582.3	3005.7	211.3	20.7	3.64	39.90	27.93	70.94	SI
Izquierdo	K0+250	6.5	56.5	24.80	585.5	90	135.0	8974.49	35.43	0.005316	11375.3	0.023050	5.91	81.91	41836.4	3981.4	279.9	27.5	3.87	38.74	27.12	68.88	SI
Derecho	K0+300	6.5	56.5	24.80	373.3	90	77.3	9239.18	35.43	0.003042	20466.2	0.014698	5.91	84.33	64810.8	7163.2	503.6	49.4	4.48	36.90	25.83	65.61	SI
Izquierdo	K0+350	6.5	56.5	24.80	568.1	90	128.5	9103.19	35.43	0.005059	12123.0	0.022366	5.91	83.09	43403.7	4243.0	298.3	29.3	3.92	38.40	26.88	68.28	SI
Derecho	K0+401	6.5	56.5	24.80	585.8	90	79.7	9188.43	35.43	0.003137	19731.7	0.023065	5.91	83.86	35984.6	6906.1	485.5	47.6	3.68	30.87	21.61	54.89	SI
Derecho	K0+600	23.0	20.0	16.93	453.7	90	160.8	8985.73	35.43	0.006332	9560.8	0.017864	5.91	82.01	89391.1	3346.3	235.3	23.1	3.41	36.15	25.31	64.27	SI
Izquierdo	K0+650	23.0	20.0	16.93	284.3	90	153.3	8806.31	35.43	0.006034	9833.7	0.011191	5.91	80.38	214692.5	3441.8	242.0	23.7	4.56	47.68	33.38	84.78	SI
Derecho	K0+696	23.0	20.0	16.93	342.6	90	122.0	8927.13	35.43	0.004802	12524.2	0.013488	5.91	81.48	118082.9	4383.5	308.2	30.2	3.74	36.25	25.37	64.45	SI
Izquierdo	K0+750	23.0	20.0	16.93	313.5	90	169.3	9398.10	35.43	0.006663	9502.6	0.012342	5.91	85.78	208113.6	3325.9	233.8	22.9	4.51	47.73	33.41	84.87	SI

ANEXO B

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE CAPAS GRANULARES Y ASFÁLTICAS

MÓDULO DE LAS CAPAS GRANULARES Y ASFÁLTICAS

DETERMINACIÓN DE MÓDULOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y MATERIALES GRANULARES EXISTENTES (ECUACIONES DE REGRESIÓN DEL DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DEL ESTADO DE WASHINGTON
MALLA VIAL MUNICIPIO DE MEDELLÍN - CALLE 10A ENTRE CARRERAS 36 Y 43D

Localización		Deflexiones en pulgadas a 20°C					HCA	HG	Área aproximada bajo el cuenco de deflexión distancia de 900mm	Módulo de granulares (psi)	Módulo de granulares ajustado (x0,62) (psi)	Módulo de granulares (kg/cm2)	Módulo de granulares (MPa)	Módulo de mezclas asfálticas (psi)	Módulo de mezclas asfálticas (kg/cm²)	T mezcla °C	Factor de ajuste E20/Etm	Módulo de mezclas asfálticas a Tmezcla (kg/cm²)	Módulo de mezclas asfálticas a Tmezcla (MPa)
Descripción	Abscisa	D0	D200	D300	D600	D900	pulg	pulg											
Derecho	K0+002	0.009982	0.008315	0.007915	0.005167	0.003020	6.18	7.87	0.233	37,991	23,554	1,656	162.41	861,919	60,599	33	1.98	30587	3000
Izquierdo	K0+050	0.011744	0.009866	0.009099	0.005917	0.003634	6.18	7.87	0.272	33,607	20,837	1,465	143.67	758,147	53,303	33	1.98	26904	2638
Derecho	K0+100	0.007022	0.006239	0.005699	0.003563	0.002329	6.18	7.87	0.168	48,118	29,833	2,097	205.70	1,374,695	96,651	33	1.98	48784	4784
Izquierdo	K0+150	0.007453	0.006798	0.005314	0.002843	0.001709	6.18	7.87	0.157	53,737	33,317	2,342	229.72	718,806	50,537	33	1.98	25508	2502
Derecho	K0+201	0.028908	0.023793	0.019955	0.012063	0.007110	2.56	22.24	0.605	20,583	12,761	897	87.99	541,446	38,067	33	1.98	19214	1884
Izquierdo	K0+250	0.023050	0.019389	0.016505	0.009938	0.005316	2.56	22.24	0.492	25,194	15,620	1,098	107.70	642,316	45,159	33	1.98	22794	2235
Derecho	K0+300	0.014698	0.012062	0.010098	0.005639	0.003042	2.56	22.24	0.298	37,841	23,461	1,649	161.77	814,592	57,271	33	1.98	28908	2835
Izquierdo	K0+350	0.022366	0.018920	0.016274	0.009489	0.005059	2.56	22.24	0.477	26,320	16,319	1,147	112.52	657,312	46,214	33	1.98	23326	2288
Derecho	K0+401	0.023065	0.017680	0.014108	0.005629	0.003137	2.56	22.24	0.410	32,145	19,930	1,401	137.42	278,776	19,600	33	1.98	9893	970
Derecho	K0+600	0.017864	0.016002	0.014392	0.010520	0.006332	9.06	7.87	0.447	21,099	13,081	920	90.19	406,680	28,592	33	1.98	14432	1415
Izquierdo	K0+650	0.011191	0.010323	0.009593	0.008644	0.006034	9.06	7.87	0.323	24,751	15,346	1,079	105.81	1,205,984	84,789	33	1.98	42797	4197
Derecho	K0+696	0.013488	0.011769	0.010544	0.007757	0.004802	9.06	7.87	0.331	25,802	15,997	1,125	110.30	506,070	35,580	33	1.98	17959	1761
Izquierdo	K0+750	0.012342	0.011199	0.010480	0.009407	0.006663	9.06	7.87	0.353	24,069	14,923	1,049	102.89	1,151,221	80,939	33	1.98	40854	4006

ANEXO C

VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

SECTOR 1 – ALTERNATIVA 1

Código Proyecto : CALLE 10A-S1

Descripción : S1: K0+000-K0+175 CL 10A ENTRE CARRERAS 36 Y 38

ALTERNATIVAS

Datos de Entrada

VARIABLE	VALOR
Numero de Capas (1..6) :	5
Radio de Carga (cm) :	10.5
Presión de Contacto (Kg/cm²) :	5.6
Distancia entre Ejes de Llantas (cm) :	32.4

# Capa	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm²)	Relación de Poisson (u)	Espesor (cm)	Interfase Ligada (S/N)
1	22528	0.35	8	S
2	39998	0.35	8	S
3	28032	0.35	8.7	S
4	1536.8	0.4	20	S
5	498	0.45		
6				

Resultados

# Capa	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1	0	1.9100E-004 C	8.0858E-000 B	-1.2900E-004 C	5.5982E-000 A
	8	5.3000E-005 C	4.8178E-000 B	-5.9500E-005 C	4.8034E-000 B
2	8	5.3000E-005 C	5.0883E-000 B	-5.8200E-005 C	4.8034E-000 B
	14	-5.7600E-005 B	-3.2231E-000 B	5.0700E-005 B	1.9068E-000 B
3	14	-5.7600E-005 B	-1.2236E-000 C	9.9400E-005 B	1.9068E-000 B
	22.7	-1.8000E-004 C	-5.4758E-000 C	1.5000E-004 B	4.0690E-001 B
4	22.7	-1.8000E-004 C	-5.3914E-002 C	2.9800E-004 B	4.0690E-001 B
	42.7	-1.7700E-004 C	-2.0163E-001 C	2.7800E-004 C	1.9782E-001 C
5	42.7	-1.7700E-004 C	2.1816E-002 B	3.8200E-004 C	1.9782E-001 C

Deflexión (mm/100) : 50.430

SECTOR 1 – ALTERNATIVA 2

Código Proyecto : CALLE 10A-S1

Descripción : S1: K0+000-K0+175 CL 10A ENTRE CARRERA 36 Y 38

ALTERNATIVAS

Datos de Entrada

VARIABLE	VALOR
Número de Capas (1..6) :	5
Radio de Carga (cm) :	10.8
Presión de Contacto (Kg/cm²) :	5.6
Distancia entre Ejes de Llantas (cm) :	32.4

# Capa	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm²)	Relación de Poisson (u)	Espesor (cm)	Interfase Ligada (S/N)
1	3412	0.35	5	S
2	39598	0.35	10	S
3	26032	0.35	8.7	S
4	1536.8	0.4	20	S
5	456	0.45		
6				

Resultados

# Capa	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1	0	1.7000E-004 C	4.8334E-000 B	-1.6300E-004 C	5.5962E-000 A
	5	9.9000E-005 C	3.8993E-000 B	-8.7100E-005 C	5.2817E-000 B
2	5	9.9000E-005 C	7.6108E-000 B	-1.0300E-004 C	5.2817E-000 B
	15	-5.5600E-005 B	-2.1312E-000 B	8.1200E-005 B	1.8864E-000 B
3	15	-5.5600E-005 B	-1.1522E-000 C	9.6600E-005 B	1.8864E-000 B
	23.7	-1.6300E-004 C	-5.9380E-000 C	1.5200E-004 B	4.1910E-001 B
4	23.7	-1.6200E-004 C	-5.1671E-002 C	3.0400E-004 B	4.1910E-001 B
	43.7	-1.5900E-004 C	-5.1203E-001 C	2.8600E-004 C	2.0394E-001 C
5	43.7	-1.5900E-004 C	-2.4535E-002 C	3.9500E-004 C	2.0394E-001 C

Deflexión (mm/100) : 51.200

SECTOR 1 – ALTERNATIVA 2 AJUSTADA

DEPAV

Opciones Terminar

Código Proyecto : CALLE 10A-S1

Descripción : S1: K0+000-K0+175 CL 10A ENTRE CARRERAS 36 Y 38

ALTERNATIVAS

Datos de Entrada

VARIABLE	VALOR
Número de Capas (1..6) :	5
Radio de Carga (cm) :	10.8
Presión de Contacto (Kg/cm²) :	5.8
Distancia entre Ejes de Llantas (cm) :	32.4

# Capa	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm²)	Relación de Poisson (u)	Espesor (cm)	Interfase Ligada (S/N)
1	8413	0.35	5	S
2	39998	0.35	11	S
3	28032	0.35	37	S
4	1505.8	0.4	20	S
5	466	0.45		
6				

Resultados

# Capa	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1	0	1.8100E-004 C	4.8906E-000 B	-1.5300E-004 C	5.5962E-000 B
	5	9.3200E-005 C	3.8341E-000 B	-8.2800E-005 C	5.2820E-000 B
2	5	9.3200E-005 C	7.5063E-000 B	-9.8500E-005 C	5.2820E-000 B
	16	-5.6400E-005 B	-2.3739E-000 B	7.8900E-005 B	1.8927E-000 B
3	16	-9.6400E-005 B	-1.2748E-000 C	9.2700E-005 B	1.8927E-000 B
	24.7	-1.5300E-004 C	-5.2922E-000 C	1.4300E-004 B	3.8546E-001 B
4	24.7	-1.5300E-004 C	-9.1875E-002 C	2.8000E-004 B	3.8546E-001 B
	44.7	-1.7100E-004 C	-2.9193E-001 C	2.7000E-004 C	1.9170E-001 C
5	44.7	-1.7100E-004 C	2.1414E-002 B	2.7000E-004 C	1.9170E-001 C

Deflexión (mm/100) 49.390

SECTOR 2 – ALTERNATIVA 1

DEPAV

Opciones Terminar

Código Proyecto : CALLE 10A-S2

Descripción : S2: K0+175-K0+430 CL 10A ENTRE CARRERA 38 Y EL INICIO DEL DEPRIMIDO

ALTERNATIVAS

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Datos de Entrada

VARIABLE	VALOR
Número de Capas (1..6) :	4
Radio de Carga (cm) :	10.8
Presión de Contacto (Kg/cm²) :	9.8
Distancia entre Ejes de Llantas (cm) :	32.4

# Capa	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm²)	Relación de Poisson (u)	Espesor (cm)	Interfase Ligada (S/N)
1	22526	0.35	9	S
2	29598	0.35	10	S
3	997.7	0.4	50	S
4	245.8	0.45		
5				
6				

Resultados

# Capa	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1	0	2.0700E-004 C	9.5342E-000 B	-1.5800E-004 C	9.5982E-000 A
	9	2.5100E-005 C	2.4271E-000 B	-2.2400E-005 C	3.7015E-000 B
2	9	2.5100E-005 C	2.7838E-000 B	-3.0100E-005 C	3.7015E-000 B
	19	-1.7700E-004 C	-9.4116E-000 B	1.8500E-004 B	4.8742E-001 B
3	19	-1.7700E-004 C	8.9024E-002 C	4.2300E-004 B	4.8742E-001 B
	69	-1.8400E-004 C	-2.2739E-001 C	2.6700E-004 C	1.0809E-001 C
4	69	-1.8400E-004 C	3.2598E-002 C	4.0700E-004 C	1.0809E-001 C

Deflexión (mm/100) : 74.630

SECTOR 2 – ALTERNATIVA 1 AJUSTADA

DEPAV

Opciones Terminar

Código Proyecto: CALLE 10A-S2

Descripción: S2: K0+175-K0+430 CL 10A ENTRE CARRERA 38 Y EL INICIO DEL DEPRIMIDO

ALTERNATIVAS

Datos de Entrada

VARIABLE	VALOR
Número de Capas (1..6) :	4
Radio de Carga (cm) :	10.8
Presión de Contacto (Kg/cm²) :	6.8
Distancia entre Ejes de Llantas (cm) :	32.4

# Capa	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm²)	Relación de Poisson (u)	Espesor (cm)	Interfase Ligada (S/N)
1	22526	0.35	10	S
2	39598	0.35	12.5	S
3	997.7	0.4	50	S
4	245.6	0.45		
5				
6				

Resultados

# Capa	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1	0	1.8600E-004 B	6.4125E-000 B	-1.2400E-004 C	5.5982E-000 A
	10	-1.8700E-006 A	2.2943E-000 B	-1.6100E-005 C	3.6403E-000 B
2	10	-1.8700E-006 A	2.5493E-000 B	-2.5800E-005 C	3.6403E-000 B
	22.5	-1.4400E-004 C	-7.5888E-000 B	1.3300E-004 B	3.6506E-001 C
3	22.5	-1.4400E-004 C	3.4772E-002 C	3.2700E-004 B	3.6506E-001 C
	72.5	-1.4600E-004 C	-1.8255E-001 C	2.3500E-004 C	8.9734E-002 C
4	72.5	-1.4600E-004 C	8.0252E-003 C	3.3300E-004 C	8.9734E-002 C

Deflexión (mm/100): 66.710

Consultoría en estudios, diseños y asesorías en ingeniería civil. Ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos, concretos y materiales de construcción.
Cll 32E No. 80B – 117 / Contacto: 317 509 70 82 / Medellín – Colombia / consultoria@evaltec.com.co / pruebasyensayos@evaltec.com.co
www.evaltec.com.co

SECTOR 2 – ALTERNATIVA 2

Código Proyecto : CALLE 10A-S2

Descripción : S2: K0+175-K0+430 CL 10A ENTRE CARRERA 38 Y EL INICIO DEL DEPRIMIDO

ALTERNATIVAS

Datos de Entrada

VARIABLE	VALOR
Número de Capas (1..6) :	4
Radio de Carga (cm) :	10.8
Presión de Contacto (Kg/cm²) :	5.6
Distancia entre Ejes de Llantas (cm) :	32.4

# Capa	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm²)	Relación de Poisson (u)	Espesor (cm)	Interfase Ligada (S/N)
1	22522	0.35	7	S
2	39598	0.35	12	S
3	997.7	0.4	50	S
4	245.8	0.45		
5				
6				

Resultados

# Capa	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1	0	2.0100E-004 C	5.2591E-000 B	-1.5700E-004 C	5.5982E-000 A
	7	5.4900E-005 C	3.7422E-000 B	-5.8300E-005 C	4.4581E-000 B
2	7	5.4900E-005 C	4.7516E-000 B	-8.2400E-005 C	4.4581E-000 B
	19	-1.7600E-004 C	-9.3201E-000 B	1.8200E-004 B	4.7620E-001 B
3	19	-1.7600E-004 C	8.3935E-002 C	4.1600E-004 B	4.7620E-001 B
	69	-1.8100E-004 C	-2.2423E-001 C	2.8400E-004 C	1.0707E-001 C
4	69	-1.8100E-004 C	8.1878E-002 C	4.0200E-004 C	1.0707E-001 C

Deflexión (mm/100) : 74.150

SECTOR 2 – ALTERNATIVA 2 AJUSTADA

DEPAV

Opciones Terminar

Código Proyecto : CALLE 10A-S2

Descripción : S2: K0+175-K0+430 CL 10A ENTRE CARRERA 38 Y EL INICIO DEL DEPRIMIDO

ALTERNATIVAS

Datos de Entrada

VARIABLE	VALOR
Número de Capas (1..6) :	4
Radio de Carga (cm) :	10.8
Presión de Contacto (Kg/cm²) :	5.6
Distancia entre Ejes de Llantas (cm) :	32.4

# Capa	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm²)	Relación de Poisson (u)	Espesor (cm)	Interfase Ligada (S/N)
1	22529	0.35	7.5	S
2	39556	0.25	15	S
3	997.7	0.4	50	S
4	249.6	0.45		
5				
6				

Resultados

# Capa	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1	0	1.8000E-004 C	8.1088E-000 B	-1.2200E-004 C	5.5982E-000 A
	7.5	4.5400E-005 C	3.4870E-000 B	-4.8800E-005 C	4.8071E-000 B
2	7.5	4.5400E-005 C	4.2523E-000 B	-5.4500E-005 C	4.8071E-000 B
	22.5	-1.4200E-004 C	-7.4846E-000 B	1.3100E-004 B	3.5586E-001 C
3	22.5	-1.4200E-004 C	3.0489E-002 C	3.2100E-004 B	3.5586E-001 C
	72.5	-1.4700E-004 C	-1.8049E-001 C	2.3100E-004 C	8.8206E-002 C
4	72.5	-1.4700E-004 C	7.9231E-003 C	3.2800E-004 C	8.8206E-002 C

Deflexión (mm/100) : 66.140

SECTOR 3 – ALTERNATIVA 1

DEPAV

Código Proyecto : CALLE 10A-S3

Descripción : S3: K0+580-K0+770 CL 10A ENTRE FIN DEL DEPRIMIDO Y CARRERA 43D

ALTERNATIVAS

Datos de Entrada

VARIABLE	VALOR
Número de Capas (1..6) :	5
Radio de Carga (cm) :	10.8
Presión de Contacto (Kg/cm²) :	5.8
Distancia entre Ejes de Llantas (cm) :	32.4

# Capa	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm²)	Relación de Poisson (u)	Espesor (cm)	Interfase Ligada (S/N)
1	20528	0.35	8	S
2	39596	0.35	3	S
3	16785	0.35	11	S
4	968.2	0.4	20	S
5	294.4	0.45		
6				

Resultados

# Capa	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1	0	1.9200E-004 C	9.0763E-000 B	-1.5600E-004 C	5.5982E-000 A
	8	8.4800E-005 C	4.2929E-000 B	-8.7500E-005 C	4.7416E-000 B
2	8	8.4800E-005 C	5.8084E-000 B	-7.5200E-005 C	4.7416E-000 B
	14	-8.4800E-005 B	-3.9847E-000 B	1.0700E-004 B	1.7539E-000 B
3	14	-8.4800E-005 B	-1.0605E-000 C	1.4900E-004 B	1.7539E-000 B
	25	-2.1400E-004 C	-4.6765E-000 C	3.0200E-004 C	2.8858E-001 B
4	25	-2.1400E-004 C	-1.2032E-001 C	3.7500E-004 C	2.8858E-001 B
	45	-2.4000E-004 C	-2.8144E-001 C	3.5700E-004 C	1.3868E-001 C
5	45	-2.4000E-004 C	1.5298E-002 B	5.2600E-004 C	1.3868E-001 C

Deflexion (mm/100) : 80.510

SECTOR 3 – ALTERNATIVA 1 AJUSTADA

DISEÑO

Código Proyecto : CALLE 10A-S3

Descripción : S3. K0+880-K0+770 CL 10A ENTRE FIN DEL DERRIMIDO Y CARRERA 43D

ALTERNATIVAS

Datos de Entrada

VARIABLE	VALOR
Numero de Capas (1..6) :	5
Radio de Carga (cm) :	10.8
Presión de Contacto (Kg/cm²) :	5.8
Distancia entre Ejes de Llantas (cm) :	32.4

# Capa	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm²)	Relación de Poisson (u)	Espesor (cm)	Interfase Ligada (S/N)
1	32626	0.35	7	S
2	9959E	0.35	12	S
3	16758	0.35	11	S
4	956.2	0.4	20	S
5	234.4	0.45		
6				

Resultados

# Capa	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1	0	1.4500E-004 C	7.8783E-000 B	-1.1700E-004 C	6.9982E-000 B
	7	4.8000E-005 C	3.8403E-000 B	-4.8600E-005 C	4.8906E-000 B
2	7	4.8000E-005 C	4.4785E-000 B	-9.9300E-005 C	4.9506E-000 B
	19	-7.8700E-005 C	-3.7525E-000 B	5.7600E-005 B	1.0503E-000 B
3	19	-7.8700E-005 C	-1.2228E-000 C	1.1300E-004 B	1.0503E-000 B
	30	-1.5300E-004 C	-2.4568E-000 C	1.9900E-004 C	2.0292E-001 C
4	30	-1.5300E-004 C	-1.0044E-001 C	2.3000E-004 C	2.0292E-001 C
	50	-1.7500E-004 C	-2.0499E-001 C	2.7100E-004 C	1.0299E-001 C
5	50	-1.7500E-004 C	1.2542E-002 B	2.3800E-004 C	1.0299E-001 C

Deflexión (mm/100) : 68.600

SECTOR 3 – ALTERNATIVA 2

DEPAV

Código Proyecto : CALLE 10A-S3

Descripción : S3. K0+580-K0+770 CL 10A ENTRE FIN DEL DEPRIMIDO Y CARRERA 43D

ALTERNATIVAS

Datos de Entrada

VARIABLE	VALOR
Número de Capas (1..6) :	5
Radio de Carga (cm) :	10.8
Presión de Contacto (Kg/cm²) :	5.6
Distancia entre Ejes de Llantas (cm) :	32.4

# Capa	Modulo de Elasticidad E (Kg/cm²)	Relación de Poisson (u)	Espesor (cm)	Interfase Ligada (S/N)
1	22526	0.35	5	S
2	39596	0.35	8	S
3	16755	0.35	11	S
4	968.2	0.4	20	S
5	234.4	0.45		
6				

Resultados

# Capa	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1	0	1.9700E-004 C	9.9201E-000 B	-1.5700E-004 C	5.5962E-000 A
	5	3.4800E-005 C	2.9873E-000 B	-3.5100E-005 C	4.0686E-000 B
2	5	3.4900E-005 C	3.6468E-000 B	-4.1900E-005 C	4.0686E-000 B
	14	-8.2800E-005 B	-8.7219E-000 B	1.0500E-004 B	1.5151E-000 B
3	14	-8.2800E-005 B	-8.8707E-001 C	1.4900E-004 B	1.5151E-000 B
	25	-2.1700E-004 C	-4.8192E-000 C	2.0400E-004 B	2.9459E-001 B
4	25	-2.1700E-004 C	-1.1930E-001 C	3.8100E-004 B	2.9459E-001 B
	45	-2.4400E-004 C	-2.9552E-001 C	3.7300E-004 C	1.4072E-001 C
5	45	-2.4400E-004 C	1.5703E-002 B	5.0300E-004 C	1.4072E-001 C

Deflexión (mm/100) : 81.150

SECTOR 3 – ALTERNATIVA 2 AJUSTADA

DEPAV

Código Proyecto : CALLE 10A-S3

Descripción : S3: K0+580-K0+770 CL 10A ENTRE FIN DEL DEPRIMIDO Y CARRERA 43D

ALTERNATIVAS

Datos de Entrada

VARIABLE	VALOR
Número de Capas (1..6) :	5
Radio de Carga (cm) :	10.8
Presión de Contacto (Kg/cm²) :	5.8
Distancia entre Ejes de Llantas (cm) :	32.4

# Capa	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm²)	Relación de Poisson (u)	Espesor (cm)	Interfase Ligada (S/N)
1	22526	0.35	8	S
2	39599	0.35	10	S
3	16755	0.35	11	S
4	9863	0.4	20	S
5	3944	0.45		
6				

Resultados

# Capa	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1	0	1.5000E-004 B	7.9129E-000 B	-1.1700E-004 C	5.5932E-000 B
	8	2.9800E-005 C	2.7834E-000 B	-2.4700E-005 C	4.0686E-000 B
2	8	2.9800E-005 C	3.1917E-000 B	-2.4900E-005 C	4.0686E-000 B
	18	-7.6000E-005 C	-3.7015E-000 B	3.7500E-005 B	1.0809E-000 B
3	18	-7.6000E-005 C	-1.1930E-000 C	1.1300E-004 B	1.0809E-000 B
	29	-1.6000E-004 C	-3.4676E-000 C	1.5700E-004 C	2.0700E-001 C
4	29	-1.6000E-004 C	-1.0044E-001 C	2.3400E-004 C	2.0700E-001 C
	49	-1.7800E-004 C	-2.0802E-001 C	2.7500E-004 C	1.0503E-001 C
5	49	-1.7800E-004 C	1.2643E-002 B	3.9400E-004 C	1.0503E-001 C

Deflexión (mm/100) : 69.160