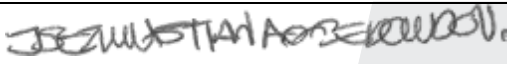


| DOCUMENTO: INF 2294 DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO PARA CORREDOR VIAL DE GRANADA-SAN CARLOS 2022 V9 |         |                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|
| CONSULTOR                                                                                                   |         |                                                                                    |
| ELABORADO POR:                                                                                              | NOMBRE: | JUAN SEBASTIAN ARREDONDO                                                           |
|                                                                                                             | FIRMA:  |  |
|                                                                                                             | FECHA:  | 13 DE DICIEMBRE DE 2022                                                            |
| REVISADO POR:                                                                                               | NOMBRE: |                                                                                    |
|                                                                                                             | FIRMA:  |                                                                                    |
|                                                                                                             | FECHA:  |                                                                                    |
| APROBADO POR:                                                                                               | NOMBRE: |                                                                                    |
|                                                                                                             | FIRMA:  |                                                                                    |
|                                                                                                             | FECHA:  |                                                                                    |
| INTERVENTOR                                                                                                 |         |                                                                                    |
| REVISADO POR:                                                                                               | NOMBRE: |                                                                                    |
|                                                                                                             | FIRMA:  |                                                                                    |
|                                                                                                             | FECHA:  |                                                                                    |

## **LISTADO DE TABLAS.**

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Valor de coeficiente de desplazamiento en función de la confiabilidad ..... | 6  |
| Tabla 2 Coeficientes de ajuste modelo de falla Shell .....                          | 7  |
| Tabla 3 Sectores homogéneos .....                                                   | 7  |
| Tabla 4 CBR de diseño sector 1 .....                                                | 8  |
| Tabla 5 CBR de diseño sector 2 .....                                                | 8  |
| Tabla 6 Volumen de tránsito .....                                                   | 12 |
| Tabla 7 Tránsito actualizado .....                                                  | 13 |
| Tabla 8 Alternativa sector 1 .....                                                  | 14 |
| Tabla 9 Alternativa sector 2 .....                                                  | 14 |
| Tabla 10 Rasante en material granular. ....                                         | 22 |
| Tabla 11 Rasante en roca. ....                                                      | 23 |
| Tabla 12 Puntos críticos .....                                                      | 24 |
| Tabla 13 Relación CBRS. ....                                                        | 25 |
| Tabla 14 Discriminación de longitudes de rasante según material .....               | 26 |

## **LISTADO DE ILUSTRACIONES.**

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1. Diseño de pavimentos método Mecánico .....                            | 5  |
| Ilustración 2. Estructura de pavimento vía a 10 años con MGTC Sector 1 .....         | 17 |
| Ilustración 3. Estructura de pavimento vía a 10 años con MGTC para el Sector 2 ..... | 18 |

**ANEXOS.** (1. PERFILES ESTRATIGRAFICOS, 2. RESULTADOS LABORATORIO ACTUALIZADOS, 3. INFORMACIÓN DE TRÁNSITO CONSORCIO TAYFER, 4. PROCESO CONSTRUCTIVO, 5. FÓRMULA DE TRABAJO DISEÑO SUELO CEMENTO, 5. MEMORIAS DE CÁLCULO, 6. HOJA DE VIDA Y DOCUMENTO SOPORTE ESPECIALISTA ASTE S.A.S)

## **DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO PARA CORREDOR VIAL GRANDA – SAN CARLOS CODIGO (K06+591 AL K16+004,30) DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.**

### **1 CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN**

Hoy en día, tener una infraestructura vial aceptable y adecuada para el uso de vehículos, implica reducción de costos de operación, mejora los tiempos de traslado y garantiza una dinámica fluida, que se traduce en ganancias económicas para una población en particular y también para una región, municipio y porque no decir, todo un país, pues si sus pequeños engranajes funcionan bien, todo el sistema también lo hará. Es por esto que el Consorcio vías Antioquia 2022, contrató con ASTE SAS, un estudio técnico, para proponer alternativas de pavimentación con material tratados con cemento, basados o con la ayuda de información básica de diseños de pavimentación existente en el mismo corredor y mejorar las condiciones de serviciabilidad de la vía.

El informe contiene una descripción de la metodología de diseño usada para analizar y calcular los espesores que componen la estructura de pavimentos con materiales tratados con cemento y una serie de recomendación que se deben hacer para ejecutar la obra, junto con especificaciones mínimas que deben cumplir los materiales de construcción para dicha alternativa.

### **2 CAPITULO 2. OBJETIVOS Y ALCANCE**

#### **2.1 OBJETIVOS**

Realizar una alternativa de diseño de pavimentos con materiales granulares tratados con cemento para el corredor vial Granda – San Carlos, dados como solución para la pavimentación de un tramo homogéneo dividido en dos sectores únicos equivalentes, los cuales se ajusten a la realidad actual de la vía. El proceso de sectorización se debe consultar directamente del estudio existente, elaborado por el consorcio TYFER.

---

- SECTOR 1

| Sector 1 |               |             |
|----------|---------------|-------------|
| No.      | Punto inicial | Punto Final |
| 1        | K9+800        | K10+055     |
| 2        | K12+223       | K14+607     |
| 3        | K15+160       | K15+587     |

- SECTOR 2)

| Sector 2 |               |             |
|----------|---------------|-------------|
| No.      | Punto inicial | Punto Final |
| 1        | K6+591        | K9+800      |
| 2        | K10+055       | K12+223     |
| 3        | K14+607       | K15+160     |
| 4        | K15+587       | K16+004,3   |

## 2.2 ALCANCE

- Comprende la presentación de cálculos bajo criterios propios de esta consultoría, basados en el estudio de suelos y estudio de tránsito de la zona, elaborado por el consorcio TYFER.

## 3 CAPITULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

Esta versión del informe trabaja los parámetros de diseño estudiados y analizados por el consorcio TYFER, por lo tanto, el informe “CONSULTORÍA PARA LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS EN FASE III PARA PAVIMENTACIONES Y ATENCIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS EN LOS CORREDORES PRIORIZADOS EN EL MARCO DE LA INTERVENCIÓN DE LA RED VIAL DENTRO DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA”, **CONTRATO No. 4600010872 DE 2020 ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO versión 3**, forma parte integral de este documento.

## 4 CAPÍTULO 4. METODOLOGIA DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO.

### 4.1 METODOLOGIA DE DISEÑO MECANICA O RACIONAL

La metodología consiste en la predicción o estimación de la evolución en el tiempo de los diferentes daños que se pueden presentar en la estructura y, por ende, presenta estructuras con mayor confiabilidad, ya que se establecerán los consumos de vida, durante el periodo de diseño, que puede soportar la estructura del pavimento.

Los elementos de entrada de entrada al proceso de diseño se refieren a los espesores de cada capa; las propiedades de los materiales que conforman cada una de esas

capas que serán módulos dinámicos o resilientes; el tipo de clima del medio físico que atravesará la carretera, definido por precipitación y temperatura; y el nivel de tránsito vehicular definido en ejes equivalentes.

El procedimiento es iterativo y comienza planteando una estructura de pavimento, con sus materiales y espesores bien definidos, tanto mecánica como geoméricamente, para luego ingresar dichos parámetros, a un software que permite calcular las sollicitaciones a las que se verá expuesta (esfuerzos y deformaciones), en los niveles de análisis o de interés, en los que se destaca: esfuerzos de tracción en capas rígidas (concreto asfáltico y materiales estabilizados con cemento u otros agentes) para evitar fisuraciones; y deformaciones de compresión en la capa de subrasante, para evitar hundimientos y ahuellamientos en la estructura del pavimento.



**Ilustración 1.** Diseño de pavimentos método Mecánico

A continuación, se presenta la metodología para la caracterización de los materiales que compondrán la estructura y los modelos de falla empleados para determinar el comportamiento del pavimento, en términos de consumos de vida, para los periodos de diseño propuestos.

## 4.2 CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Se empleará mezcla asfáltica realizada con asfaltos de penetración 60-70, y que se mantenga, con porcentajes de asfalto y de agregados en la mezcla asfáltica MDC-19, son en promedio entre 11% para el asfalto y de 84% para los agregados. La mezcla

asfáltica, una vez colocada in situ, deberá ser compactada, de tal manera que el porcentaje de volumen de vacíos en la mezcla sea de aproximadamente 5% como máximo, para garantizar como mínimo un módulo dinámico de 2823MPa, correspondiente a mezclas densas MDC según especificaciones INVIAS recientes, tal como lo recomienda el consorcio TYFER en su estudio.

- **Carpeta asfáltica.**

Los modelos de falla que se usarán para el chequeo de las estructuras son las estudiadas en la ley de comportamiento a la fatiga de la mezcla asfáltica - criterio de la Shell, modificado según los cambios propuestos para el Shif Factor (K), que luego de una revisión detallada al documento, consideró que un valor aceptable para el análisis de fatiga en el concreto asfáltico corresponde a 5, para tener en cuenta la propagación de fisuras a valores más tolerables, propuesta por Jameson en la preparación de la Guía Austroads en el año 2001

Deformación a tracción unitaria admisible en la carpeta asfáltica: se utilizó la siguiente ley de fatiga.

Fórmula Shell (modificada por Jameson año 2001):

$$Nf = K \left[ \frac{6918(0.856Vb + 1.08)}{Emix^{0.36} \varepsilon_{r1}} \right]^5$$

Dónde:

*Vb = porcentaje de volumen de asfalto en la mezcla*

*K = factor de kalage = segun la tabla*

*Emix = módulo de la mezcla asfáltica en MPa*

*$\varepsilon_{r1}$  = Deformación máxima de tracción calculada en la cara inferior de la capa en micrones*

**Tabla 1 Valor de coeficiente de desplazamiento en función de la confiabilidad**

| CONFIABILIDAD | FACTOR DE DESPLAZAMIENTO |
|---------------|--------------------------|
| 80%           | 4.7                      |
| 85%           | 3.3                      |
| 90%           | 2.0                      |
| 95%           | 1.0                      |

Fuente: Guía de rehabilitación de pavimentos asfálticos INVIAS

Se empleará entonces, un coeficiente de 2 para una confiabilidad del 90%.

#### 4.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE SUBRASANTE

Deformación a compresión unitaria admisible en la subrasante: se utilizó la siguiente ley de comportamiento para un nivel de confiabilidad del 95%, se tiene que la deformación admisible por el criterio SHELL se calcula como sigue:

$$\varepsilon_{z adm} = k_3 * N^{-k_4}$$

Donde:

**$\varepsilon_{z adm}$ :** deformación unitaria admisible por compresión en la parte superior de la subrasante en mm/mm.

**N:** número total de ejes sencillos equivalentes acumulados de 8.2 ton en el carril de diseño y durante el período de diseño.

**Tabla 2 Coeficientes de ajuste modelo de falla Shell**

| MÉTODO                                  | "k <sub>3</sub> "    | "k <sub>4</sub> " | AHUELLAMIENTO MÁXIMO |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| SHELL (50% confiabilidad) [ref. 4.3.11] | 2.8*10 <sup>-2</sup> | 0.250             | Sin información      |
| SHELL (85% confiabilidad) [ref. 4.3.11] | 2.1*10 <sup>-2</sup> | 0.250             | Sin información      |
| SHELL (95% confiabilidad) [ref. 4.3.11] | 1.8*10 <sup>-2</sup> | 0.250             | Sin información      |

Fuente: Guía de rehabilitación de pavimentos asfálticos INVIA

Del informe "S2 5 Diseño estructura de pavimento 1\_(447 pag.)" elaborado por el CONSORCIO TAYFER para la GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA, se tiene que la vía es de un tramo homogéneo, el cual ha sido dividido en dos sectores donde, a través de un proceso estadístico, se le han definido sus propiedades mecánicas y espesores de materiales granulares existentes.

**Tabla 3 Sectores homogéneos**

| Sector 1 |               |             | Sector 2 |               |             |
|----------|---------------|-------------|----------|---------------|-------------|
| No.      | Punto inicial | Punto Final | No.      | Punto inicial | Punto Final |
| 1        | K9+800        | K10+055     | 1        | K6+591        | K9+800      |
| 2        | K12+223       | K14+607     | 2        | K10+055       | K12+223     |
| 3        | K15+160       | K15+587     | 3        | K14+607       | K15+160     |
|          |               |             | 4        | K15+587       | K16+004,3   |

Fuente: Extraído del informe “S2 5 Diseño estructura de pavimento 1\_(447 pag.)” elaborado por el CONSORCIO TAYFER

Según TYFER, después de realizar el análisis estadístico para cada sector, se obtiene lo siguiente:

**Tabla 4 CBR de diseño sector 1**

| SECTOR | APIQUE | CBR sumergido | CATEGORÍA DE SUBRASANTE | CBR Diseño |
|--------|--------|---------------|-------------------------|------------|
| 1      | 15     | 1.5           | S 1                     | 2.75       |
|        | 24     | 3.4           | S 3                     |            |
|        | 25     | 4.5           | S 3                     |            |

Fuente: Extraído del informe “S2 5 Diseño estructura de pavimento 1 (pág. 65)” elaborado por el CONSORCIO TAYFER

**Tabla 5 CBR de diseño sector 2**

| SECTOR | APIQUE | CBR natural | CATEGORÍA DE SUBRASANTE | CBR Diseño |
|--------|--------|-------------|-------------------------|------------|
| 2      | 1      | 5.99        | S 3                     | 6.79       |
|        | 2      | 4.5         | S 2                     |            |
|        | 3      | 7.55        | S 3                     |            |
|        | 4      | 6.02        | S 3                     |            |
|        | 5      | 9.05        | S 3                     |            |
|        | 6      | 6.93        | S 3                     |            |
| SECTOR | APIQUE | CBR natural | CATEGORÍA DE SUBRASANTE | CBR Diseño |
|        | 7      | 6.91        | S 3                     |            |
|        | 8      | 8.15        | S 3                     |            |
|        | 9      | 8.64        | S 3                     |            |
|        | 10     | 7.52        | S 3                     |            |
|        | 11     | 9.73        | S 3                     |            |
|        | 12     | 6.75        | S 3                     |            |
|        | 13     | 9.48        | S 3                     |            |
|        | 14     | 5.92        | S 3                     |            |
|        | 16     | 7.16        | S 3                     |            |
|        | 17     | 8.47        | S 3                     |            |
|        | 18     | 8.38        | S 3                     |            |
|        | 19     | 8.01        | S 3                     |            |
|        | 20     | 5.16        | S 3                     |            |
|        | 21     | 5.47        | S 3                     |            |
|        | 22     | 8.2         | S 3                     |            |
|        | 23     | 6.94        | S 3                     |            |
|        | 33     | 6.56        | S 3                     |            |
|        | 34     | 10.3        | S 4                     |            |
|        | 35     | 7.62        | S 3                     |            |
|        | 38     | 8.48        | S 3                     |            |
|        | 39     | 8.47        | S 3                     |            |

Fuente: Extraído del informe “S2 5 Diseño estructura de pavimento 1 (pág. 65)” elaborado por el CONSORCIO TAYFER

#### 4.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO

Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del Instituto Nacional de Vías, para este proyecto se requiere que, a los siete días de maduración, la mezcla de suelo cemento genere una resistencia a la compresión de mínimo 2.1MPa y el módulo de rotura de la mezcla alcance los 0.55MPa.

El diseño entonces, buscará que en la estructura que se proponga, el esfuerzo máximo de tracción en la fibra inferior calculado deberá ser menor o igual a lo siguiente y que la relación de esfuerzos que haya entre el módulo de diseño y el esfuerzo de tracción calculado sea menor al 100%:

$$MR_{SC \text{ diseño}} = \frac{MR_{BEC}}{FS} = \frac{0,55}{2,0}$$

$$MR_{SC \text{ diseño}} = 0,275MPa$$

$$Relacion \text{ de esfuerzos} = \frac{Esfuerzo \text{ de tracción calculado}}{0,275MPa} < 100\% \text{ cumple}$$

Teniendo en cuenta la información de los anexos, esta consultoría, considera que, los criterios de exploración de campo y de laboratorio, es congruente con el Manual de diseño de pavimentos para vías con bajos y medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS por tanto se considera apropiada, ya que se encuentra la cantidad suficiente de pruebas y ensayos para caracterizar los suelos del perfil estratigráfico que componen las vías.

### 5 CAPÍTULO 5. DISEÑO DE MEZCLAS

#### 5.1 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Este material estructural que es elaborado en planta, debe cumplir con estándares de calidad, y debe asegurar que la producción del concreto asfáltico sea resistente a la deformación plástica bajo la acción del tránsito, resistir la desintegración debido al tránsito y al clima, debe ser flexible para que la mezcla se deforme elásticamente sin que se agriete, ni se rompa debido a las pequeñas deflexiones que le imparte el tránsito a la estructura en sí, así como también debe ser resistente a la fatiga para soportar las deformaciones repetidas ocasionadas por el paso de cargas inferiores a

---

las de rotura cuyos efectos se acumularán hasta el agotamiento de la mezcla; además, debe proporcionar seguridad al deslizamiento bajo condiciones desfavorables de alta velocidad y presencia de agua; la mezcla a su vez también debe ser impermeable, para ejercer resistencia al paso del agua y al aire, visto desde el punto de vista de la durabilidad, porque se altera la estabilidad y la adherencia árido ligante.

Además, la mezcla proporcionada por la planta debe ser fácil de trabajar, para que el extendido, conformación y compactación, no se dificulte cuando se estén ejecutando los trabajos de pavimentación.

La mezcla que se va a utilizar para conformar la carpeta de rodadura será del tipo MDC-19 (mezcla densa en caliente tipo 19), procesada en una Planta de Asfalto.

## **5.2 MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO.**

Según la PCA El suelo-cemento: es una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido. Se le usa principalmente como base en los pavimentos de carreteras, calles y aeropuertos.

Regularmente, el porcentaje de cemento puede variar entre el 3 al 12% dependiendo del tipo de suelo, entre más fracción granular haya, menos porcentaje de cemento se necesitará para alcanzar la resistencia requerida.

Para este proyecto se requiere que, a los siete días de maduración, la mezcla de suelo cemento genere una resistencia a la compresión de mínimo 2.1MPa y el módulo de rotura de la mezcla alcance los 0.55MPa. El diseño entonces, deberá buscar un porcentaje de cemento que alcance como mínimo los anteriores requisitos de resistencia y además de durabilidad que se exigen por las normas de construcción.

- El suelo tratado con cemento deberá cumplir con las normas o especificaciones de construcción INVIAS artículo 350 y la especificación particular de la Gobernación de Antioquia “Material Granular Tratado con Cemento MGTC” del año 2017.
  - El diseño del suelo cemento, deberá garantizar durabilidad y resistencia, para conformar un suelo cemento tipo SC-R.
  - El diseño del suelo cemento deberá garantizar una resistencia a la compresión mínima de 2.1MPa a los 7 días de maduración.
  - El suelo tratado con cemento, para conformar la capa de MGTC, se puede obtener por dos vías: la primera mediante la mezcla del granular existente y la adición de material granular (en caso que en la vía no se disponga la cantidad
-

suficiente para conformar la capa) y la segunda implica la colocación de un material adicional tipo granular para estabilizar, ya que se puede suceder que se deba agregar material para poder conformar la capa y poder nivelar la sección, tanto longitudinal como transversalmente o que, debido al análisis y/o cálculos, se requiera dejar la capa de material existente para mejoramiento.

## **6 CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO Y CARGAS DE DISEÑO**

Las cargas móviles del tránsito producen en el pavimento y en el suelo de apoyo deformaciones elásticas y plásticas cuyas magnitudes dependen tanto del peso como de la frecuencia de su aplicación.

El deterioro de los pavimentos, sin embargo, no ocurre bajo la aplicación de una sola carga. Es la aplicación repetida de ellas la que va acumulados efectos hasta producir la falla de la estructura. Los materiales de comportamiento elástico, como lo es la capa de rodadura en concreto asfáltico que trabajan a bajas temperaturas, suelen fallar por fatiga elástica que se manifiesta superficialmente inicialmente en fisuras que luego evolucionan a grietas conocidas con el nombre de “piel de cocodrilo”, mientras que los materiales granulares y la subrasante suelen acumular en el tiempo deformaciones permanentes que se traducen en ahuellamientos. En ambos casos el resultado práctico es el mismo: incapacidad de la estructura para seguir prestando el servicio funcional y estructuralmente adecuado a las exigencias del usuario y de las cargas respectivamente, llegando a la necesidad del refuerzo o rehabilitación y en el peor de los casos a una reconstrucción.

Para la información de tránsito estudiada y actualizada, no se tiene observaciones y se considera válida. Se presentará, además, la proyección del tránsito, para obtener el tránsito para un periodo de diseño de 10 años y proponer alternativas de pavimento en ese periodo de diseño.

Con la proyección realizada para los periodos de diseño propuestos, para determinar el tránsito de diseño en ejes equivalentes de 8.2Ton, se utilizaron los factores de equivalencia recomendados por el Instituto Nacional de Vías INVIAS en su manual de diseño para vías con bajos volúmenes de tránsito, teniendo en cuenta que la sección de la vía, máximo tiene un ancho de 6.0m, por lo que el factor de distribución de tránsito considerado fue del 100% y el factor de distribución en el carril de diseño, será del 50%.

A continuación, se muestra la formulación estudiada para determinar el tránsito de diseño en ejes equivalentes, para diferentes periodos de diseño, en este caso 5 y 10 años.

$$\text{Tránsito normal } x \text{ años} = \sum (\text{vehículo}_i * FE_i)$$

Donde:

*Tránsito normal x años* es el tránsito acumulado para el periodo de diseño X

*vehículo<sub>i</sub>* es el tipo vehículo, llámese bus, C2P, C2G, C3-C4, C5 o C6

*FE<sub>i</sub>* es el factor de equivalencia de carga para el vehículo i, llámese bus, C2P, C2G, C3-C4, C5 o C6

El último paso, es tomar el tránsito normal y asegurarlo, para lo cual, tendremos en cuenta en cuenta que no se posee una serie histórica actualizada o conteos actualizados durante toda la semana, por lo que se asumirá una distribución normal de esta variable para la diferencia entre el tránsito real y el estimado, que requiere de un ajuste por la razón antes mencionada, para proporcionar una confianza o asegurar la variable tránsito así:

$$\text{Tránsito normal asegurado } x \text{ años} = (10^{0.05 * Z_r}) \text{Tránsito normal } x \text{ años}$$

Donde:

*Tránsito normal asegurado x años:* Es el tránsito equivalente corregido para proporcionar un determinado nivel de confianza, en este caso, del 90%.

Zr: El correspondiente a una distribución normal y a la confiabilidad deseada.

Para el caso del 90% (según anexos, la confiabilidad es del 98%, pero esta consultoría tomará un factor de seguridad al 90%, más adecuado para vías rurales) de confiabilidad el valor de Zr es 1.282, también se consideró un 10% de tránsito adicional como tránsito de construcción durante el primer año de servicio.

| TIPO DE VEHÍCULO | VEH EQUIVALENTES | Porcentaje     |
|------------------|------------------|----------------|
| Liviano          | 479              | 92.2%          |
| Moto             | 553              |                |
| Bus              | 5                | 0.4%           |
| Camiones         | 83               | 7.4%           |
| Camión Pequeño   | 21               | 25.3%          |
| Camión grande    | 10               | 12%            |
| C3               | 52               | 62.7%          |
| C5               | 0                | 0.00%          |
| <b>Total</b>     | <b>1120</b>      | <b>100.00%</b> |

| PESO BRUTO (T) | CARGA DE REFERENCIA | FACTOR EQUIVALENCIA |
|----------------|---------------------|---------------------|
|                | FLEXIBLE            | FLEXIBLE            |
| 4              | 6.6                 | 0.13                |
| 4.5            | 6.6                 | 0.22                |
| 5              | 6.6                 | 0.33                |
| 6              | 6.6                 | 0.68                |
| 6.3            | 6.6                 | 0.83                |
| 7.5            | 6.6                 | 1.67                |
| 8.2            | 8.2                 | 1.00                |
| 10             | 8.2                 | 2.21                |
| 11             | 8.2                 | 3.24                |
| 12.5           | 8.2                 | 5.40                |
| 14             | 15                  | 0.76                |
| 17             | 15                  | 1.65                |
| 21.5           | 15                  | 4.22                |
| 22             | 15                  | 4.63                |
| 23.5           | 23                  | 1.09                |
| 24             | 23                  | 1.19                |

**Tabla 6 Volumen de tránsito**

Fuente: Extraído del informe "S2 5 Diseño estructura de pavimento 1\_(447 pag.)" elaborado por el CONSORCIO TAYFER

**Tabla 7 Tránsito actualizado**

| VEHÍCULOS  | %      | Número de Vehículos Diarios | Factor Daño flexible | Tránsito equivalente diario | Número de Vehículos acumulados |
|------------|--------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| VEHÍCULOS  | 100.0% | 1120                        | -                    | -                           | -                              |
| AUTOS      | 92.2%  | 1032                        | -                    | -                           | -                              |
| BUS NORMAL | 0.4%   | 5                           | 4.24                 | 21                          | 13213                          |

|                                      |       |    |      |          |          |
|--------------------------------------|-------|----|------|----------|----------|
| CAMIONES                             | 7.4%  | 83 | -    | -        | -        |
| 2P                                   | 25.3% | 21 | 1.33 | 28       | 57127    |
| 2G                                   | 12.0% | 10 | 3.57 | 36       | 125533   |
| C3                                   | 62.7% | 52 | 5.31 | 276      | 141457   |
| C4                                   | 0.0%  | 0  | 5.39 | 0        | 0        |
| C5                                   | 0.0%  | 0  | 9.58 | 0        | 0        |
| TRÁNSITO EQUIVALENTE DIARIO          |       |    |      | 361      | TOTALES  |
| TRÁNSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO |       |    |      | 1.13E+06 | 4.16E+05 |

Fuente: Extraído del informe "S2 5 Diseño estructura de pavimento 1\_(447 pag.)" elaborado por el CONSORCIO TAYFER

A partir de la información de tránsito proyectada se tiene que el tránsito de diseño será de  $1.13 \times 10^6$  ejes equivalentes, para un periodo de diseño de 10 años en el carril de diseño.

## 7 CAPÍTULO 7. DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO CON MATERIAL TRATADO CON CEMENTO.

**Tabla 8 Alternativa sector 1**

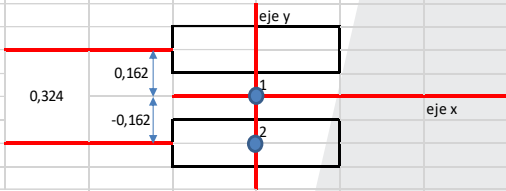
| CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO |          |                             |                    |               |      |                    |                          |                   |      |            |       |
|------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------|--------------------|---------------|------|--------------------|--------------------------|-------------------|------|------------|-------|
| ALTERNATIVA PAVIMENTO CON MGTC SECTOR 1.                         |          |                             |                    |               |      |                    |                          |                   |      |            |       |
| CARPETA ASFÁLTICA                                                |          |                             |                    | BASE GRANULAR |      | SUELO CEMENTO MGTC |                          | MATERIAL GRANULAR |      | SUBRASANTE |       |
| %Vb                                                              | 11,03    | ESPESOR (cm)                | 8,0                | ESPESOR (cm)  | 15,0 | ESPESOR (cm)       | 20,0                     | ESPESOR (cm)      | 30,0 | CBR (%)    | 2,8   |
| %Va                                                              | 5,00     |                             |                    |               |      |                    |                          |                   |      | E (kg/cm2) | 28230 |
| K                                                                | 2,00     |                             |                    |               |      |                    |                          |                   |      |            |       |
| C                                                                |          | μ                           | 0,35               | μ             | 0,45 | μ                  | 0,25                     | μ                 | 0,45 | μ          | 0,45  |
| RESULTADOS DE CÁLCULOS EN LA ESTRUCTURA EN PUNTOS DE INTERES     |          |                             |                    |               |      |                    |                          |                   |      |            |       |
| Esfuerzo ot máximo (Mpa)                                         | 9,58E-01 | Esfuerzo oc máximo (Mpa)    |                    |               |      | 1,22E-01           | Esfuerzo oc máximo (Mpa) |                   |      | 1,14E-02   |       |
| Deformación Et máxima                                            | 2,70E-04 | Deformación Ec máxima       |                    |               |      | 2,12E-04           | Deformación Ec máxima    |                   |      | 3,93E-04   |       |
| Deformación Et admisible                                         | 2,97E-04 | Esfuerzo oc admisible (Mpa) |                    |               |      | 2,75E-01           | Deformación Ec admisible |                   |      | 5,52E-04   |       |
| 0                                                                |          |                             |                    |               |      |                    |                          |                   |      |            |       |
| CARPETA ASFÁLTICA                                                |          |                             | SUELO CEMENTO MGTC |               |      |                    | SUBRASANTE               |                   |      |            |       |
| REPETICIONES ESPERADAS                                           | 1,13E+05 | REPETICIONES ESPERADAS      |                    |               |      | 1,13E+06           | REPETICIONES ESPERADAS   |                   |      | 1,13E+06   |       |
| REPETICIONES ADMISIBLES                                          | 1,75E+06 | REPETICIONES ADMISIBLES     |                    |               |      | 7,91E+06           | REPETICIONES ADMISIBLES  |                   |      | 4,39E+06   |       |
| CONSUMO                                                          | 6%       | CONSUMO                     |                    |               |      | 44%                | CONSUMO                  |                   |      | 26%        |       |
| OBSERVACIÓN                                                      | OK       | OBSERVACIÓN                 |                    |               |      | OK                 | OBSERVACIÓN              |                   |      | OK         |       |

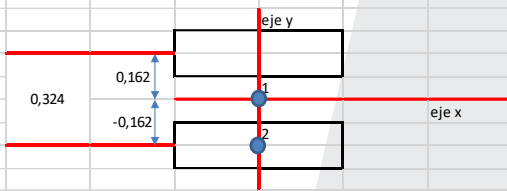
**Tabla 9 Alternativa sector 2**

| CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO |          |                             |       |                    |      |                    |                          |                   |      |            |      |
|------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------|-------|--------------------|------|--------------------|--------------------------|-------------------|------|------------|------|
| ALTERNATIVA PAVIMENTO CON MGTC SECTOR 2.                         |          |                             |       |                    |      |                    |                          |                   |      |            |      |
| CARPETA ASFÁLTICA                                                |          |                             |       | BASE GRANULAR      |      | SUELO CEMENTO MGTC |                          | MATERIAL GRANULAR |      | SUBRASANTE |      |
| %Vb                                                              | 11,03    | ESPESOR (cm)                | 8,0   | ESPESOR (cm)       | 15,0 | ESPESOR (cm)       | 20,0                     | ESPESOR (cm)      | 15,0 | CBR (%)    | 6,8  |
| %Va                                                              | 5,00     |                             |       |                    |      |                    |                          |                   |      |            |      |
| K                                                                | 2,00     | E (kg/cm2)                  | 28230 | E (kg/cm2)         | 2500 | E (kg/cm2)         | 5000                     | E (kg/cm2)        | 1084 | E (kg/cm2) | 609  |
| C                                                                |          | μ                           | 0,35  | μ                  | 0,45 | μ                  | 0,25                     | μ                 | 0,45 | μ          | 0,45 |
| RESULTADOS DE CÁLCULOS EN LA ESTRUCTURA EN PUNTOS DE INTERES     |          |                             |       |                    |      |                    |                          |                   |      |            |      |
| Esfuerzo ot máximo (Mpa)                                         | 9,40E-01 | Esfuerzo oc máximo (Mpa)    |       |                    |      | 1,29E-01           | Esfuerzo oc máximo (Mpa) |                   |      | 2,12E-02   |      |
| Deformación Et máxima                                            | 2,72E-04 | Deformación Ec máxima       |       |                    |      | 1,93E-04           | Deformación Ec máxima    |                   |      | 3,45E-04   |      |
| Deformación Et admisible                                         | 2,97E-04 | Esfuerzo oc admisible (Mpa) |       |                    |      | 2,75E-01           | Deformación Ec admisible |                   |      | 5,52E-04   |      |
| 0                                                                |          |                             |       |                    |      |                    |                          |                   |      |            |      |
| CARPETA ASFÁLTICA                                                |          |                             |       | SUELO CEMENTO MGTC |      |                    |                          | SUBRASANTE        |      |            |      |
| REPETICIONES ESPERADAS                                           | 1,13E+05 | REPETICIONES ESPERADAS      |       |                    |      | 1,13E+06           | REPETICIONES ESPERADAS   |                   |      | 1,13E+06   |      |
| REPETICIONES ADMISIBLES                                          | 1,69E+06 | REPETICIONES ADMISIBLES     |       |                    |      | 7,07E+06           | REPETICIONES ADMISIBLES  |                   |      | 7,41E+06   |      |
| CONSUMO                                                          | 7%       | CONSUMO                     |       |                    |      | 47%                | CONSUMO                  |                   |      | 15%        |      |
| OBSERVACIÓN                                                      | OK       | OBSERVACIÓN                 |       |                    |      | OK                 | OBSERVACIÓN              |                   |      | OK         |      |

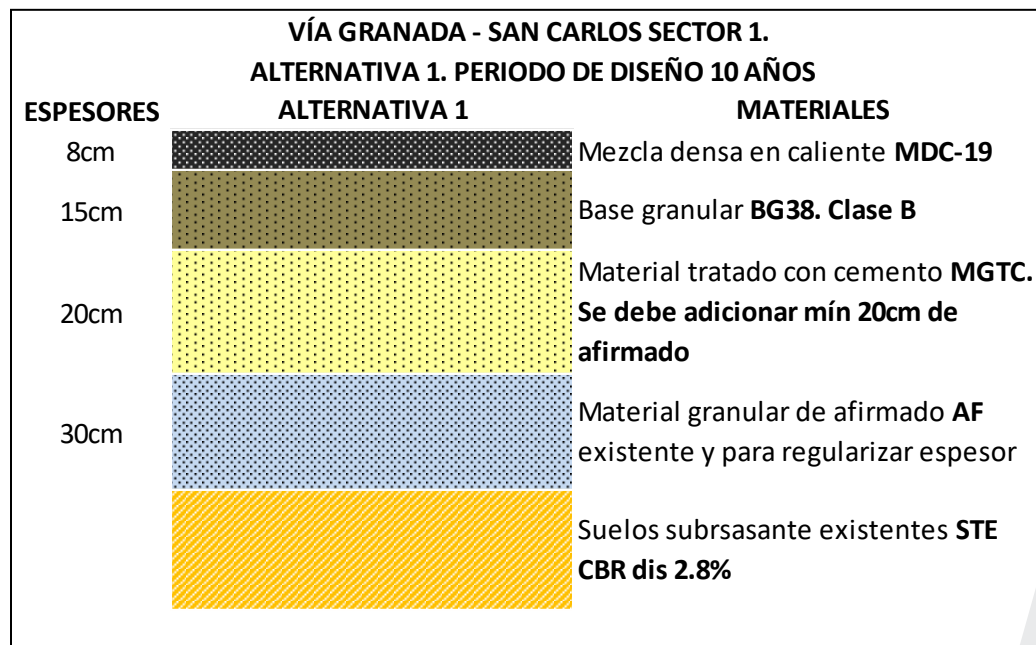
Dadas las tablas 8 y 9; se pueden observar los diferentes análisis realizados por método mecanicista con los esfuerzos máximos y admisibles en la estructura y sus respectivos consumos por capa, con el fin de que la alternativa comprenda las mismas características del informe inicial elaborado por TYFER. Estos valores de esfuerzos calculados sirven para calcular las repeticiones admisibles, las repeticiones admisibles se comparan con las repeticiones esperadas (del estudio de Tránsito); si las repeticiones admisibles son menores a las esperadas, el diseño no cumple y al contrario si cumple; lo que se busca, es que el diseño quede con repeticiones similares, para que la relación admisibles/esperadas, sea menor a 1 o al 100%. A lo anterior se le conoce como ley de Miner o consumo de vida, lo cual aplica para diseños por racional.

Para complementar lo anterior, se adjuntan los cálculos de los esfuerzos con sus respectivos diagramas a continuación:

| PAVIMENTACIÓN VÍA GRANADA - SAN CARLOS   |                |                             |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
|------------------------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------|--------------------------|-----------|----------|--|--|--|--|
| ALTERNATIVA PAVIMENTO CON MGTC SECTOR 1. |                |                             |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| ESTRUCTURA                               |                |                             |                     |             | CARGAS                                                                              |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| CAPA                                     | ESPESOR<br>(m) | Módulo elasticidad<br>(Mpa) | Relación de Poisson |             | CARGA NÚMERO                                                                        | CARGA (Kn) | PRESIÓN (Mpa) | RADIO CARGA (m)          |           |          |  |  |  |  |
| 1                                        | 8,0E-02        | 2,8E+03                     | 0,35                | CA          | 1                                                                                   | 2,00E+01   | 5,55E-01      | 1,08E-01                 |           |          |  |  |  |  |
| 2                                        | 1,5E-01        | 2,5E+02                     | 0,45                | BG          | 2                                                                                   | 2,00E+01   | 5,55E-01      | 1,08E-01                 |           |          |  |  |  |  |
| 3                                        | 2,0E-01        | 5,0E+02                     | 0,25                | BGTC        |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| 4                                        | 3,0E-01        | 8,6E+01                     | 0,45                | AF          |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| 5                                        |                | 3,4E+01                     | 0,45                | STE         |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
|                                          |                |                             |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| POSICIÓN NÚMERO                          | CAPA NÚMERO    | X(COOR) (m)                 | Y(COOR) (m)         | Z(COOR) (m) | ESFUERZOS (MPa)                                                                     |            |               | DEFORMACIONES (Micrones) |           |          |  |  |  |  |
|                                          |                |                             |                     |             | XX                                                                                  | YY         | ZZ            | XX                       | YY        | ZZ       |  |  |  |  |
| 1                                        | 1              | 0,00E+00                    | 0,00E+00            | 7,99E-02    | -4,76E-01                                                                           | 2,58E-01   | 1,59E-01      | -2,25E+02                | 1,33E+02  | 8,50E+01 |  |  |  |  |
| 2                                        | 1              | 0,00E+00                    | -1,62E-01           | 7,99E-02    | -9,32E-01                                                                           | -7,79E-01  | 2,54E-01      | -2,70E+02                | -1,96E+02 | 3,08E+02 |  |  |  |  |
| 3                                        | 3              | 0,00E+00                    | 0,00E+00            | 4,30E-01    | -1,22E-01                                                                           | -1,02E-01  | 3,05E-02      | -2,12E+02                | -1,62E+02 | 1,76E+02 |  |  |  |  |
| 4                                        | 3              | 0,00E+00                    | -1,62E-01           | 4,30E-01    | -1,13E-01                                                                           | -9,07E-02  | 2,78E-02      | -1,99E+02                | -1,41E+02 | 1,61E+02 |  |  |  |  |
| 5                                        | 5              | 0,00E+00                    | 0,00E+00            | 7,30E-01    | 1,83E-04                                                                            | 5,39E-04   | 1,14E-02      | -1,55E+02                | -1,40E+02 | 3,32E+02 |  |  |  |  |
| 6                                        | 5              | 0,00E+00                    | -1,62E-01           | 7,30E-01    | 1,15E-04                                                                            | 6,60E-04   | 1,10E-02      | -1,53E+02                | -1,29E+02 | 3,17E+02 |  |  |  |  |
|                                          |                |                             |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| PEGAR PUNTOS                             |                |                             |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| 1                                        | 0              | 0                           | 0,0799              | 1           |  |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| 2                                        | 0              | -0,162                      | 0,0799              | 1           |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| 3                                        | 0              | 0                           | 0,4299              | 3           |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| 4                                        | 0              | -0,162                      | 0,4299              | 3           |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| 5                                        | 0              | 0                           | 0,7301              | 5           |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| 6                                        | 0              | -0,162                      | 0,7301              | 5           |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
|                                          |                |                             |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| PEGAR ESFUERZOS                          |                |                             |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| 1                                        | -4,76E+09      | 2,58E+09                    | 1,59E+09            | 8,99E-07    | -4,48E-08                                                                           | 0,0000E+00 |               | Mpa                      | Mpa       | Mpa      |  |  |  |  |
| 2                                        | -9,32E+09      | -7,79E+09                   | 2,54E+09            | 2,80E-07    | -2,25E-08                                                                           | -1,23E+08  |               | -4,76E+05                | 2,58E+05  | 1,59E+05 |  |  |  |  |
| 3                                        | -1,22E+09      | -1,02E+09                   | 3,05E+08            | 2,43E-08    | -6,85E-09                                                                           | 0,0000E+00 |               | -9,32E+05                | -7,79E+05 | 2,54E+05 |  |  |  |  |
| 4                                        | -1,13E+09      | -9,07E+08                   | 2,78E+08            | 4,16E-08    | -1,22E-08                                                                           | -6,61E+07  |               | -1,22E+05                | -1,02E+05 | 3,05E+04 |  |  |  |  |
| 5                                        | 1,83E+06       | 5,39E+06                    | 1,14E+08            | 4,36E-10    | -1,19E-09                                                                           | 0,0000E+00 |               | -1,13E+05                | -9,07E+04 | 2,78E+04 |  |  |  |  |
| 6                                        | 1,15E+06       | 6,60E+06                    | 1,10E+08            | 1,00E-09    | -2,81E-09                                                                           | -1,53E+07  |               | 1,83E+02                 | 5,39E+02  | 1,14E+04 |  |  |  |  |
|                                          |                |                             |                     |             |                                                                                     |            |               | 1,15E+02                 | 6,60E+02  | 1,10E+04 |  |  |  |  |
|                                          |                |                             |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| PEGAR DEFORMACIONES                      |                |                             |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |  |  |  |
| 1                                        | -2,25E+00      | 1,33E+00                    | 8,50E-01            | 8,77E-16    | -4,37E-17                                                                           | 0,0000E+00 |               | -2,25E-04                | 1,33E-04  | 8,50E-05 |  |  |  |  |
| 2                                        | -2,70E+00      | -1,96E+00                   | 3,08E+00            | 2,73E-16    | -2,20E-17                                                                           | -1,20E-01  |               | -2,70E-04                | -1,96E-04 | 3,08E-04 |  |  |  |  |
| 3                                        | -2,12E+00      | -1,62E+00                   | 1,76E+00            | 1,24E-16    | -3,49E-17                                                                           | 0,0000E+00 |               | -2,12E-04                | -1,62E-04 | 1,76E-04 |  |  |  |  |
| 4                                        | -1,99E+00      | -1,41E+00                   | 1,61E+00            | 2,12E-16    | -6,20E-17                                                                           | -3,37E-01  |               | -1,99E-04                | -1,41E-04 | 1,61E-04 |  |  |  |  |
| 5                                        | -1,55E+00      | -1,40E+00                   | 3,32E+00            | 3,77E-17    | -1,03E-16                                                                           | 0,0000E+00 |               | -1,55E-04                | -1,40E-04 | 3,32E-04 |  |  |  |  |
| 6                                        | -1,53E+00      | -1,29E+00                   | 3,17E+00            | 8,67E-17    | -2,43E-16                                                                           | -1,32E+00  |               | -1,53E-04                | -1,29E-04 | 3,17E-04 |  |  |  |  |

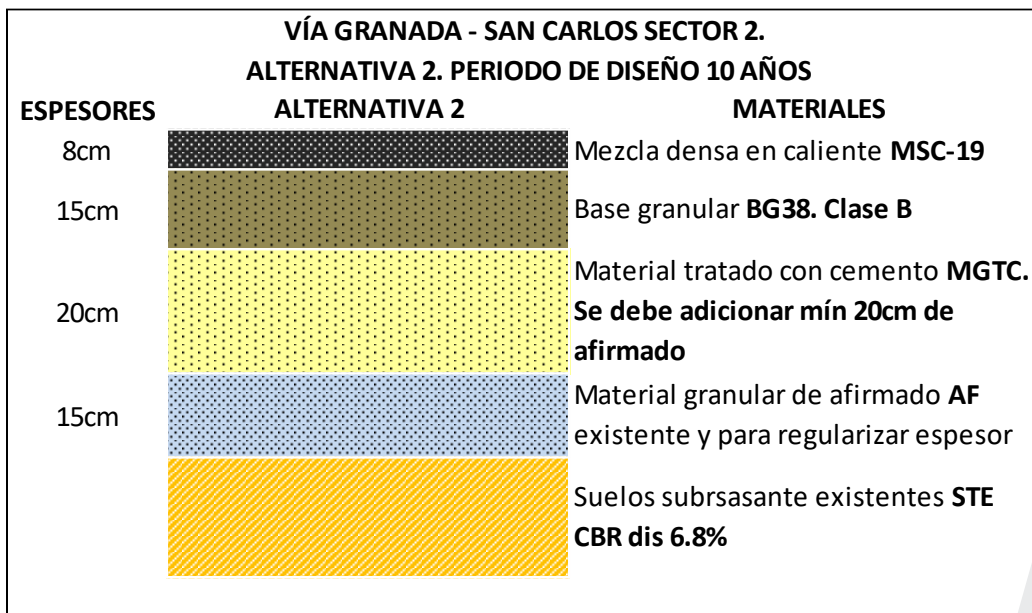
| ASTE<br>ASPHALT TECHNOLOGY              |             | PAVIMENTACIÓN VÍA GRANADA - SAN CARLOS |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
|-----------------------------------------|-------------|----------------------------------------|---------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------|--------------------------|-----------|----------|--|
| ALTERNATIVA PAVIMENTO CON MGTC SECTOR 2 |             |                                        |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| ESTRUCTURA                              |             |                                        |                     |             | CARGAS                                                                              |            |               |                          |           |          |  |
| CAPA                                    | ESPEJOR     | Módulo elasticidad                     | Relación de Poisson |             | CARGA NÚMERO                                                                        | CARGA (Kn) | PRESIÓN (Mpa) | RADIO CARGA (m)          |           |          |  |
|                                         | (m)         | (Mpa)                                  |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| 1                                       | 8,0E-02     | 2,8E+03                                | 0,35                | CA          | 1                                                                                   | 2,00E+01   | 5,55E-01      | 1,08E-01                 |           |          |  |
| 2                                       | 1,5E-01     | 2,5E+02                                | 0,45                | BG          | 2                                                                                   | 2,00E+01   | 5,55E-01      | 1,08E-01                 |           |          |  |
| 3                                       | 2,0E-01     | 5,0E+02                                | 0,25                | BGTC        |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| 4                                       | 1,5E-01     | 1,1E+02                                | 0,45                | AF          |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| 5                                       |             | 6,1E+01                                | 0,45                | STE         |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| POSICIÓN NÚMERO                         | CAPA NÚMERO | X(COOR) (m)                            | Y(COOR) (m)         | Z(COOR) (m) | ESFUERZOS (MPa)                                                                     |            |               | DEFORMACIONES (Micrones) |           |          |  |
|                                         |             |                                        |                     |             | XX                                                                                  | YY         | ZZ            | XX                       | YY        | ZZ       |  |
| 1                                       | 1           | 0,00E+00                               | 0,00E+00            | 7,99E-02    | -4,83E-01                                                                           | 2,52E-01   | 1,60E-01      | -2,26E+02                | 1,32E+02  | 8,70E+01 |  |
| 2                                       | 1           | 0,00E+00                               | -1,62E-01           | 7,99E-02    | -9,40E-01                                                                           | -7,87E-01  | 2,55E-01      | -2,72E+02                | -1,98E+02 | 3,10E+02 |  |
| 3                                       | 3           | 0,00E+00                               | 0,00E+00            | 4,30E-01    | -1,09E-01                                                                           | -9,03E-02  | 3,42E-02      | -1,93E+02                | -1,46E+02 | 1,71E+02 |  |
| 4                                       | 3           | 0,00E+00                               | -1,62E-01           | 4,30E-01    | -1,00E-01                                                                           | -7,91E-02  | 3,13E-02      | -1,80E+02                | -1,26E+02 | 1,55E+02 |  |
| 5                                       | 5           | 0,00E+00                               | 0,00E+00            | 5,80E-01    | 7,01E-05                                                                            | 1,13E-03   | 2,12E-02      | -1,67E+02                | -1,41E+02 | 3,45E+02 |  |
| 6                                       | 5           | 0,00E+00                               | -1,62E-01           | 5,80E-01    | 1,64E-04                                                                            | 1,62E-03   | 1,98E-02      | -1,58E+02                | -1,23E+02 | 3,18E+02 |  |
| PEGAR PUNTOS                            |             |                                        |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| 1                                       | 0           | 0                                      | 0,0799              | 1           |  |            |               |                          |           |          |  |
| 2                                       | 0           | -0,162                                 | 0,0799              | 1           |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| 3                                       | 0           | 0                                      | 0,4299              | 3           |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| 4                                       | 0           | -0,162                                 | 0,4299              | 3           |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| 5                                       | 0           | 0                                      | 0,5801              | 5           |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| 6                                       | 0           | -0,162                                 | 0,5801              | 5           |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| PEGAR ESFUERZOS                         |             |                                        |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| 1                                       | -4,83E+09   | 2,52E+09                               | 1,60E+09            | 8,99E-07    | -4,41E-08                                                                           | 0,0000E+00 |               | Mpa                      | Mpa       | Mpa      |  |
| 2                                       | -9,40E+09   | -7,87E+09                              | 2,55E+09            | 2,80E-07    | -2,07E-08                                                                           | -1,13E+08  |               | -4,83E+05                | 2,52E+05  | 1,60E+05 |  |
| 3                                       | -1,09E+09   | -9,03E+08                              | 3,42E+08            | 2,27E-08    | -7,78E-09                                                                           | 0,0000E+00 |               | -9,40E+05                | -7,87E+05 | 2,55E+05 |  |
| 4                                       | -1,00E+09   | -7,91E+08                              | 3,13E+08            | 3,88E-08    | -1,33E-08                                                                           | -7,21E+07  |               | -1,09E+05                | -9,03E+04 | 3,42E+04 |  |
| 5                                       | 7,01E+05    | 1,13E+07                               | 2,12E+08            | 1,30E-09    | -2,86E-09                                                                           | 0,0000E+00 |               | -1,00E+05                | -7,91E+04 | 3,13E+04 |  |
| 6                                       | 1,64E+06    | 1,62E+07                               | 1,98E+08            | 2,68E-09    | -5,94E-09                                                                           | -3,24E+07  |               | 7,01E+01                 | 1,13E+03  | 2,12E+04 |  |
|                                         |             |                                        |                     |             |                                                                                     |            |               | 1,64E+02                 | 1,62E+03  | 1,98E+04 |  |
| PEGAR DEFORMACIONES                     |             |                                        |                     |             |                                                                                     |            |               |                          |           |          |  |
| 1                                       | -2,26E+00   | 1,32E+00                               | 8,70E-01            | 8,77E-16    | -4,30E-17                                                                           | 0,0000E+00 |               | -2,26E-04                | 1,32E-04  | 8,70E-05 |  |
| 2                                       | -2,72E+00   | -1,98E+00                              | 3,10E+00            | 2,73E-16    | -2,02E-17                                                                           | -1,10E-01  |               | -2,72E-04                | -1,98E-04 | 3,10E-04 |  |
| 3                                       | -1,93E+00   | -1,46E+00                              | 1,71E+00            | 1,16E-16    | -3,97E-17                                                                           | 0,0000E+00 |               | -1,93E-04                | -1,46E-04 | 1,71E-04 |  |
| 4                                       | -1,80E+00   | -1,26E+00                              | 1,55E+00            | 1,98E-16    | -6,76E-17                                                                           | -3,68E-01  |               | -1,80E-04                | -1,26E-04 | 1,55E-04 |  |
| 5                                       | -1,67E+00   | -1,41E+00                              | 3,45E+00            | 6,30E-17    | -1,39E-16                                                                           | 0,0000E+00 |               | -1,67E-04                | -1,41E-04 | 3,45E-04 |  |
| 6                                       | -1,58E+00   | -1,23E+00                              | 3,18E+00            | 1,30E-16    | -2,88E-16                                                                           | -1,57E+00  |               | -1,58E-04                | -1,23E-04 | 3,18E-04 |  |

**Ilustración 2.** Estructura de pavimento vía a 10 años con MGTC Sector 1



- La alternativa comprende la regularización del material granular existente (nivelación y Re compactación), con el fin de encontrar una cama de apoyo para la instalación de 50 centímetros de material granular según norma especificaciones de construcción INVIAS artículo 350 o en su defecto la especificación particular de la Gobernación de Antioquia “Material Granular Tratado con Cemento MGTC” del año 2017, donde 30 de estos corresponden a una mezcla entre material granular existente y material granular importado, de los cuales se estabilizarán 20 centímetros (según formula de trabajo), donde posteriormente se instalará, bajo criterio convenido por las partes (gobernación de Antioquia e Interventoría) una capa de material granular de base tipo BG38 clase B de 15cm para mitigar la aparición de fisuras por retracción del MGTC en la capa de rodadura; la capa de rodadura será de 8 centímetros de mezcla densa MDC-19.

**Ilustración 3.** Estructura de pavimento vía a 10 años con MGTC para el Sector 2



- La alternativa comprende la regularización del material granular existente (nivelación y Re compactación), con el fin de encontrar una cama de apoyo para la instalación de 35 centímetros de material granular según norma especificaciones de construcción INVIAS artículo 350 o en su defecto la especificación particular de la Gobernación de Antioquia “Material Granular Tratado con Cemento MGTC” del año 2017, donde 15 de estos corresponden a una mezcla entre material granular existente y material granular importado, de los cuales se estabilizarán 20 centímetros (según formula de trabajo), donde posteriormente se instalará, bajo criterio convenido por las partes (gobernación de Antioquia e Interventoría) una capa de material granular de base tipo BG38 clase B de 15cm para mitigar la aparición de fisuras por retracción del MGTC en la capa de rodadura; la capa de rodadura será de 8 centímetros de mezcla densa MDC-19.

## **7.1 RECOMENDACIONES.**

Para las estructuras propuestas con alternativas en suelo – cemento o material granular tratado con cemento MGTC:

- El suelo tratado con cemento deberá cumplir con las normas o especificaciones de construcción INVIAS artículo 350 y la especificación de la Secretaría de Infraestructura Física de la gobernación de Antioquia SIF001-17.
- Para las estructuras de pavimento con periodos de 10 años, la capa de material granular existente, se deberá dejar como mínimo en los espesores que se recomienda y se muestran en las ilustraciones 2 y 3. Para conformar la capa de material granular tratado con cemento, según sea la unidad homogénea, se deberá adicionar o completar para el sector I 15cm y para el sector II 30cm de material granular de la zona o similar al existente hoy en día a lo largo y ancho de toda la sección de vía a pavimentar.
- Previamente se deberá entonces, para poder construir las alternativas de pavimento con MGTC propuestas, conformar el material granular existente y nivelarlo, para luego colocar una nueva capa de material granular, en el espesor según la alternativa elegida, que será la capa a la que se le añadirá cemento para estabilizar.

En resumen:

Para periodos de 10 años, la capa de material granular existente se deberá conformar, retirar los sobretamaños y recomprimir al 95% de la densidad máxima de laboratorio. Seguido se colocará, extenderá y nivelará una capa mínima de 20cm de material granular, que será la capa para estabilizar o tratar con cemento.

- Se extenderá el cemento que resulte de la dosificación.
  - Con ayuda de la maquina recicladora, se combinará el material granular y el cemento.
  - El diseño del suelo cemento, deberá garantizar durabilidad y resistencia, para conformar un suelo cemento tipo SC-R.
  - El diseño del suelo cemento deberá garantizar una resistencia a la compresión mínima de 2.1MPa a los 7 días de maduración.
  - Una vez conformada la capa de suelo cemento o MGTC, compactada y verificada, se procederá a imprimir para luego colocar la capa de rodadura, que en este caso será una mezcla densa en caliente tipo MDC-19.
-

Para realizar el tratamiento del suelo granular a tratar con cemento, se requiere hacer lo siguiente:

- Colocar la capa de material granular que permita garantizar que, cuando se esté estabilizando, se conforme una capa con espesor pleno compactado, igual o mayor al recomendado según la unidad o zona de diseño y el periodo de diseño seleccionado.
  - Verificado que el espesor a tratar, sea el de diseño, se procederá a realizar la mezcla con el cemento.
  - Previamente se debe rectificar o verificar el contenido de humedad, para saber si se debe adicionar agua para la pre envuelta (se recomienda que la humedad de pre envuelta, este por debajo, dos o tres puntos porcentuales de la óptima de compactación) con el cemento y para su compactación. En caso que haya exceso, se deberá, con la ayuda de la motoniveladora, extender y abrir el material para que se pierda humedad.
  - Conformada la capa, se procederá al extendido del cemento. Esto se puede hacer manual (sacos de cemento de 50Kg), según el porcentaje de cemento recomendado, ayudado con rastrillos o cepillos metálicos para extenderlos sobre toda la sección de la vía.
  - Una vez esparcido el cemento, se procederá a realizar la mezcla con maquinaria adecuada, para finalmente adicionar el agua para compactación y densidad óptima, sellado y curado de la capa.
  - A continuación, se incrementa la humedad, hasta alcanzar la óptima de compactación mediante riegos o pasadas de un carro tanque; cada pasada del carro tanque, implica una nueva mezcla del material, para que el cemento, el agua y el material a estabilizar, queden íntimamente mezclados en la totalidad del espesor y ancho de la calzada.
  - Una vez el material granular haya alcanzado la humedad óptima y ha sido totalmente mezclado, debe compactarse de inmediato. El porcentaje de compactación, deberá ser mayor al 95% de la densidad máxima determinada sobre una muestra de la mezcla húmeda toma en campo.
  - La densidad debe ser tomada in situ inmediatamente después de terminar la compactación. No es válido tomar densidad luego que el cemento haya fraguado ya que se ha endurecido, por ningún motivo se puede tomar densidades después de cuatro horas de terminado la labor de compactación.
  - El tiempo máximo del que se dispone entre aplicación del cemento y la compactación deberá ser como máximo de 4 horas, pero, si la temperatura ambiente supera los 30°C, este tiempo se reduce a máximo 3 horas.
  - Así mismo, el tiempo de compactación deberá ser lo más breve posible (la operación en sí) y no deberá exceder de 2 horas en un mismo sitio, esto debido a que puede destruir uniones moleculares producidas por el fraguado o lo que es lo mismo, perder resistencia.
-

- Para mantener un adecuado curado del cemento y garantizar que alcance su potencial y su resistencia, se recomienda adicionar agua durante siete (7) días o mantener húmeda la capa con riegos a través de aspersores agrícolas o con materiales que permitan y mantengan la humedad en la capa estabilizada.
- Entre los controles mínimos que deben llevarse en obra, están los de verificar constantemente los contenidos de humedad del material (existente + adicionado), para poder realizar el mezclado, luego la humedad de pre envuelta y luego verificar la humedad optima de compactación.
- Se recomienda también, recolectar muestras de la mezcla –material granular + cemento– y hacer cilindros para verificar la resistencia de diseño sobre muestras de campo.

## 7.2 LIMITACIONES.

Las estructuras de pavimento que se recomiendan en este informe parten del análisis geotécnico, resultados de laboratorio y análisis de la información de tránsito de los estudios realizado por Consorcio TYFER, anexo a este informe, por tanto, dicho documento y el resto de información disponible que se menciona en ese documento formará parte integral de este informe y sus recomendaciones prevalecen para garantizar las alternativas con material granular tratado con cemento que remienda ASTE.

El presente documento no tiene un alcance hidráulico, por tanto, se recomienda tener el concepto de un especialista en esa área para que de recomendaciones de drenaje superficial y subsuperficial para lograr mantener las estructuras de pavimento estables en el periodo de diseño propuestos.

Así mismo, el presente documento no tiene en alcance geométrico y las suposiciones de espesores de los materiales granulares existentes, están en función de los apiques efectuados, por tanto, es de vital importancia realizar un diseño de rasantes, para garantizar que los espesores y las recomendaciones que a los materiales existentes se les da, se puedan verificar en campo, ya que, de dicho espesor existente, parten las recomendaciones de colocar material granular. Por ejemplo, cabe en la posibilidad que, para poder garantizar un peraltado y pendientes adecuadas de la vía, se deban realizar cortes, lo que modificará la rasante existente y sobre todo el espesor de material existente, lo que modificará el espesor de material a adicionar.

En ese sentido, para que se pueda verificar las condiciones de diseño, se deberá contemplar una rasante por encima de la existente, evitando realizar muchos cortes.

---

## 7.3 ANEXO DE RELACIONES, REGISTROS, MEDICIONES Y ANÁLISIS

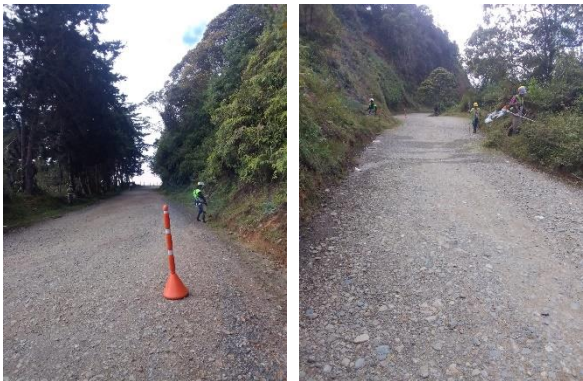
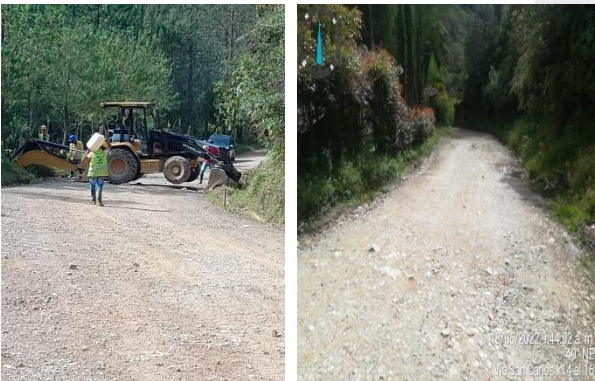
| RASANTE EN MATERIAL GRANULAR           |                                             |                                                                                      |                                |
|----------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| RECORRIDO<br>ASTE S.A.S Y<br>AIM S.A.S | RECORRIDO<br>CONTRATISTA E<br>INTERVENTORÍA | FOTOGRAFÍAS                                                                          | OBSERVACIONES                  |
| K6+550 -<br>K10+200                    | K6+591 -<br>K10+150                         |    | Material en buenas condiciones |
| K10+560 -<br>K15+170                   | K10+570 -<br>K15+150                        |   | Material en buenas condiciones |
| K15+830                                | K15+850                                     |  | Material en buenas condiciones |

Tabla 10 Rasante en material granular.

| RASANTE EN ROCA                               |                                               |                                                                                      |                                    |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| RECORRIDO<br>ASTE S.A.S Y<br>AIM S.A.S        | RECORRIDO<br>CONTRATISTA E<br>INTERVENTORÍA   | FOTOGRAFÍAS                                                                          | OBSERVACIONES                      |
| K7+250 -<br>K7+300;<br>K8+300 -<br>K9+890     | K7+245 -<br>K7+310;<br>K8+300 -<br>K9+900     |    | Material en óptimas<br>condiciones |
| K13+410 -<br>K13+660;<br>K14+790 -<br>K15+000 | K13+400 -<br>K13+650;<br>K14+780 -<br>K15+020 |   | Material en óptimas<br>condiciones |
| K15+100 -<br>K15+300;<br>K15+450 -<br>K15+870 | K15+150 -<br>K15+300;<br>K15+500 -<br>K15+850 |  | Material en óptimas<br>condiciones |

Tabla 11 Rasante en roca.

| RASANTE EN ESTADO CRÍTICO              |                                             |                                                                                      |                                                                             |
|----------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| RECORRIDO<br>ASTE S.A.S Y<br>AIM S.A.S | RECORRIDO<br>CONTRATISTA E<br>INTERVENTORÍA | FOTOGRAFÍAS                                                                          | OBSERVACIONES                                                               |
| No Aplica                              | K15+400                                     |    | Tramos de mejoramiento con roca (Tramos ajustados según recorrido de campo) |
| No Aplica                              | K15+400 Y<br>K14+570                        |   | Tramos de mejoramiento con roca (Tramos ajustados según recorrido de campo) |
| No Aplica                              | K14+390 Y<br>K15+400                        |  | Tramos de mejoramiento con roca (Tramos ajustados según recorrido de campo) |

Tabla 12 Puntos críticos

| RELACIÓN DIFERENTES CBRS |         |        |                     |                         |                        |                                         |
|--------------------------|---------|--------|---------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------------------|
| ABS                      |         | APIQUE | CBR GOBERNACION (%) | CBR ASTE SUBRASANTE (%) | CBR AIM SUBRASANTE (%) | CBR AIM MATERIAL GRANULAR EXISTENTE (%) |
| K6+591                   | K6+550  | 1      | 5,99                |                         |                        |                                         |
| K6+850                   | K6+800  | 2      | 4,50                | 18,25                   | 14,34                  | 85                                      |
|                          | K7+050  | 3      | 7,55                |                         |                        |                                         |
| K7+100                   | K7+300  | 4      | 6,02                |                         | 5,59                   |                                         |
|                          | K7+550  | 5      | 9,05                |                         |                        |                                         |
| K7+600                   | K7+800  | 6      | 6,93                |                         | 5,36                   | 41                                      |
|                          | K8+050  | 7      | 6,91                |                         |                        |                                         |
|                          | K8+300  | 8      | 8,15                |                         |                        |                                         |
| K8+350                   | K8+550  | 9      | 8,64                | 10,67                   | 18,76                  |                                         |
|                          | K8+800  | 10     | 7,52                |                         |                        |                                         |
| K8+850                   | K9+050  | 11     | 9,73                |                         | 7,82                   |                                         |
|                          | K9+300  | 12     | 6,75                |                         |                        |                                         |
|                          | K9+550  | 13     | 9,48                |                         |                        |                                         |
|                          | K9+800  | 14     | 6,7                 |                         |                        |                                         |
|                          | K10+050 | 15     | 6,2                 |                         |                        |                                         |
| K10+350                  | K10+300 | 16     | 7,16                | 9,36                    | 5,01                   | 41                                      |
|                          | K10+550 | 17     | 8,47                |                         |                        |                                         |
|                          | K10+800 | 18     | 8,38                |                         |                        |                                         |
|                          | K11+050 | 19     | 8,01                |                         |                        |                                         |
| K11+350                  | K11+300 | 20     | 5,16                |                         | 4,88                   |                                         |
|                          | K11+550 | 21     | 5,47                |                         |                        |                                         |
|                          | K11+800 | 22     | 8,2                 |                         |                        |                                         |
|                          | K12+050 | 23     | 6,94                |                         |                        |                                         |
| K12+350                  | K12+300 | 24     | 9,02                | 7,86                    | 4,8                    |                                         |
|                          | K12+550 | 25     | 9,21                |                         |                        |                                         |
|                          | K12+800 | 26     | 4,6                 |                         |                        | 19                                      |
|                          | K13+050 | 27     | 9,7                 |                         |                        |                                         |
| K13+350                  | K13+300 | 28     | 7,2                 |                         | 2,91                   | 70                                      |
|                          | K13+550 | 29     | 7,03                |                         |                        |                                         |
|                          | K13+800 | 30     | 23,2                |                         |                        |                                         |
|                          | K14+050 | 31     | 9,95                |                         |                        |                                         |
| K14+350                  | K14+300 | 32     | 6,7                 | 5,33                    | 17,13                  |                                         |
|                          | K14+550 | 33     | 6,56                |                         |                        |                                         |
|                          | K14+800 | 34     | 10,3                |                         |                        |                                         |
|                          | K15+050 | 35     | 7,62                |                         |                        |                                         |
| K15+370                  | K15+300 | 36     | 7,63                |                         | 26,05                  | 70                                      |
| K15+850                  | K15+550 | 37     | 8,38                | 1,07                    | 3,46                   |                                         |
| K15+990                  | K15+800 | 38     | 8,48                |                         | 7,65                   |                                         |
| K16+004                  | K16+050 | 39     | 8,47                |                         |                        |                                         |

Tabla 13 Relación CBRS.

| Via Granada - San Carlos                                                   |              |               |        |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------|
| Rasante en material granular (Material en Buenas condiciones)              |              |               |        |
| Abcisa Inicial                                                             | Abcisa Final | Longitud ( m) |        |
| K6 + 591                                                                   | k7+245       | 654           |        |
| K7 + 310                                                                   | K8+300       | 990           |        |
| K9+900                                                                     | K10+150      | 250           |        |
| K10+570                                                                    | K12+270      | 1700          |        |
| K14+570                                                                    | K14+780      | 210           |        |
| K15+020                                                                    | K15+150      | 130           |        |
| K15-430                                                                    | K15+500      | 70            |        |
| K15+850                                                                    | K16+004      | 154           |        |
| <b>Total</b>                                                               |              | 4158          | 44,17% |
| Rasante en Roca                                                            |              |               |        |
| Abcisa Inicial                                                             | Abcisa Final | Longitud ( m) |        |
| k7+245                                                                     | k7+310       | 65            |        |
| k8+300                                                                     | k9+900       | 1600          |        |
| k13+400                                                                    | k13+650      | 250           |        |
| k14+780                                                                    | k15+020      | 240           |        |
| k15+150                                                                    | k15+300      | 150           |        |
| k15+500                                                                    | k15+850      | 350           |        |
| <b>Total</b>                                                               |              | 2655          | 28,21% |
| Tramo de mejoramiento con roca (Tramos ajustados según recorrido de campo) |              |               |        |
| k10+150                                                                    | k10+570      | 420           |        |
| k12+270                                                                    | k13+400      | 1130          |        |
| k13+650                                                                    | k14+120      | 470           |        |
| k14+120                                                                    | k14+190      | 70            |        |
| K14+250                                                                    | K14+570      | 320           |        |
| k15+300                                                                    | k15+430      | 130           |        |
| <b>Total</b>                                                               |              | 2540          | 26,98% |
| <b>Longitud Total</b>                                                      |              | <b>9353</b>   | m      |
| <b>Longitud de enfoques puente</b>                                         |              | <b>60</b>     | m      |
| <b>Longitud Total Proyecto</b>                                             |              | <b>9413</b>   | m      |

| Vía Granada - San Carlos. Subrasante en material granular (Registro In Situ ASTE Y AIM) |              |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|
| Abcisa Inicial                                                                          | Abcisa Final | Longitud ( m) |
| K6 + 591                                                                                | k8+300       | 1709          |
| k8+300                                                                                  | k10+580      | 2280          |
| K10+580                                                                                 | K12+270      | 1690          |
| K12+270                                                                                 | K14+570      | 2300          |
| K14+570                                                                                 | K15+430      | 860           |
| k15+430                                                                                 | k16+004      | 574           |
| <b>Longitud Total (metros)</b>                                                          |              | <b>9413</b>   |

Tabla 14 Discriminación de longitudes de rasante según material  
(Recorrido entre contratista e interventoría)

Dadas las tablas anteriores y las diferentes alternativas del diseño de las estructuras del pavimento expuestas en este informe, es importante mencionar que se contemplan los tramos de roca que se encontraron en el recorrido efectuado por el contratista y la interventoría del proyecto como una unidad de soporte variable, que en el efecto de cálculos se determina con los datos establecido de CBR y metodologías de diseño, toda vez que se realizó su respectiva evaluación de los efectos de punzonamiento frente a la estructura antes descrita.

## **ANALISIS Y RECOMENDACIONES**

La vía se encuentra consolidada y estable a pesar de la fuerte oleada invernal que ha azotado la zona. Por lo cual se recomienda conservar la capa actual de material granular existente.

Se presenta gran presencia de agua en la totalidad de la vía, por lo que se recomienda pensar en que la alternativa contemple materiales granulares estabilizados con el fin de prevenir el lavado de finos en la estructura a mediano plazo

Se presenta zonas consolidadas en roca, por lo que se recomienda sobreponer la estructura (alternativa) con el fin de eliminar el punzonamiento en la carpeta asfáltica.

Se evidencia en gran parte que la rasante de rodadura actual se encuentra mas baja que las zonas laterales, por lo que se recomienda no retirar la estructura existente con el fin de prevenir empozamientos o drenajes superficiales que puedan afectar la vía a corto plazo.

Se evidencia diferencia en las condiciones de diseño entregadas, por lo que recomendamos dicha alternativa que se encuentra ajustada a las condiciones actuales del proyecto.

## **VENTAJAS**

- |                                                             |                                                        |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Menores tiempo de ejecución        | <input type="checkbox"/> Menores cierres de via        |
| <input type="checkbox"/> Menor permeabilidad a la erosión   | <input type="checkbox"/> Disminución costos transporte |
| <input type="checkbox"/> Optimización de materiales locales | <input type="checkbox"/> Menor impacto ambiental       |
-

- \_ Mayor generación de empleo en la zona
- \_ Menor impacto social
- \_ Menor contaminación ambiental en huella de carbono

El módulo de elasticidad, cuyo valor es de 500MPa o 5000KG/cm<sup>2</sup>, es un valor adecuado con el que se han realizado varios diseños para la gobernación de Antioquia, cumpliendo siempre que se tenga un material granular (existente o de material granular) el cual, a los siete (7) días de maduración del material estabilizado con cemento, cumpla con una resistencia a la compresión inconfiada de 2.1MPa.

Por otra parte, según el manual de estabilización de suelos español, los módulos de elasticidad que se pueden obtener en una mezcla de suelo – cemento, están por valores de 200MPa a 2000MPa y, según las condiciones del material granular que se piensa estabilizar o tratar con cemento, se encuentra en una parte entre un material o un suelo EST2 y un EST3, que equivale a nuestras especificaciones, como materiales para suelos seleccionados para corona de terraplén (artículo 220-21) o un material granular (artículo 311-21).

En la siguiente figura se muestra los valores de módulos de elasticidad recomendados por el manual de estabilización de suelos con cal o cemento del Instituto Español del Cemento y sus aplicaciones, capítulo 3, pagina 57.

|        |          |
|--------|----------|
| S-EST1 | 200 MPa  |
| S-EST2 | 300 MPa  |
| S-EST3 | 2000 MPa |

Fuente: Manual de estabilización de suelos Español

**Tabla 2.3 – Prescripciones de los suelos a utilizar en estabilizaciones**

|                     |                   |            | S-EST1 | S-EST2      | S-EST3 |
|---------------------|-------------------|------------|--------|-------------|--------|
| Granulometría       | Tamaño máximo     |            | 80 mm  |             |        |
|                     | Suelo con cal     | Pase 63 μm | ≥ 15   |             | -----  |
|                     | Suelo con cemento | Pase 63 μm | < 50   |             | < 35   |
|                     |                   | Pase 2 mm  | > 20   |             |        |
| Plasticidad         | Suelo con cal     | IP         | ≥ 12   | ≥ 12 y ≤ 40 | -----  |
|                     | Suelo con cemento | LL         | -----  | ≤ 40        |        |
|                     |                   | IP         | ≤ 15   |             |        |
| % Materia orgánica  |                   |            | < 2    | < 1         |        |
| % Sulfatos solubles |                   |            | < 1    |             |        |

Fuente: Manual de estabilización de suelos Español

La tabla anterior, muestra las características mínimas para los suelos o materiales a tartar con cemento. Esta tabla también fue tomada del manual de estabilización de suelos con cal o cemento del Instituto Español del Cemento y sus aplicaciones, capítulo 2, pagina 18.

Se empleó un módulo para diseño, de 500MPa para tener en cuenta posibles errores humanos en la dosificación, mezcla y curado en el sitio de obra y así mismo, para no tener una mezcla demasiado rígida elásticamente, que requiera de cortes para dilatación.

## 8 BIBLIOGRAFIA.

- AMERICAN ASSOCIATION STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). Norma AASHTO T- 193. California Bearing Ratio.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas para ensayos de Carreteras Bogotá D.C. [en línea]: El instituto, 2015. Disponible en <[www.invias.gov.co](http://www.invias.gov.co)>
- HOLTZ, Robert, KOVACS, William. An Intoduction to Geotechnical Engeineering. 1981
- HUANG, Yang. “Pavement Análisis and Design”, 1993
- AASHTO. “Guide for Design of pavement structures”. 1993
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, “Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito.
- Normas INVIAS artículo 300.

