

# CAPÍTULO I

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Las carreteras han sido durante décadas el principal medio de transporte terrestre, y la vía fundamental para el desarrollo socio-económico de las regiones y países, y por esta razón se deben mantener las vías expeditas garantizando su durabilidad, seguridad y confort para los vehículos que circulan por estas carreteras.

El pavimento es una estructura formada por un conjunto de capas fundadas sobre el suelo de fundación de un camino o sobre materiales granulares nuevos; los daños que presenta una estructura de pavimento flexible pueden ser clasificados en distintas categorías, una de estas categorías es el fisuramiento invertido transversal y estabilidad que está relacionado con el tráfico, se presenta cuando los esfuerzos de tensión que se generan al paso de los vehículos en la parte superficial de la mezcla, sobrepasan los esfuerzos de tensión que la mezcla puede soportar.

En el presente trabajo se determinarán las posibles causas de la fisuración invertida transversal y estabilidad que se han venido presentando prematuramente en la carretera Tarija –Potosí en el tramo cruce san Lorenzo – cruce san Lorencito que recientemente fue construida.

La fisuración invertida transversal en los pavimentos asfálticos es un modo de falla ampliamente reconocido y aceptado por el método de diseño de la AASHTO (2008), esta falla se caracteriza por presentarse preferencialmente a lo largo de las huellas de circulación del tráfico en forma longitudinal y es originada por la poca capacidad que ofrece la mezcla asfáltica para soportar los esfuerzos de tensión superficiales que se reflejan en la inter-fase llanta pavimento, por lo general se manifiesta prematuramente en vías cuyas estructuras son nuevas.

## **1.2. JUSTIFICACION**

En los últimos años la construcción y mantenimiento de carreteras en todos los países y también en el nuestro han adquirido mucha importancia, la ejecución de nuevos y más tramos viales han dado lugar a nuevas experiencias en la construcción de carreteras que muchas veces dan lugar a problemas de fisuras invertidas transversales prematuras a lo largo de la huella del tráfico.

La justificación de este trabajo consiste en incorporar y tomar en cuenta en los diseños de carreteras el modo de falla de la fisuración invertida transversal que es ampliamente reconocido y aceptado por el método de diseño AASHTO (2008).

Los resultados obtenidos con el ensayo Marshall servirán para determinar la estabilidad y la deformación de la carpeta asfáltica.

Los resultados de este estudio serán de gran utilidad para los diseñadores de carreteras, ya que con esta información podrán prevenir posibles fallas de fisuración invertida transversal y brindar a los conductores mayor seguridad, durabilidad y comodidad.

Los análisis de las causas sobre la fisuración invertida transversal y su relación con la estabilidad de la mezcla servirán para prevenir posibles fallas en los nuevos diseños de pavimentos asfálticos y evitar gastos innecesarios en su reparación y mantenimiento.

El presente trabajo significa un aporte académico importante porque su estudio no está en las materias académicas de la carrera de Ingeniería Civil por lo que se hace imperiosa la necesidad de profundizar para que se convierta en documento de consulta.

## **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO**

### **1.3.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA**

Las estructuras de los pavimentos son vulnerables a problemas de fallas como la fisuración invertida transversal debido a varias causas y factores que no son tomados en cuenta al momento de diseñar una carretera.

Al ser las carreteras obras de ingeniería de mucho costo, requieren estar en buen estado para brindar seguridad a los vehículos que transitan por la vía, muchas veces en el diseño de los pavimentos asfálticos no se consideran el modo de falla de la fisuración invertida transversal y estabilidad que pueden propagarse en daños más severos y deteriorar el pavimento con el paso del tiempo si no se hace una reparación oportuna.

En los proyectos de nuestro país en la etapa de diseño se priorizan las obras más importantes de la carretera, dejando de lado algunos componentes que son importantes a la hora de diseñar, tal es el caso de la falla de fisuración invertida y estabilidad.

La determinación de las causas que originan las fallas de fisuración invertida transversal que pueden tener las carreteras durante la apertura al tránsito, es cada vez de mayor importancia, pensando en el costo de mantenimiento y en la seguridad de los usuarios, por eso cualquier esfuerzo académico o ingenieril para abordar el tema es importante y necesario en nuestro país, por ello debe considerarse la metodología de evaluación ya estudiada en otro país y ponerla en consideración para las condiciones propias de nuestro país.

### **1.3.2. PROBLEMA**

¿Cuáles son las causas que originan las fisuras invertidas transversales de la mezcla en el pavimento asfáltico existente en el tramo San Lorenzo – San Lorencito, para evaluar el estado actual del pavimento del tramo e indicar las alternativas correctivas para mantenimiento del pavimento?

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar las causas que originan la fisuración invertida transversal y como consecuencia la estabilidad en pavimentos asfálticos, tomando en cuenta la

metodología de evaluación de fallas de otro país y apropiarla a nuestra condición local, para que sea aplicado al tramo cruce San Lorenzo – cruce San Lorencito.

#### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los elementos y principios de la fisuración invertida transversal basados en los manuales de fallas en pavimentos.
- Describir las características del tramo de estudio, considerando sus condiciones de diseño de la estructura del pavimento.
- Determinar el porcentaje de fallas de fisuración invertida transversal existentes en el tramo de estudio.
- Calcular el nivel de severidad de las fallas y su incidencia que tienen en el pavimento.
- Estimar la estabilidad de la mezcla en la carpeta asfáltica del tramo de estudio.
- Analizar los resultados obtenidos después del procedimiento de evaluación en el tramo para evaluar los resultados sobre las fallas existentes.
- Establecer conclusiones y recomendaciones.

### **1.5. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **1.5.1. COMPONENTES**

##### **1.5.1.1. UNIDAD**

La unidad de estudio en el presente trabajo son las causas que originan la fisuración invertida transversal y estabilidad en pavimentos asfálticos que afectan a la seguridad vial en las carreteras.

#### **1.5.1.2. POBLACIÓN**

La población en el presente trabajo es el conjunto de carreteras de la red vial que presentan fallas de fisuración invertida transversal para determinar las causas que originan la fisuración invertida transversal y estabilidad en pavimentos asfálticos en las carreteras del Departamento de Tarija que presentan este tipo de fallas que afectan a la seguridad vial.

#### **1.5.1.3. MUESTRA**

La muestra en el presente trabajo son las causas que originan la fisuración invertida transversal y estabilidad en pavimentos asfálticos en el tramo Cruce San Lorenzo – Cruce San Lorencito que presentan este tipo de fallas que afectan a su seguridad vial.

##### **1.5.1.3.1. MUESTREO**

Para la determinación de las causas que originan la fisuración invertida transversal, se toma un muestreo dentro del tramo Cruce San Lorenzo – Cruce San Lorencito se eligen sub tramos de 1 kilómetro cada uno y se evalúa 100 metros de cada sub tramo.

Se realiza el muestreo de la carpeta asfáltica, tomando la muestra de los materiales usados en la construcción del pavimento para realizar la prueba de estabilidad de Marshall.

Para la estabilidad se usó el muestreo no probabilístico para la obtención del cemento asfáltico y de los materiales de aportación, ya que estos materiales son seleccionados intencionalmente del tramo de estudio.

#### **1.5.2. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

### **1.5.2.1. MÉTODOS**

El método que se utiliza en el presente estudio es inductivo y deductivo, es decir, que en base a los documentos ya existentes sobre los procedimientos que se sigue para determinar las causas que originan la falla de fisuración invertida transversal y estabilidad que tiene una carretera, se deduce su aplicabilidad a casos de nuestra región donde se tiene pavimentos que presentan este tipo de fallas que inciden en la seguridad vial del tramo.

El Método de dosificación Marshall determina el procedimiento para realizar los ensayos de estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas preparadas en caliente, utilizando el equipo Marshall, determina características físicas de las mezclas y analiza los parámetros que definen el contenido de asfalto.

### **1.5.2.2. TÉCNICAS**

La técnica es experimental respecto a las variables de la fisuración invertida transversal en carreteras deben determinarse de forma directa, usando una evaluación visual en el tramo de estudio y que puedan ser procesados en gabinete, antes de usar bajo el procedimiento que nos indique la propuesta de determinación de las causas de la falla de fisuración invertida transversal y estabilidad en carreteras.

La técnica usada para la estabilidad Marshall se determina empleando el principio de corte en compresión semi-confinada, sometiendo a la muestra a esfuerzos de compresión diametral a una temperatura de 60°C (140°F). La aplicación de esfuerzos y la rotura de las muestras se consiguen con un dispositivo especialmente proyectado para las pruebas de estabilidad.

Además, la mezcla debe tener la fluidez necesaria para que pueda compactarse a la densidad exigida y producir una textura superficial adecuada. El valor del flujo representa la deformación producida en el sentido del diámetro del espécimen antes de que se produzca su fractura. Este valor es un indicador de la tendencia para alcanzar una condición plástica y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas que por ella transiten.

### 1.5.3. TRATAMIENTO ESTADISTICO

Para analizar los resultados obtenidos de los sub tramos ya mencionados anteriormente, será necesario realizar un análisis estadístico, para establecer una relación existente entre variables se elegirá el método más apropiado.

Existen técnicas estadísticas que permiten disminuir el impacto de estas discrepancias atribuidas a variables no controladas, mediante un “ajuste” de datos o regresión.

El análisis de regresión nos da la capacidad de representar una serie de datos o de resultados, por medio de un modelo matemático que describa con exactitud su comportamiento respecto a determinadas variables.

El tipo de estudio que se realizará es Descriptivo o Correlacional, por tanto la estadística nos pide un mínimo de 30 muestras por grupo o variable.

#### **Estadística descriptiva.**

Se conoce como estadística descriptiva al estudio de los métodos para reunir, clasificar, presentar y describir a un conjunto de datos.

#### **Media aritmética**

La media aritmética de n valores, es igual a la suma de todos ellos dividida entre n. Se denota por  $\bar{x}$ . Esto es:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Cuando los datos tienen más de una frecuencia, para obtener la media aritmética se agrega otra columna a la tabla estadística con el producto de las observaciones y sus frecuencias. Es decir, si se cuenta con una distribución de datos entonces se aplica la fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n f \cdot x_i}{n}$$

Las características de la media aritmética son:

- Es una medida totalmente numérica o sea sólo puede calcularse en datos de características cuantitativas.
- En su cálculo se toman en cuenta todos los valores de la variable.
- Es lógica desde el punto de vista algebraico.
- La media aritmética es altamente afectada por valores extremos.
- No puede ser calculada en distribuciones de frecuencia que tengan clases abiertas.
- La media aritmética es única, o sea, un conjunto de datos numéricos tiene una y sólo una media aritmética.

### ➤ **Mediana**

La mediana es el punto central de una serie de datos ordenados de forma ascendente o descendente.

De acuerdo al número de casos o datos, hay dos formas para calcular la mediana: para número impar y para número par:

❖ Datos impares  $X_{(n+1)/2}$

❖ Datos pares  $X_{\frac{n}{2}} ; X_{\frac{n}{2}+1}$

- Número impar de datos ordenados de menor a mayor o de mayor a menor: la mediana es el valor que queda justo al centro.

Las características de la mediana son:

- En su cálculo no se incluyen todos los valores de la variable.
- La Mediana no es afectada por valores extremos.
- Puede ser calculada en distribuciones de frecuencia con clases abiertas.
- No es lógica desde el punto de vista algebraico.

### ➤ **Moda**

La moda de un conjunto de datos numéricos es el valor que más se repite, es decir, el que tiene el mayor número de frecuencias absolutas. La moda puede ser no única e inclusive no existir.

La moda es una medida de tendencia central muy importante, porque permite planificar, organizar y producir para satisfacer las necesidades de la mayoría.

Las características de la moda son:

- En su cálculo no se incluyen todos los valores de la variable.
- El valor de la moda puede ser afectado grandemente por el método de designación de los intervalos de clases.
- No está definida algebraicamente.
- Puede ser calculada en distribuciones de frecuencia que tengan clases abiertas.
- No es afectada por valores extremos.

### ➤ **Media ponderada**

La media ponderada de un conjunto de valores de una variable  $x$  a los que se han asignado, respectivamente, una ponderación se calcula mediante la fórmula:

$$\overline{X}_p = \frac{\sum_{i=1}^n X_i * P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{X_1 * P_1 + X_2 * P_2 + \dots + X_n * P_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}$$

Los valores  $n, p, p, p, \dots, p_1, p_2, p_3$  indican la importancia que se quiere dar a cada uno de los valores que toma la variable  $x$ .

### ➤ **Media geométrica**

La media geométrica de un conjunto de  $n$  observaciones es la raíz enésima de su producto. El cálculo de la media geométrica exige que todas las observaciones sean positivas:

$$\overline{X}_g = \sqrt[n]{X_1 * X_2 * X_3 * \dots * X_n}$$

Las características de la media geométrica son:

- Se toman en cuenta todos los valores de la variable.
- Es afectada por valores extremos aunque en menor medida que la media aritmética.
- Si un dato es cero, su resultado será cero.
- No puede ser calculada en distribuciones con clase abiertas.
- Es mayormente usada para promediar tasas de intereses anuales, inflación razones y valores que muestren una progresión geométrica (efecto multiplicativo sobre el de los años anteriores).

#### ➤ Centro de amplitud

Es el valor que queda en medio de los valores mínimo y máximo. Esto es:

$$C_a = \frac{X_{max} + X_{min}}{2}$$

#### ➤ Desviación estándar

La desviación estándar o desviación típica se define como la raíz cuadrada de los cuadrados de las desviaciones de los valores de la variable respecto a su media. Esto es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

La desviación estándar es una medida estadística de la dispersión de un grupo o población. Una gran desviación estándar indica que la población está muy dispersa respecto de la media. Una desviación estándar pequeña indica que la población está muy compacta alrededor de la media.

Para el caso de datos agrupados, la desviación estándar se calcula por medio de:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f * (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

➤ **Varianza**

La varianza mide la mayor o menor dispersión de los valores de la variable respecto a la media aritmética. Cuanto mayor sea la varianza, mayor dispersión existirá y por tanto, menor representatividad tendrá la media aritmética. La varianza se expresa en las mismas unidades que la variable analizada, pero elevadas al cuadrado.

La varianza de un conjunto de datos se define como el cuadrado de la desviación estándar y está dada por:

$$v = \sigma^2$$

➤ **Coefficiente de variación**

Cuando se quiere comparar el grado de dispersión de dos distribuciones que no vienen dadas en las mismas unidades o que las medias no son iguales se utiliza el coeficiente de variación de Pearson que se define como el cociente entre la desviación estándar y el valor absoluto de la media aritmética:

$$\% CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

Este coeficiente, representa el porcentaje que la desviación estándar, contiene a la media aritmética y por lo tanto cuanto mayor es CV mayor es la dispersión y menor la representatividad de la media.

#### 1.5.4. ALCANCE

**En el primer capítulo**, se describe de manera general de que trata el trabajo de aplicación para la evaluación de la fisuración invertida transversal y estabilidad que se aplica en el pavimento asfáltico del tramo de estudio, donde se dará a conocer, la situación problemática, los objetivos, la justificación y el diseño metodológico del presente proyecto.

**El segundo capítulo**, comprende la parte teórica, donde se detalla el estado de conocimiento, es decir, toda la información necesaria y relevante al proyecto, como es todo lo referente a las fallas de fisuración invertida transversal y estabilidad a utilizar, diseño de las mezclas asfálticas según el método Marshall, normas, etc.

**El tercer capítulo**, corresponde a la ubicación del tramo, a la caracterización del tramo y a las condiciones de evaluación y describe los medios y criterios para obtener los datos de caracterización de los materiales granulares, que luego son procesados y analizados según normas.

Se evaluará las fallas de fisuración invertida transversal en el tramo de estudio y se analiza las causas que la originan. También se aplica el diseño de briquetas con el

método Marshall, para luego hacer un análisis final de los resultados, con la variable dependiente. Con estos resultados, se realiza una propuesta final del proyecto.

**El cuarto capítulo**, establece las conclusiones a partir de lo planteado en los objetivos, dándose a conocer los resultados finales de la evaluación sobre la fisuración invertida transversal y estabilidad del presente proyecto y las recomendaciones para la correcta aplicación y ejecución de este trabajo.

En resumen, el alcance que tendrá este trabajo es el Análisis Experimental e Inspección Visual para determinar las causas que originan las fallas sobre la fisuración invertida transversal y estabilidad en el pavimento asfáltico del tramo de estudio.

## **CAPITULO II**

### **ASPECTOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES**

#### **2.1. GENERALIDADES**

Se denomina pavimento, al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada. Para que el funcionamiento sea adecuado, debe cumplir las siguientes condiciones: ancho, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar fallas y agrietamientos, adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento,

aún en condiciones húmedas, también debe tener una visibilidad adecuada y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

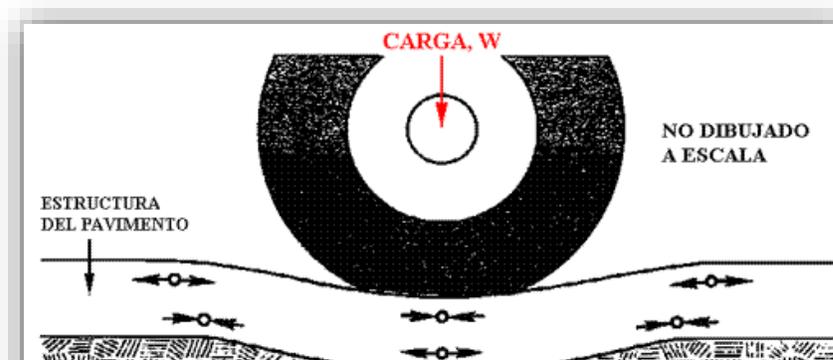
Los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, por lo que se debe colocar materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, estando los de menor calidad en las terracerías, siendo estos materiales los que comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por tanto resultan más económicos.

En los pavimentos, la división de capas que existe se debe al factor económico ya que el objetivo del espesor de la capa es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no sólo dependen del material que la conforman, sino también del procedimiento constructivo donde la compactación y la humedad son factores importantes, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

#### ❖ CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Se denomina pavimentos flexibles todos aquellos que están conformados por una capa bituminosa apoyada sobre una o varias capas de gran flexibilidad (base y sub base) que transmiten los esfuerzos al terreno de soporte o fundación mediante un mecanismo de disipación de tensiones, las cuales van disminuyendo con la profundidad.

**Figura 2.1** Pavimento flexible



Fuente: Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1).

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 y 20 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

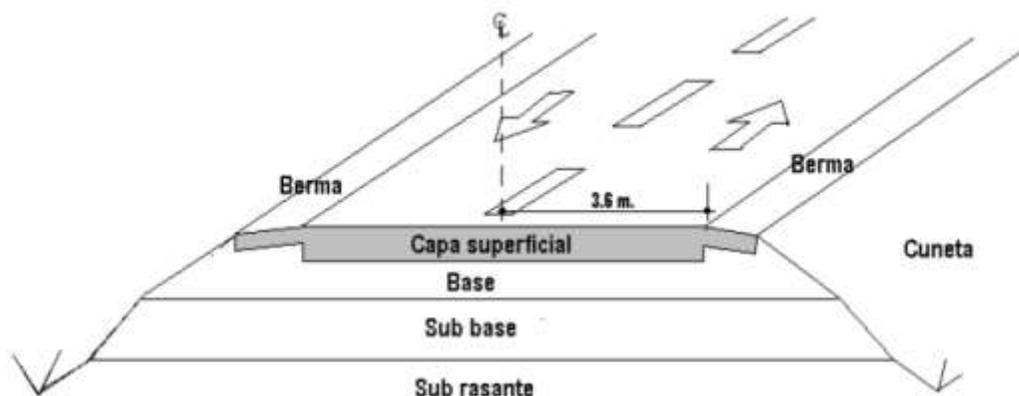
En un pavimento flexible, el concreto asfáltico, al tener menor rigidez, se deforma y transmite tensiones mayores en la subrasante también se caracterizan por ser sistemas multicapas con las capas de mejor calidad cerca de la superficie, donde las tensiones son mayores.

Un pavimento flexible trabaja distribuyendo la carga hasta que llegue a un nivel aceptable para la subrasante.

#### ❖ CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.

A continuación, se describirá cada una de las capas que conforman el pavimento flexible.

**Figura 2.2** Capas que conforman el pavimento flexible



**Fuente:** Diseño de pavimento rígido y flexible.

La carpeta asfáltica o capa de rodamiento proporciona una superficie uniforme y estable al tránsito de textura y color adecuado, que debe resistir los efectos abrasivos provenientes del tránsito y del medio ambiente. El método de diseño AASHTO 1993 considera como parámetro de diseño de la carpeta asfáltica el módulo resiliente; para mezclas asfálticas en caliente estos valores varían de 400000 a 450000 psi (28000 a 32000 Kg/cm<sup>2</sup>).

## **2.2. ETAPAS EN UNA CARRETERA**

### **2.2.1. Anteproyecto**

Un anteproyecto estudia, a un nivel más detallado que un estudio de factibilidad, las soluciones posibles a un problema planteado o previsto, y las evalúa de manera que se pueda concretar de forma óptima. Su nivel de definición es más rápido que el de un proyecto destinado a servir de base a un contrato de obras, cuya relación es un proceso que consume un largo tiempo y bastantes recursos. Es el caso, por ejemplo, de que la construcción de la infraestructura viaria o de una parte de ella (en especial, los puentes o los túneles) se pueda llevar a cabo por distintos procedimientos, todos ellos admisibles desde un punto de vista funcional, pero con diferentes ventajas e inconvenientes desde un punto de vista técnico o económico.

En el caso normal de que la construcción sea objeto de una licitación, el autor del proyecto no puede saber a priori (a no ser que lo imponga) el procedimiento constructivo elegido por el cliente (lo cual influirá en su oferta económica); ni suele estar en condiciones de juzgar las ventajas e inconvenientes técnicos de los distintos procedimientos ofertados, con independencia del costo y del plazo que entraña. Sobre un trazado es que se va a elaborar el anteproyecto de la carretera, el cual consiste en fijar en los planos la línea que mejor cumpla los requisitos planimétricos y altimétricos

que se hayan impuestos a la vía, de acuerdo a la clasificación que se ha hecho de la misma.

Después de haber hecho en la etapa de estudio del trazado un reconocimiento en el campo de cada una de las rutas seleccionadas, y luego de hacer una evaluación de cada una de las alternativas y seleccionar la que reúna mejores condiciones llegamos a la etapa del anteproyecto donde se debe fijar en los planos la línea que represente la ruta seleccionada y para tal fin hay que realizar un estudio topográfico de la misma a través de una poligonal base, haciendo un levantamiento Terrestre para ante proyectar.

Para obtener información topográfica que sea precisa para realizar un anteproyecto de carreteras, es necesario efectuar un levantamiento topográfico de la faja de terreno que fue seleccionada como la ventajosa durante los reconocimientos preliminares.

### **2.2.2. Proyecto a Diseño Final**

El estudio del proyecto a diseño final se realiza a través de las tres partes en las que se divide:

- Estudio topográfico
- Estudio de mecánica de suelos
- Estudio de estructuras

Las tres partes mencionadas se complementan para seguir los siguientes pasos:

- Reconocimiento topográfico y localización de rutas posibles.
- Reconocimiento geológico e hidrológico con sondeos preliminares de las rutas posibles, definiendo en términos generales los problemas de materiales, estabilidad de cortes y terraplenes y costos posibles.
- Elección de la localización entre las rutas posibles. Levantamiento topográfico, estudio del trazo y movimiento de terracería. Estudio de los cauces en los cruces y trazos definitivo sobre el terreno.

- Estudio geológico sobre el trazo definitivo. Sondeos para formar el perfil de suelos. Abundamientos, compactaciones, estabilidad de terracerías, drenaje, procedimientos de construcción, equipo adecuado a los materiales y costos unitarios.
- Afinamientos del trazo y la curva masa. Planos construcción. Presupuesto.
- Estudio geo-hidrológico de los cauces en los cruces. Estudio de cimentación de puentes. Estudio de materiales disponibles para la construcción de estructuras. Estudios foto-elásticos de estructuras.
- Estudio de puentes, estudios de las alternativas posibles. Elección de proyecto y cálculo estructural. Planos y especificaciones de construcción. Presupuestos. Proyecto de estructuras.

### **2.2.3. Construcción**

La construcción se divide en tres partes:

#### **2.2.3.1. Dirección Técnica**

- Levantamiento topográfico del lugar
- Nivelación
- Excavación o terraplén
- Sub-base
- Base
- Riego de impregnación
- Riego de liga
- Carpeta asfáltica

#### **2.2.3.2. Ejecución de la obra**

### 2.2.3.2.1. Excavación y nivelación

- ❖ Drenaje superficial.- colocación de malla sobre los cuerpos de agua para evitar sólidos suspendidos. Establecer presas de decantación para que los sedimentos en suspensión sean retenidos.
- ❖ Incremento de la erosión de los suelos.- programar las obras en época de estiaje para evitar la erosión hídrica.
- ❖ Afectación de suelo e hidrología.- definir los lugares donde será depositado el material no empleado, cuidando la no afectación de corrientes de agua superficiales y zonas de alta productividad agrícola. Reutilización de material no empleado para posteriores actividades.
- ❖ Contaminación del aire.- humedecer la superficie a excavar para evitar partículas suspendidas.

**Figura 2.3** Nivelación del terraplén de la subrasante



**Fuente:** <http://www.cidsa.mx>

#### 2.2.3.2.2. Cortes y terraplenes

- Reducción de agua superficial o subterránea - Deberán localizarse previamente las fuentes de suministro de agua para la formación de terraplenes, además de obtener los permisos correspondientes de la Comisión Nacional del Agua.
- Modificación de las tasas de infiltración de mantos de agua subterránea - No mitigable.
- Modificación de las corrientes y caudales por la modificación del drenaje natural - Suavizar pendientes y terraplenes.
- Modificación de la calidad del suelo, por contaminación con residuos sólidos, material de construcción y residuos peligrosos - Evitar la disposición sobre el suelo de los residuos sólidos orgánico producto de la ingesta y desechos de los trabajadores, colocando tambos para depósito de la basura. Recolectar los materiales de construcción. Recolectar los materiales con aceite en recipientes de acuerdo al reglamento de residuos peligrosos.

**Figura 2.4** Corte del terraplén



**Fuente:** <http://www.promacosadecv.com.mx>

### **2.2.3.3. Control de mecánica de suelos**

#### **2.2.3.3.1. Acarreo de material**

- Contaminación por ruido.- Los vehículos deberán cumplir con la norma.
- Generación de polvos.- Transportar el material cubierto y manejar materiales húmedos.
- Contaminación atmosférica.- Se deberá cumplir con las normas.

#### **2.2.3.3.2. Pavimentación**

- Pérdida de la utilización del suelo - No mitigable.
- Contaminación de la calidad de agua - Situar la subrasante por lo menos a 1.5 metros por encima de la capa freática. Colocar parapetos para retener los sedimentos durante la construcción. Utilizar balsas de decantación.
- Cambios en los patrones de escurrimientos de aguas superficiales - Contar con un buen proyecto de drenaje y sub drenaje.
- Afectación al suelo - La disposición de los sobrantes de la mezcla asfáltica deberá recogerse y, en camiones de volteo, retornarse a la planta de asfalto para su reciclado o disposición definitiva.

### **2.2.4. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO**

- Conservación
- Estudio de tránsito
- Estudio de mecánica de suelos
- Reconstrucción

## **2.3. COMPONENTES DE LA CARRETERA**

### **2.3.1. Elementos de infraestructura**

- Problemas geotécnicos en las carreteras
- Estudios y reconocimientos geológicos y geotécnicos

- Clasificación de los suelos y de las rocas
- Compactación
- Capacidad de soporte de los suelos
- Construcción de explanaciones
- Formación de explanada, estabilización de suelos
- Desagüe superficial
- Drenaje subterráneo, empleo de geotextiles
- La erosión de los taludes
- Obras de paso, estructuras y túneles

### **2.3.2. Elementos de Superestructura**

- Constitución de los firmes
- Ligantes y conglomerantes
- Áridos
- Capas granulares
- Capas tratadas para bases y sub bases
- Tratamientos superficiales
- Mezclas bituminosas
- Pavimentos de hormigón
- Dimensionamiento de firmes
- Características superficiales de los pavimentos
- Firmes y pavimentos de otras estructuras
- Señales, marcas viales y balizas
- Dispositivos para la contención de vehículos
- Otras dotaciones viarias

### **2.3.3. Elementos de drenaje**

La humedad tiene una gran influencia sobre las propiedades de los materiales que constituyen el paquete estructural y sobre el comportamiento de los pavimentos en general.

El agua presente en los pavimentos puede provocar estos daños:

- Migración de partículas de suelo, creando problemas de erosión.
- Fallas producidas por un escurrimiento incontrolado que llevan a la saturación, exceso de sub-presión o exceso de fuerzas de filtración.
- Ablandamiento de la subrasante cuando esta se satura y permanece saturada durante un prolongado periodo.
- Degradación de la calidad del material del pavimento por acción de la humedad.

#### **2.3.3.1 Problemas de humedad en pavimentos.**

En todo buen diseño de pavimentos debe buscarse que la sub-base y la subrasante estén lo más protegidos de la acción del agua. Hay tres formas de considerar el control o la reducción de los problemas causados por el agua:

1. No permitir la entrada del agua a las distintas capas. Para ello se debe:
  - Usar capas de rodadura, sub-bases y bermas impermeables.
  - Instalar drenes interceptores para evitar la entrada de agua al paquete estructural.
2. Usar materiales que sean insensibles a la humedad y que no provoquen daños relacionados con la humedad. Para ello se debe:
  - Seleccionar materiales granulares con bajo contenido de finos y baja plasticidad que pueda resistir los efectos de la humedad.

3. Proveer un drenaje adecuado para remover efectivamente todo tipo de humedad que pueda entrar en el pavimento antes de que se produzcan deterioros. Para ello se debe:
  - Diseñar un sistema de drenaje que mantenga el nivel freático por debajo del pavimento o que pueda evacuar fácilmente el agua que eventualmente pueda ingresar en el paquete estructural.
  - Usar sub-bases permeables, diseñadas no solo desde el punto de vista estructural, sino también como capas drenantes. Debido a esto, el agua que ingresa al pavimento drena en dirección horizontal para salir del camino, en lugar de continuar hacia abajo, hacia la subrasante.
  - Colocar mantos drenantes debajo de secciones en terraplén.

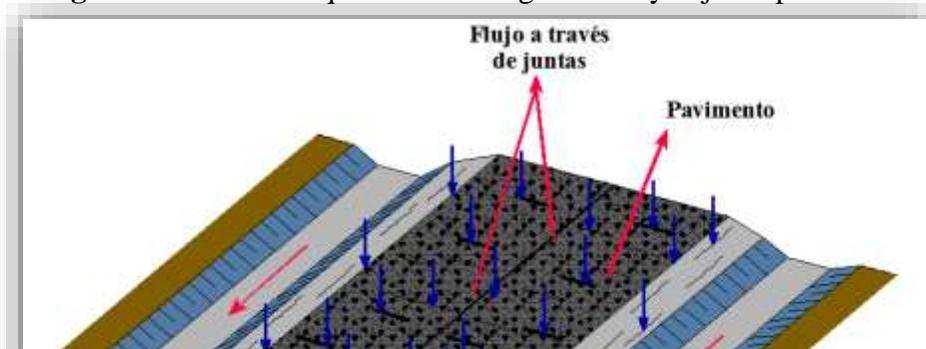
### 2.3.3.2. Principios básicos de un sistema de drenaje.

Existen dos fuentes de agua en lo que concierne al estudio de un sistema de drenaje:

- El agua existente en la zona de saturación a la altura del nivel freático.
- El agua de infiltración que entra en el pavimento escurriendo a través de cunetas laterales al camino.

El movimiento del agua dentro del paquete estructural depende de la permeabilidad de los materiales usados en el mismo y de las pendientes longitudinal y transversal del camino.

**Figura 2.5** Forma en que escurre el agua sobre y bajo un pavimento



**Fuente:** Diseño de pavimentos AASHTO 93

Un sistema de drenaje sub superficial debe ser diseñado de acuerdo a estos criterios:

- El pavimento, incluyendo bermas y áreas adyacentes, debe ser diseñado y mantenido tan impermeable como sea posible para minimizar la infiltración de agua de superficie, como de agua por capilaridad o de agua freática.
- Para minimizar los efectos perjudiciales del agua, el sistema de drenaje debe ser diseñado de manera tal que evacue el agua lo más pronto posible.
- El sistema de drenaje debe ser diseñado como un componente estructural del paquete, sin que sus buenas propiedades drenantes impliquen una merma de sus cualidades resistentes.

Codergreen midió la capacidad del agua para infiltrarse a través de pavimentos y determinó que la permeabilidad del pavimento rígido y flexible, determinando valores típicos de: 5.1 mm/h para pavimentos rígidos y de 12.7 mm/h para pavimentos flexibles.

❖ **Obras de Drenaje:** Las estructuras de drenaje tienen como objetivo controlar el agua que llega a la vía y la afectan por escurrimiento superficial, independientemente que las aguas hayan caído sobre o fuera de la vía. Las obras de drenaje más comunes son:

- El bombeo, Pendiente transversal que permite la caída del agua hacia sus dos hombros.
  - Bordillos, estructuras colocadas en el borde exterior del acotamiento en las secciones en tangente. Forman una barrera que conduce el agua hacia los lavaderos o bajantes, evitando erosiones en los taludes y saturación de estos por el agua que cae sobre la corona de la vía.
  - Lavaderos, son canales que se conectan con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes, con el objeto de conducir el agua lluvia hacia lugares alejados de los terraplenes, en donde ya es inofensiva.
  - Cunetas, son canales adosados a los lados de la corona de la vía y paralelamente al eje longitudinal de la misma. Recibe el agua proveniente del talud y de la superficie de rodamiento.
  - Vegetación, La más efectiva se aplica como protección de los taludes de corte o relleno contra la acción erosiva del agua superficial, retardan el escurrimiento.
  - Zanjas de coronación, son escavadas en el terreno natural, localizadas en la parte superior de los taludes de los cortes, interceptan el agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas.
  - Alcantarillas, Se encargan del drenaje transversal, es decir del paso del agua a través de la obra, en una dirección aproximadamente perpendicular a ella.
- ❖ **Obras de Sub drenaje:** El sub drenaje en las carreteras permite reducir los efectos desfavorables del agua interna sobre la estabilidad de las calzadas y de las explanaciones. El agua interna tiene normalmente dos orígenes: interior y exterior.

El agua lluvia no se evacúa totalmente por los dispositivos de drenaje superficial, parte se infiltra a través de los taludes, de las bermas u ocasionalmente del pavimento.

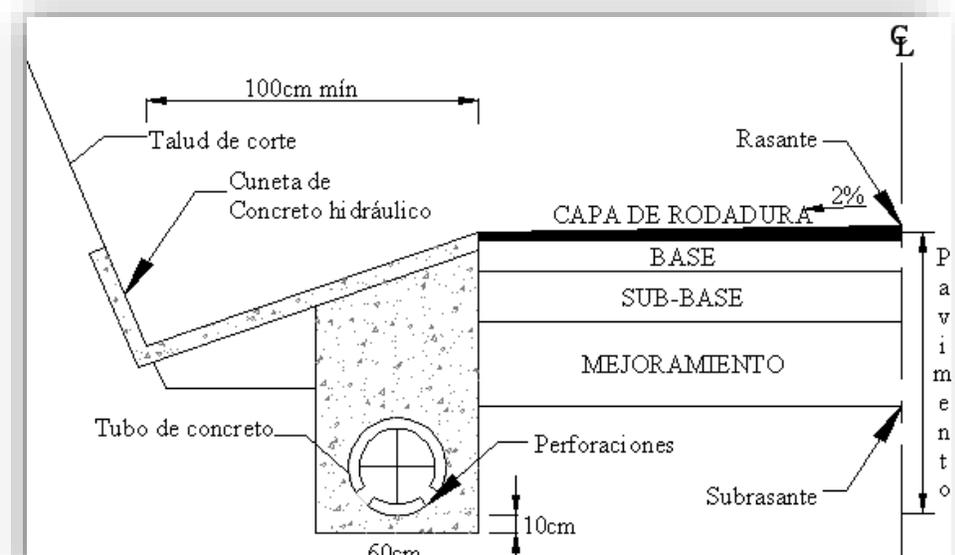
Los objetivos del drenaje interno de las carreteras son:

- Facilitar la ejecución de las explanaciones durante la fase de construcción de la carretera.
- Aumentar la capacidad portante de la subrasante y reducir así el espesor del pavimento.
- Contribuir con la estabilidad de los taludes mediante la orientación más favorable de los flujos del agua interna, la reducción de las presiones intersticiales y en consecuencia el mejoramiento de las propiedades geotécnicas.

Los principales dispositivos de drenaje interno son:

- Sub drenes longitudinales, son dispositivos básicos de drenaje interno en zonas de corte, sus principales funciones son abatimiento de un nivel freático, eliminación de aguas de filtración, derivación de fuentes de agua situadas debajo de la subrasante.
- Capas drenantes, construidas encima de la subrasante como primera capa del pavimento, permite recoger el agua de filtración o el agua de origen interior, se conecta con los sub drenes longitudinales localizados a ambos lados de la calzada.

**Figura 2.6** Disposición de las perforaciones en tuberías para subdrenajes



**Fuente:** Diseño de pavimentos AASHTO 93

#### 2.3.4. Elementos de protección

Una barrera de metal, quitamiedos, bionda o guardarraíl es un elemento de protección de seguridad vial pasiva, colocado a los lados de la vía, para separar calzadas de sentido contrario, o en tramos peligrosos para impedir que los vehículos se salgan de la vía o puedan chocar con elementos más peligrosos que la misma barrera. Algunos poseen reflectores incorporados.

El quitamiedos es una barrera de seguridad actualmente formada por unos piquetes de acero hincados en el borde de la calzada, que sujetan una barrera asimismo de acero galvanizado en frío, de doble onda, por lo que técnicamente se conoce por barrera bionda. Inicialmente, fueron de una sola onda, y por lo tanto su deformación con el impacto era mayor. Existen modelos incluso forradas de madera, para tramos con categoría de parques naturales o similares.

**Figura 2.7** Barrera de protección junto a la calzada



**Fuente:** <http://www.arqhys.com>

Las barreras metálicas de seguridad son dispositivos de guía que tienen por finalidad indicar el borde de la calzada, la presencia de una curva, el sentido de circulación y los límites de obras de fábrica u otros obstáculos. Un sistema de contención, en principio, diseñado para vehículos de cuatro ruedas pero cada vez más adaptado a vehículos de dos ruedas y usuarios vulnerables debido a las consecuencias en caso de impacto contra este tipo de retención por parte de conductores de motocicletas.

### **2.3.5. Elementos de Estabilidad**

La estabilidad es la capacidad de una mezcla asfáltica para resistir deformaciones provocadas por las cargas impuestas. Los pavimentos sin estabilidad sufren deformaciones (ahuellamiento, corrimientos y ondulaciones). La estabilidad depende de la fricción interna y de la cohesión.

La estabilidad de la carpeta asfáltica se debe a diversos factores como ser:

➤ El tipo y contenido de ligante asfáltico:

Las propiedades de un asfalto pueden influir decisivamente sobre el comportamiento ante las deformaciones plásticas de una mezcla asfáltica en caliente. En una mezcla que contenga la misma granulometría y el mismo tipo de agregados pétreos, con un mismo contenido de asfalto e igual contenido de vacíos, puede ser resistente o no a las deformaciones plásticas en función de las propiedades del ligante asfáltico que se le añade a la mezcla aunque sea de similar penetración. La componente elástica del ligante asfáltico contribuye a aumentar el comportamiento elástico de la mezcla, de igual forma, el ligante influye decisivamente en la componente viscosa y su mayor presencia dentro de la mezcla hace que aumente esta componente.

➤ Composición granulométrica y características de los agregados pétreos:

El efecto que tienen las diferentes composiciones granulométricas en la susceptibilidad a la deformación de una mezcla asfáltica, los agregados con mayor contenido de finos, se comportan mejor que la mezcla compuesta con agregados que contienen menor contenido de finos. Ésto hace que la mezcla adquiera una mayor densidad en el momento de la compactación.

➤ Contenido de Vacíos en la Mezcla Asfáltica:

El contenido óptimo de asfalto nos permite obtener un intervalo de vacíos entre el 4% y 6%, escogiendo el límite inferior de 4% como parámetro de diseño de la mezcla.

Se debe controlar el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica a través del diseño Marshall y con esto se asegura la resistencia ante la deformación.

➤ Relación Filler / Asfalto:

El filler y el asfalto conforman una masa asfáltica o mastico, este compuesto tiene importancia fundamental en la impermeabilidad, y durabilidad de la mezcla asfáltica. El mastico proporciona rigidez a la mezcla asfáltica, permitiendo que las partículas de agregado permanezcan unidas. En este trabajo se encontró que entre mayor sea la relación filler / asfalto, mayor es la resistencia a la deformación plástica en el Ensayo de Pista.

El filler tiene un papel fundamental en el comportamiento de las mezclas asfálticas debido a que forma parte del esqueleto mineral y soporta las tensiones por rozamiento interno o por contacto entre las partículas. Rellena los vacíos del esqueleto de agregados gruesos y finos, por lo tanto impermeabiliza y densifica el esqueleto. Sustituye parte del asfalto que de otra manera sería necesario para conseguir unos vacíos en mezcla suficientemente bajos. Proporciona puntos de contacto entre agregados de mayor tamaño y los encaja limitando sus movimientos, aumentando así la estabilidad del conjunto. Facilita la compactación, actuando a modo de rodamiento entre los agregados más gruesos.

➤ Cargas por Eje Equivalente:

La inestabilidad en los pavimentos asfálticos se genera gradualmente con el incremento de las cargas que transmiten los neumáticos a la capa de rodadura. Las aplicaciones de carga están relacionadas con la presión de contacto del neumático con la capa superficial del pavimento, dicha presión de contacto a su vez depende de las cargas por Eje Equivalente de los vehículos.

☞ **Temperatura:**

Los pavimentos asfálticos tienen que tener una estabilidad suficiente tanto a bajas como a altas temperaturas sin presentar daños; ésto se puede lograr haciendo un balance óptimo de manera que las propiedades sean lo mejor posibles para ambos casos.

☞ **Compactación de la mezcla asfáltica:**

La compactación juega un papel importante en la durabilidad de la mezcla para aumentar la resistencia a la deformación.

## **2.4. DETERIORO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

### **2.4.1. Introducción**

Las fallas son un conjunto de deterioros que se presentan en un pavimento, provocados por muy diversos factores y que afectan su capacidad de servicio. Se distinguirán dos tipos de fallas que se describen a continuación:

○ **Fallas Funcionales**

Son leves relativamente, cuando un pavimento ha perdido su función inicial o asignada de antemano, se acepta que tiene falla funcional; generalmente está localizada en la capa superficial del pavimento y causa cierta incomodidad en los pasajeros que transitan la vialidad. Pueden detectarse por simple observación visual.

○ **Fallas Estructurales**

Pueden originarse en una o varias capas del pavimento, son graves, consisten en el rompimiento del pavimento por la falla estructural de alguna

o varias de sus capas o por incapacidad del suelo que lo soporta. Estos deterioros cuando están muy avanzados, imposibilitan al pavimento para sustentar las cargas que se le imponen en la superficie. Aunque estas fallas pueden detectarse por observación visual, siempre es necesario auxiliarse con ensayos destructivos y/o ensayos no destructivos para cuantificar la magnitud de los daños para poder proponer soluciones técnicas racionales y económicas.

### **TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS:**

#### **❖ FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES (FL, FT)**

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes. (Unidad de medida: m)

#### **Fisura longitudinal (FL)**



**Fotografía 2.1**

**Fisura transversal (FT)**



**Fotografía 2.2**

➔ **CAUSAS:**

Las causas más comunes a ambos tipos de fisuras, son:

- Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, debido a un exceso de filler o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°).
- Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas o juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes.

**Otra causa para la conformación de Fisuras Longitudinales es:**

- Fatiga de la estructura, usualmente se presenta en las huellas del tránsito.

**Otras causas para la conformación de Fisuras Transversales son:**

- Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
- Riego de liga insuficiente o ausencia total.
- Espesor insuficiente de la capa de rodadura.

➤ **SEVERIDADES:**

- Baja: Abertura de la fisura menor que 1 mm, cerrada o con sello en buen estado.
- Media: Abertura de la fisura entre 1 mm y 3 mm, pueden existir algunas fisuras con patrones irregulares de severidad baja en los bordes o cerca de ellos y pueden presentar desportillamientos leves; existe una alta probabilidad de infiltración de agua a través de ellas.
- Alta: Abertura de la fisura mayor que 3 mm, pueden presentar desportillamientos considerables y fisuras con patrones irregulares de

severidad media o alta en los bordes o cerca de ellos, puede causar movimientos bruscos a los vehículos.

⇒ **EVOLUCIÓN PROBABLE:**

- Piel de cocodrilo, desintegración, descascaramientos, asentamientos longitudinales o transversales (por el ingreso del agua), fisuras en bloque.

❖ **FISURAS EN JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN (FCL, FCT)**

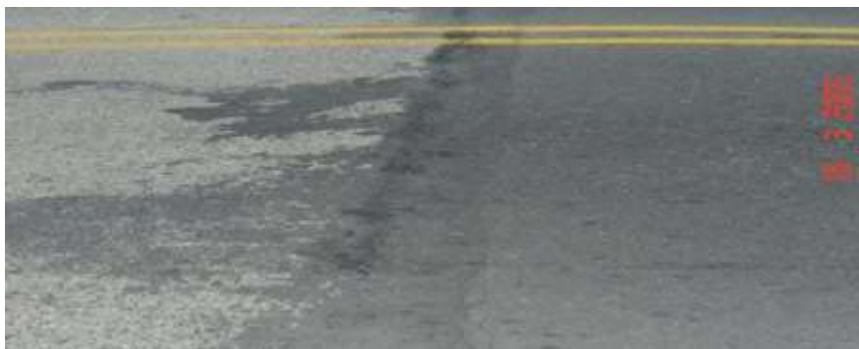
Corresponden a fisuras longitudinales o transversales generadas por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica o de las juntas en zonas de ampliación. Se localizan generalmente en el eje de la vía, coincidiendo con el ancho de los carriles, zonas de ensanche y en zonas de unión entre dos etapas de colocación de pavimento asfáltico. (Unidad de medida: m)

**Fisura longitudinal en junta de construcción (FCL)**



**Fotografía 2.3**

**Fisura transversal en junta de construcción (FCT)**



### Fotografía 2.4

#### ➤ CAUSAS:

- Carencia de ligante en las paredes de la junta.
- Deficiencia en el corte vertical de las franjas construidas con anterioridad.
- Deficiencias de compactación en la zona de la junta.
- Unión entre materiales de diferente rigidez.

#### ➤ SEVERIDADES:

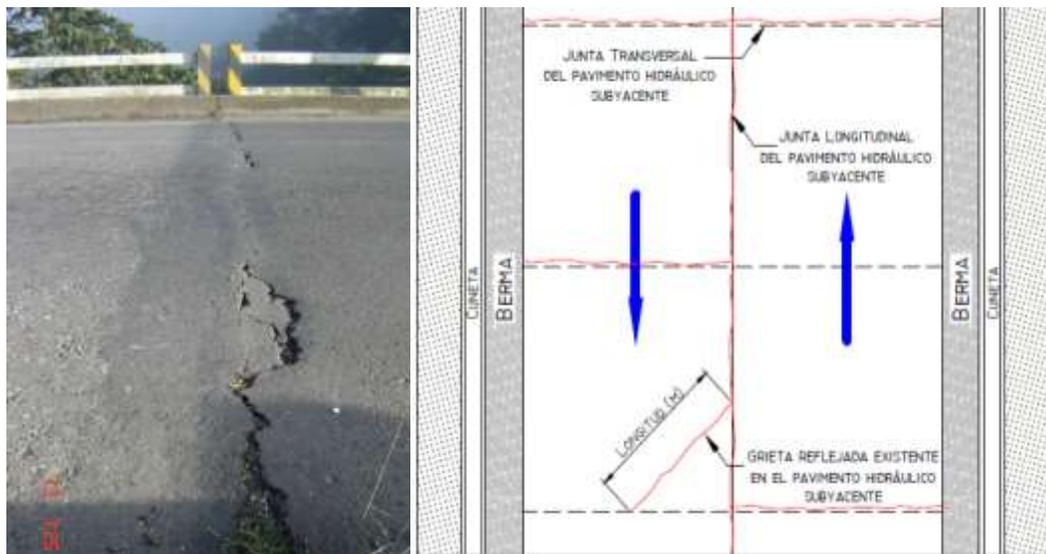
Aplican los mismos criterios mencionados para fisuras longitudinales y transversales.

➤ **EVOLUCIÓN PROBABLE:** Pérdida de agregado, descascaramientos, asentamientos longitudinales o transversales, piel de cocodrilo, desportillamientos.

❖ **FISURA POR REFLEXIÓN DE JUNTAS O GRIETAS EN PLACAS DE CONCRETO (FJL O FJT).**

Este tipo de daño se presenta cuando existe una capa de concreto asfáltico sobre placas de concreto rígido; tales fisuras aparecen por la proyección en superficie de las juntas de dichas placas, en cuyo caso presentan un patrón regular, o también cuando existen grietas en las placas de concreto rígido que se han reflejado hasta aparecer en la superficie presentando un patrón irregular. (Unidad de medida: m)

### Fisuras por reflexión de juntas en placas de concreto (FJL o FJT)



Fotografía 2.5

#### ➡ CAUSAS:

Son generadas por los movimientos de las juntas entre las placas de concreto rígido o de los bloques formados por las grietas existentes en éste, debido a los cambios de

temperatura y de humedad. Generalmente no se atribuyen a las cargas de tránsito, aunque éstas pueden provocar fisuración.

➔ **SEVERIDADES:**

Aplican los mismos criterios que para fisuras longitudinales y transversales.

➔ **EVOLUCIÓN PROBABLE:**

Fisuras en bloque, descascaramientos, baches.

❖ **FISURAS EN MEDIALUNA (FML).-**

Son fisuras de forma parabólica asociadas al movimiento de la banca por lo que usualmente se presentan acompañadas de hundimientos. (Unidad de medida: m<sup>2</sup>)

**Fisura en medialuna (FML)**



**Fotografía 2.6**

➔ **CAUSAS:**

En general, este tipo de fisuras se producen por inestabilidad de la banca o por efectos locales de desecación, aunque entre otras causas se pueden mencionar las siguientes:

- Falla lateral del talud en zonas de terraplén.
- Falla del talud en zonas de corte a media ladera.
- Ausencia o falla de obras de contención de la banca.
- Desecación producida por la presencia de árboles muy cerca al borde de la vía.
- Consolidación de los rellenos que acompañan las obras de contención.

➤ **SEVERIDADES:**

Aplica el criterio establecido para fisuras longitudinales y transversales.

➤ **EVOLUCIÓN PROBABLE:**

Ampliación del proceso (aumento del área afectada), aumento del hundimiento, pérdida de la banca.

❖ **FISURAS DE BORDE (FBD).-**

Corresponden a fisuras con tendencia longitudinal a semicircular localizadas cerca del borde de la calzada, se presentan principalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre la berma y la calzada. Generalmente se localizan dentro de una franja paralela al borde, con ancho de hasta 0,6 m<sup>2</sup>. (Unidad de medida: m)

**Fisuras de borde (FBD)**



### **Fotografía 2.7**

#### **⇒ CAUSAS:**

La principal causa de este daño es la falta de confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia de bordillos, anchos de berma insuficientes o sobre carpetas que llegan hasta el borde del carril y quedan en desnivel con la berma; en estos casos la fisura es generada cuando el tránsito circula muy cerca del borde. Las fisuras que aparecen por esta causa generalmente se encuentran a distancias entre 0,3 m a 0,6 m del borde de la calzada.

#### **⇒ SEVERIDADES:**

Aplican los mismos criterios que para fisuras longitudinales y transversales.

#### **⇒ EVOLUCIÓN PROBABLE:**

Desprendimiento del borde o descascaramientos.

#### **❖ FISURAS EN BLOQUE (FB)**

Cuando se presenta este tipo de daño la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma aproximadamente rectangular. Los bloques tienen lado promedio mayor que 0,30 m. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que esta última aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas. Sin embargo, es usual encontrar fisuras en bloque que han evolucionado en piel de cocodrilo por acción del tránsito. Por otra parte, la piel de cocodrilo generalmente está formada por bloques con más lados y ángulos agudos. (Unidad de medida: m<sup>2</sup>)

### **Fisuras en bloque (FB)**



**Fotografía 2.8**

#### **⇒ CAUSAS:**

- La fisuración en bloque es causada principalmente por la contracción del concreto asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día, lo cual se traduce en ciclos de esfuerzo - deformación sobre la mezcla. La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido significativamente, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inadecuado para las condiciones climáticas de la zona.
- Reflejo de grietas de contracción provenientes de materiales estabilizados utilizados como base.
- Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración.

#### **⇒ SEVERIDADES:**

- Baja: Los bloques se han comenzado a formar, pero no están claramente definidos y están conformados por fisuras de abertura menor que 1 mm, cerradas o con sello, no presentan desportillamientos en los bordes.
- Media: Bloques definidos por fisuras de abertura entre 1 mm y 3 mm, o con sello fallado, que pueden o no presentar desportillamientos en los bordes.
- Alta: Bloques bien definidos por fisuras de abertura mayor que 3 mm, que pueden presentar un alto desportillamiento en los bordes.

### ➤ **EVOLUCIÓN PROBABLE:**

Piel de cocodrilo, descascaramientos.

### ❖ **PIEL DE COCODRILO (PC)**

Corresponde a una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repeticiones de carga. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas. Las fisuras se propagan a la superficie inicialmente como una o más fisuras longitudinales paralelas. Ante la repetición de cargas de tránsito, las fisuras se propagan formando piezas angulares que desarrollan un modelo parecido a la piel de un cocodrilo.

Tales piezas tienen por lo general un diámetro promedio menor que 30 cm. La piel de cocodrilo ocurre generalmente en áreas que están sometidas a cargas de tránsito, sin embargo, es usual encontrar este daño en otras zonas donde se han generado deformaciones en el pavimento que no están relacionadas con la falla estructural (por tránsito o por deficiencia de espesor de las capas) sino con otros mecanismos como por ejemplo problemas de drenaje que afectan los materiales granulares, falta de compactación de las capas, reparaciones mal ejecutadas y subrasantes

expansivas, entre otras. Este tipo de daño no es común en capas de material asfáltico colocadas sobre placas de concreto rígido. (Unidad de medida: m<sup>2</sup>)

### **Piel de cocodrilo (PC)**



**Fotografía 2.9**

#### **➤ CAUSAS:**

La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

- Espesor de estructura insuficiente.
- Deformaciones de la subrasante.
- Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación del asfalto o envejecimiento).
- Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares.
- Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas.
- Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el módulo).

- Reparaciones mal ejecutadas, deficiencias de compactación, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño.

Todos estos factores pueden reducir la capacidad estructural o inducir esfuerzos adicionales en cada una de las capas del pavimento, haciendo que ante el paso del tránsito se generen deformaciones que no son admisibles para el pavimento que se pueden manifestar mediante fisuración.

#### ➤ **SEVERIDADES:**

- **Baja:** Serie de fisuras longitudinales paralelas (pueden llegar a tener aberturas de 3 mm), principalmente en la huella, que no presentan desportillamiento, con pocas o ninguna conexión entre ellas y no existe evidencia de bombeo.
- **Media:** Las fisuras han formado un patrón de polígonos pequeños y angulosos, que pueden tener un ligero desgaste en los bordes y aberturas entre 1 mm y 3 mm, sin evidencia de bombeo.
- **Alta:** Las fisuras han evolucionado (abertura mayor que 3 mm), se presenta desgaste o desportillamiento en los bordes y los bloques se encuentran sueltos o se mueven ante el tránsito, incluso llegando a presentar descascaramientos y bombeo.

#### ➤ **EVOLUCIÓN PROBABLE:**

Deformaciones, descascaramientos, baches.

#### ❖ **FISURACIÓN POR DESLIZAMIENTO DE CAPAS (FDC)**

Corresponden a fisuras en forma de semicírculo o medialuna, con curvaturas definidas de acuerdo con la fuerza de tracción que produce la llanta sobre el pavimento (al acelerar o frenar). Este tipo de fisuras se genera por acción del arranque o frenado de los vehículos lo que conlleva a que la superficie del pavimento

se deslice y se deforme. Usualmente aparecen en zonas montañosas, en curvas o en intersecciones. (Unidad de medida: m<sup>2</sup>)

### **Fisuración por deslizamiento de capas (FDC)**



**Fotografía 2.10**

#### **➤ CAUSAS:**

Estas fisuras se presentan usualmente cuando existe una mezcla en la superficie de baja resistencia o por la escasa adherencia entre las capas superficiales de la estructura del pavimento.

Se pueden generar ante el paso de tránsito muy pesado y muy lento, en zonas de frenado y acelerado de los vehículos.

Otras causas pueden ser:

- Espesores de carpeta muy bajos.
- Alto contenido de arena en la mezcla asfáltica 4.
- Exceso de ligante o presencia de polvo durante la ejecución del riego de liga.
- Carencia de penetración de la imprimación en bases granulares

#### **➤ SEVERIDADES:**

El nivel de severidad asignado será similar al de las fisuras longitudinales y transversales, teniendo en cuenta además lo siguiente:

- Baja: Abertura máxima de las fisuras menor que 1 mm.
- Media: Abertura máxima de las fisuras entre 1 mm y 3mm, pueden existir agrietamientos alrededor de las fisuras, con aberturas menores a 1 mm.
- Alta: Abertura máxima de las fisura mayor a 3 mm, pueden existir agrietamientos entre las fisuras y en la zona aledaña, con aberturas mayores que 1 mm.

#### ➤ **EVOLUCIÓN PROBABLE:**

Descascaramientos, baches, hundimientos, abultamientos.

#### ❖ **FISURACIÓN INCIPIENTE (FIN).-**

La fisuración incipiente corresponde a una serie de fisuras contiguas y cerradas, que generalmente no se interceptan. Suelen afectar el concreto asfáltico de manera superficial. Por ser daños muy leves no poseen niveles de severidad asociados. (Unidad de medida: m<sup>2</sup>)

#### **Fisuración incipiente (FIN)**



### Fotografía 2.11

#### ➤ CAUSAS:

- Diferencia de temperatura entre la mezcla y el medio ambiente en el momento de la colocación (temperatura ambiente baja).
- Lluvia durante la colocación del concreto asfáltico.

#### ➤ SEVERIDADES:

No tiene grados de severidad asociados.

#### ➤ EVOLUCIÓN PROBABLE:

Piel de cocodrilo de pequeños bloques, pérdida de agregados, fisuras en bloque.

#### 2.4.2. Tipo de Falla de la Fisuración Invertida Transversal

La fisuración invertida transversal en los pavimentos asfálticos es un modo de falla ampliamente reconocido y aceptado por el método de diseño de la AASHTO (2008), esta falla se caracteriza por presentarse preferencialmente a lo largo de las huellas de circulación del tráfico en forma longitudinal y es originada por la poca capacidad que ofrece la mezcla asfáltica para soportar los esfuerzos de tensión superficiales que se reflejan en la inter-fase llanta pavimento, por lo general se manifiesta en prematuramente en vías cuyas estructuras son nuevas.

Las fisuras invertidas transversales se presentan en carreteras nuevas, a corto y mediano plazo después de su ejecución, y se caracterizan por estar concentradas en la huella del tráfico siendo perpendicular a él, que se distingue, en su fase inicial, por no presentar prácticamente ahuellamiento alguno.

La fisuración invertida que se genera en la huella del tráfico y que se desarrolla longitudinalmente a lo largo de ella obedece a que los esfuerzos de tensión laterales inducidos por las llantas de los vehículos en la interface llanta-pavimento superan los

esfuerzos que la mezcla puede soportar, o bien se puede acumular y sobrevenir el fisuramiento invertido de la mezcla por fatiga.

### **Fisuración invertida transversal**



**Fotografía 2.12**

#### **➤ Causa de la fisuración invertida transversal**

La fisuración invertida que se generan en la huella del tráfico y que se desarrolla transversalmente en ella obedece a que los esfuerzos longitudinales de tensión inducidos por el rebote de la deflexión que normalmente se genera al paso de las ruedas de los vehículos supera los esfuerzos que la mezcla puede soportar, o bien se puede acumular y sobrevenir el fisuramiento invertido de la mezcla por fatiga.

Todos los esfuerzos de tensión que se suceden en las capas del pavimento obedecen al efecto de las cargas, las características de la mezcla asfáltica y de las capas de apoyo subyacente, a excepción de la fatiga térmica que no es de análisis en el presente caso. Dependiendo de la dirección en que se sucedan los esfuerzos superficiales inducidos por el tráfico, así mismo la manifestación o configuración del daño es diferente.

#### **➤ Formación de las fisuras invertidas (top down cracking)**

La fisura invertida (top down cracking) de ninguna manera puede estar relacionada con las deficiencias en el espesor de la estructura del pavimento, ya

que ocurre en forma contraria a la dirección en que teóricamente se propagan las fisuras cuyo origen está asociado a deformaciones excesivas en la estructura flexible o fatiga de la mezcla y por presentarse en pavimentos nuevos que han sido sometidos a la acción de muy pocas cargas vehiculares y en algunos casos excepcionales, sin haberse puesto al servicio.

Los esfuerzos actuantes en la superficie de un pavimento son esfuerzos de tensión que se suceden en la fibra interior de la carpeta asfáltica de la estructura, no teniendo en cuenta aquellos que se suceden en la interface llanta-pavimento.

Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado.

La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.

#### ➤ **Esfuerzos de tensión relacionados con las cargas**

Los análisis de una investigación realizadas sobre los esfuerzos que se presentan en la interface llanta-pavimento, efectuada por Imad A!-Quadi y Pyeeng Jun Yoo de la universidad de Illinois (2007), mostró resultados que indican que los únicos esfuerzos que pueden ocasionar la presencia de la fisuración invertida es la que está asociada a los esfuerzos laterales que se presenta en la interface llanta-pavimento, y debido a que los esfuerzos verticales en la investigación muestran una magnitud de hasta un 40% y los esfuerzos longitudinales no superan el 10% del vertical, y de presentarse por alguna circunstancia cuando la superficie del pavimento está en tensión cuando la carga se retira, con anterioridad debería manifestarse la falla que generarían los esfuerzos laterales, que son de mayor magnitud mediante la presencia de un fisuramiento invertido longitudinal a lo largo de la huella del tráfico, que ante la acción del tráfico y los agentes atmosféricos evoluciona hacia otros patrones de fisuramiento.

Entonces podemos decir de acuerdo al análisis anteriormente realizado que el origen de las fallas no está en los esfuerzos de tensión que se suceden en la interface llanta-pavimento y se origina necesariamente en el comportamiento de las capas inferiores de apoyo.

### ➤ **Comportamiento del pavimento sobre materiales granulares**

Además de los esfuerzos de tensión que se ha hecho referencia anteriormente se presentan otros esfuerzos de tensión originados en el comportamiento de los materiales granulares colocados como apoyo de las capas asfálticas, ante la acción de las cargas cíclicas o repetitivas inducidas por el tráfico.

#### ➤ **Módulo resiliente**

Está bien conocido que la mayoría de los materiales de pavimento no son elásticos, pero que experimentan alguna deformación permanente después de la aplicación de cada carga. Sin embargo, si la carga es pequeña, comparada con la resistencia del material y es repetitiva por un gran número de veces, la deformación bajo la repetición de cada carga es prácticamente recobable en su totalidad (y proporcional a la carga) y puede ser considerada elástica.

#### ➤ **Concepto de shakedown elástico**

Al comienzo las capas granulares se comportan y tiene una respuesta puramente elástica, pero después unas pocas aplicaciones de carga se comienzan a presentar deformaciones plásticas ocurriendo una acumulación de energía dejando de trabajar en forma elástica y después de un número finito de aplicaciones de carga nuevamente se comienzan a comportar de una manera elástica, y entonces se dice que ha alcanzado su estado de “shakedown elástico”.

Existen cuatro categorías de respuesta de los materiales bajo la acción de cargas repetitivas:

1. **Rango elástico.-** para bajos niveles de cargas, en el cual no se sucede acumulación de deformaciones permanentes.

2. **Shakedown elástico.-** el esfuerzo aplicado está ligeramente por debajo del límite del shakedown plástico. La respuesta del material es plástica por un número finito de ciclos, aunque la última respuesta es elástica.
3. **Shakedown plástico.-** el esfuerzo aplicado es suficientemente bajo para evitar un rápido incremento al colapso. El material brinda un estado de respuesta permanente sin acumulación de deformaciones plásticas, ofreciendo un ciclo con forma de histéresis.
4. **Colapso incremental.-** El esfuerzo repetitivo aplicado es relativamente bajo, de tal manera que la deformación plástica se acumula rápidamente ocurriendo un colapso en termino relativamente corto.

#### 2.4.2.1. ORIGEN DE LA FISURACIÓN INVERTIDA TRANSVERSAL

Las principales causas de fallas prematuras que se ha identificado hasta la fecha están relacionadas con mezclas asfálticas que ofrecen un pobre desempeño relativo para soportar esfuerzos de tensión, son:

- ☞ La “relativa alta rigidez” que presentan las mezclas asfálticas, que se puede originar por diversos motivos en especial lo concerniente a las altas temperaturas de mezclado y alta viscosidad del asfalto.
- ☞ Humedad en la mezcla por deficiencia en el secado de los materiales.
- ☞ Pobres procesos constructivos: segregación de la mezcla en el mezclado, almacenamiento, carga, transporte, extensión y deficiencia en la compactación.

#### ❖ ALTA RIGIDEZ DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

Se utiliza el término “relativa alta rigidez” porque los efectos de rigidez de una mezcla están íntimamente relacionados con la rigidez de la superficie sobre la cual reposa.

El instituto de vías de Colombia indica estabilidades mínimas de 900kg, para concretos asfálticos en vías de tráfico pesado. Sin ponerle un límite superior. A su vez, la especificación indica que las mezclas de alto modulo deberán ofrecer estabilidades superiores a los 1500kg, situación que ha creado confusión en el control de calidad de las obras y permite que sean aceptadas estabilidades Marshall superiores a los 1500kg, que originan unas muy altas rigideces de la mezcla que han originado a falla prematura de los pavimentos mediante la presencia de la fisuración invertida “topdown craking”.

#### ❖ **ALTAS VISCOSIDADES**

Si bien se cumpla con las especificaciones en lo relativo de su penetración, pero ofrecen altas viscosidades se van a presentar numerosas fallas en los pavimentos y esto hace que fallen prematuramente ante la acción de las cargas.

#### ❖ **ALTAS TEMPERATURAS DE MEZCLADO**

Es de importancia mencionar lo relacionado con un prematuro envejecimiento del asfalto por pérdida de los aceites livianos y oxidación del asfalto durante el proceso de mezclado, para la elaboración de las mezclas a altas temperaturas. Estos aceites son los encargados de suministrar a la mezcla asfáltica la flexibilidad requerida para su elaboración y operación.

El fisuramiento se ha dado en mezclas que poseen módulos más altos y han sido elaboradas con temperaturas superiores a los 150°C. y las que se elaboran con temperaturas menores presentan un buen comportamiento.

#### ❖ **HUMEDAD EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Esta falla en las mezclas asfálticas que en el momento del mezclado ofrecen un buen secado superficial, pero en su interior permanecen húmedas y por lo tanto el efecto de evaporación que sucede en el proceso de mezclado con el asfalto impide una buena adherencia entre partículas y la película asfáltica. Este caso se presenta en plantas de dosificación en frío, cuando la humedad natural de los agregados supera el 3%.

### **2.4.3. TIPOS DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS**

Para evaluar el comportamiento del pavimento a lo largo del periodo de diseño y para garantizar un nivel de seguridad y de servicio a los usuarios se establece un programa de gestión que contempla la evaluación periódica de una serie de indicadores funcionales y estructurales que servirán para establecer las actividades de mantenimiento de las estructuras de pavimento.

#### **➤ PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN**

En primer lugar, será necesario recopilar de los estudios realizados y diseños iniciales, toda la información sobre todas las vías en lo referente a la estructura del pavimento, y se conservará la sectorización inicialmente planteada por los diseñadores dentro de la etapa de diseño.

Sobre cada tramo homogéneo se hará una previsión de su comportamiento utilizando las curvas de evolución del comportamiento de los pavimentos; estas curvas permiten predecir el comportamiento medio de los pavimentos, teniendo en cuenta el tipo de pavimento, su edad, el tránsito que soportan, las condiciones climáticas y las características de la subrasante, así, durante el periodo de diseño, se podrá estimar cómo evolucionan los pavimentos de la red vial.

Con base en esta previsión del comportamiento del pavimento durante el periodo de diseño, y con los resultados del programa de auscultación periódica se asignarán actuaciones a los tramos que los necesiten, para ellos se fijarán unos

umbrales de degradación de los pavimentos, que al ser alcanzados, dan una señal de alarma para indicar que se debe actuar con el fin de evitar una progresión inaceptable de dicha degradación.

### ➤ **PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DE LAS VÍAS**

El siguiente programa de seguimiento tiene por objeto ayudar a los encargados del mantenimiento de las vías a detectar, cualquier signo de deterioro de las vías con el fin de programar oportunamente las obras adecuadas de mantenimiento periódico.

### ➤ **INFORMACIÓN INICIAL REQUERIDA**

Para el desarrollo posterior de las labores de previsión, se necesitan unos datos de partida que proporcionen un conocimiento suficiente de las características de la red, Para ello se necesita disponer de información acerca de los siguientes aspectos: inventario inicial de los pavimentos, tránsito, condiciones climáticas, inspección visual etc.

### ☞ **REGULARIDAD SUPERFICIAL**

La regularidad superficial es una medida del comportamiento funcional del pavimento, que corresponde a una característica que percibe el usuario a través de la sensación de mayor o menor comodidad de circulación y corresponde a las variaciones en el perfil de la calzada, respecto del perfil teórico del pavimento.

La regularidad es un indicativo del estado funcional de un pavimento, que tiene gran influencia en la comodidad de los usuarios de las vías, en su seguridad y por supuesto en el costo de operación y está asociado como un posible indicativo del estado estructural de un pavimento.

### ➤ **Parámetro y periodicidad de evaluación**

La regularidad se evalúa mediante el parámetro IRI (Índice Internacional de Regularidad o de Rugosidad), esta evaluación se recomienda realizarla periódicamente cada año con objeto de conocer su evolución y poder conocer el nivel de confort que presenta el pavimento a lo largo del periodo de diseño.

➤ **Umbrales de intervención**

Los umbrales de regularidad indican según los valores de IRI la calificación y los trabajos de mantenimiento requeridos en las estructuras de pavimento.

<b>Rangos de Índice Internacional de Regularidad IRI (m/Km)</b>	<b>Estado del pavimento</b>	<b>Trabajos de Mantenimiento requerido</b>
< 2.0	Buen Estado	Mantenimiento Rutinario
2.0 a 4.0	Regular Estado	Tratamientos de Rehabilitación de mediana intensidad
4.0 a 5.0	Pavimentos deteriorados	Rehabilitación Inmediata del Pavimento
> 5.0	Pavimentos Altamente Deteriorados	Trabajos Importantes de Rehabilitación

☞ **INVENTARIO DE DAÑOS**

El objetivo de este inventario es hacer una evaluación cuantitativa y cualitativa y en forma más detallada de los daños existentes en la calzada y zonas laterales, para lo cual se recomiendan en las diferentes estructuras las siguientes metodologías.

➤ **Análisis de daños en Pavimentos Flexibles**

Para la evaluación de los deterioros del pavimento sobre las estructuras flexibles se recomienda el procedimiento adoptado por el Instituto Nacional de Vías del Ministerio de Transporte, en su “Guía metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras” publicado en el año 2002, el cual permite determinar el índice de deterioro superficial en función de los índices de deformación e índices de fisuración.

Para la determinación de los niveles de gravedad de los deterioros estructurales y funcionales de los pavimentos flexibles, se recomienda utilizar los criterios establecidos en la Guía Metodológica para el Diseño de Obras de rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras, propuesta por el Instituto Nacional de Vías.

➤ **Parámetro y periodicidad de evaluación**

Estas evaluaciones se recomiendan realizarlas como mínimo cada 2 años. En el caso de los pavimentos flexibles el análisis de los daños se realizará en función del índice de deterioro superficial.

➤ **Umbrales de intervención**

En función del índice de deterioro superficial se establecen para los pavimentos flexibles los siguientes umbrales de intervención.

<b>Rangos de Índice de Deterioro Superficial</b>	<b>Estado del Pavimento</b>	<b>Trabajos de Mantenimiento Requeridos</b>
<b>Is</b>		
1 a 2	Buen Estado	Mantenimiento Rutinario

3 a 4	Regular Estado	Tratamientos de Rehabilitación de Mediana Intensidad
5, 6, 7	Pavimentos Altamente Deteriorados	Trabajos Importantes de Rehabilitación



### EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Esta evaluación se puede realizar utilizando equipos de bajo y alto rendimiento, para medidas puntuales se recomienda el péndulo TRRL y para la auscultación sistemática el SCRIM. (Sideways-Force Coefficient Routine Investigation Machine)

#### ➤ **Parámetro y periodicidad de evaluación**

La resistencia al deslizamiento se evalúa mediante el coeficiente de resistencia al deslizamiento, y se recomienda realizar cada dos años la evaluación de este parámetro.

#### ➤ **Umbral de intervención**

Para fijar los umbrales de intervención inicialmente se plantean las recomendaciones generales exigidas para los diferentes sitios y tipos de carreteras, valores que pueden servir como referencia para fijar las intervenciones.

Categoría	TIPO DE SITIO	Coefficiente de resistencia al deslizamiento (CRD)
-----------	---------------	----------------------------------------------------

A	Sitios que presentan mayores dificultades, como glorietas, curvas con radios inferiores a 150 m, pendientes superiores a 5% en longitudes mayores a 100 m.	Mayor de 65
B	Autopistas y, en general carreteras con tránsito muy pesado, en secciones que no correspondan a la categoría anterior	Mayor de 0.55
C	Secciones de carreteras no contempladas en las categorías anteriores, en las que no se prevea la existencia de condiciones peligrosas, como carreteras de tránsito medio y liviano en sitios planos, curvas amplias etc.	Mayor de 0.45

En forma general según el valor del coeficiente de resistencia al deslizamiento y considerando las vías pre troncales se pueden fijar los siguientes umbrales de intervención.

Características de los Tramos	Umbral opcional del valor del índice de resistencia al deslizamiento
Tramos con intersecciones	0.50
Tramos con cruces de peatones, cruces peligrosos	0.60

Para todos los tramos con índice inferior a 0.40 será necesario mejorar la textura superficial de la capa de rodadura, considerándose un umbral de actuación obligatoria.

## **EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA**

Con el fin de conocer la respuesta elástica que representa la estructura del pavimento existente, bajo la aplicación de las cargas del tránsito, se realizará la evaluación deflectométrica siguiendo los lineamientos fijados por el Instituto Nacional de Vías, evaluación que puede realizarse con Viga Benkelman o con equipos dinámicos como el Deflectómetro de Impacto.

➤ **Parámetro y periodicidad de evaluación**

Teniendo en cuenta que las deflexiones y el cuenco de deflexiones pueden ser unos buenos indicadores de la capacidad estructural del pavimento se recomienda evaluarla en forma periódica como mínimo cada dos años. Es importante anotar que cuando sea necesario, se deben realizar evaluaciones deflectométricas menos espaciadas en los sectores que presenten una evolución importante de los daños.

➤ **Umbral de intervención**

Considerando los niveles de tránsito para un periodo de 10 años obtenidos en los diferentes tramos de análisis de estas vías pre troncales se establecen los siguientes umbrales de intervención en función de los siguientes rangos de tránsito.

Para su evaluación en cualquier momento de la vida del pavimento se recomienda utilizar el modelo propuesto por el instituto del asfalto que relaciona el nivel de deflexión con el número de ejes equivalentes.

$$\Delta o = 1.0363 (N)^{-0.2438}$$

Dónde:

$\Delta o$  = Deflexión en pulgadas

N = Número de repeticiones de ejes de 8.2 toneladas (18 Kips)

Nivel De Tránsito N (Millones)	Rango De Deflexión mm		
	Bajo	Medio	Alto
2 a 4	< 0.60	0.6 a 0.75	> 0.75
4 a 6	< 0.50	0.5 a 0.65	> 0.65

6 a 8	< 0.50	0.5 a 0.60	> 0.60
-------	--------	------------	--------

#### **2.4.4. EVALUACIÓN DE LA FISURACIÓN INVERTIDA TRANSVERSAL**

La evaluación de la fisuración invertida transversal se realizara con una inspección visual que tiene como objetivo la obtención de los datos necesarios para hacer un diagnóstico del estado en que se encuentran los pavimentos, y posteriormente estudiarlas causas que originan la fisuración invertida transversal y las actuaciones de rehabilitación allí donde se consideren necesarias.

En esta evaluación no hace falta hacer muchas adquisiciones de datos para calificar el estado en que se encuentra una vía, ya que es algo que salta a la vista, y que es precisamente la vista uno de los medios que en forma sencilla permite realizar una primera evaluación del estado del pavimento.

##### ➤ **Periodicidad de evaluación**

Se realizará una inspección visual de los diferentes tramos de la vía, esta evaluación que se realizará visualmente a nivel de la calzada y en zonas laterales de la vía, con lo cual se pueden detectar zonas de diferentes comportamientos y a la vez definir las zonas, sectores o tramos donde se debe actuar con mayor celeridad.

#### **2.4.5. Procedimiento de Evaluación de la Fisuración Invertida Transversal**

El primer paso será la ubicación del tramo de aplicación para este estudio es el tramo Cruce San Lorenzo – Cruce San Lorencito ubicada en la carretera que une el departamento de Tarija y Potosí donde se realizará una inspección visual en los diferentes tramos de la vía, evaluación que se realizará visualmente a nivel de la calzada y zonas laterales de la vía, con lo cual se pueden detectar zonas de diferentes comportamiento y a la vez definir las zonas, sectores o tramos donde se debe actuar con mayor celeridad.

Toda la información de campo será procesada para que esté dentro del contexto de la evaluación sobre la falla de fisuración invertida transversal y estabilidad en el cual se procederá a determinar para los sub tramos críticos el tipo de fallas que se tiene, su extensión, severidad y recurrencia son factores que orientan al ingeniero en el momento de definir las posibles causas de las fallas. Se eligen sub tramos de 1000 metros y se avalúan 100 metros de cada sub tramo del tramo de estudio.

El criterio que se seguirá para valorar el estado actual de un camino, será el recomendado por la SEDESOL. Se basa en la apreciación personal del usuario, respecto a la facilidad que ofrece la vialidad para ser recorrida cómodamente; el número recomendado de personas para tener una estimación adecuada deberá ser de cinco (5), o más Calificadores; la calificación asignada a la superficie de rodamiento se denominará Índice de Servicio Actual (ISA) y se incluirá en el formato de Inventario General de Condición de la SEDESOL:

- Escala del Índice de Servicio Actual:

Para calificar cualquier elemento de una vialidad se usará siempre la escala que va del cero (pésimo), a cinco (excelente), con los niveles intermedios siguientes:

<b>CALIFICACIÓN.</b>	<b>ESTADO DEL ELEMENTO</b>
0	Pésimo.
0 – 1	Muy malo.
1 – 2	Malo.
2 – 3	Regular.
3 – 4	Bueno.
4 – 5	Muy bueno.
5	Excelente.

En la calificación de todos los elementos de vialidad y para mayor precisión, se adopta en el rango de cero a cinco, los datos con aproximación a un decimal.

La calificación que se otorgue a un elemento se refiere siempre a toda la sección considerada, por lo que dicha calificación debe reflejar el estado promedio que guarda el elemento calificado, dentro de la propia sección.

La velocidad media aconsejable en el recorrido para calificar dependerá de la topografía de la zona, pero no excede de los 30 km/h.

Cualquiera que sea el tipo de superficie de rodamiento, el Calificador debe detener su recorrido, por lo menos dos veces por sección, para revisar las obras de drenaje y para apreciar con detalle el estado de los demás elementos que integran la vialidad, lo cual le permite confirmar o rectificar las evaluaciones que haya hecho en el recorrido.

El calificador efectuará el recorrido en un vehículo que se encuentra en óptimas condiciones de servicio y está provisto de las señales adecuadas para indicar su operación a baja velocidad y evitar accidentes.

Se debe calificar solamente durante el día y cuando exista suficiente luz natural, para poder apreciar debidamente el estado de la vialidad. Como la inspección se dificulta cuando el recorrido se realiza con el sol de frente, los horarios de trabajo deberán programarse en tal forma que evite en lo posible esta situación.

El avance diario en el recorrido para calificar no debe exceder de 200 km. cuando se trate de vialidades pavimentadas, ni de 150 km. en el caso de vialidades revestidas.

Se ha comprobado que mayores recorridos producen cansancio, o que puede dar lugar a resultados erróneos en la calificación.

Al finalizar una sección el Calificador debe detener su recorrido para hacer la evaluación de sus observaciones y anotar en un registro en su planilla correspondiente, las calificaciones de la escala 0-5 que determinó para cada uno de los elementos de la vialidad.

Cada elemento debe calificarse en forma independiente, es decir, la calificación de un elemento no debe influir en la de otro. Por ejemplo, al evaluar las condiciones del drenaje, no deben tomarse en cuenta las observaciones que se hagan para la superficie de rodamiento o viceversa.

Tampoco debe influir en la calificación el proyecto geométrico de la vialidad. Así, la calificación para la superficie de rodamiento es independiente de su ancho, si se trata de una tangente o de una curva y aún de su grado de curvatura.

En caso de lluvias y para aprovechar el tiempo, podrá calificarse el drenaje observando su funcionamiento, y de esta manera evaluarlo con mayor certeza. Lo mismo puede hacerse con el señalamiento vertical. El recorrido habrá de repetirse para calificar la superficie de rodamiento cuando esté seca y para los otros elementos faltantes.

En caso de que se encuentre reparándose un tramo de la vialidad, éste no se toma en cuenta para la calificación, haciéndose notar en las observaciones.

## **2.5. ESTABILIDAD DE LA MESCLA ASFÁLTICA**

### **2.5.1. Introducción**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamiento, ondulaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad del ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna en la mezcla proviene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico. En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

### **2.5.2. Mezclas Asfálticas**

La mezcla asfáltica es una combinación de cemento asfáltico y agregados pétreos en proporciones exactas y previamente especificadas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades y características de la mezcla.

Las mezclas asfálticas están formadas por un material pétreo bien graduado y cemento asfáltico como ligante. Se elaboran en una planta que calienta el material pétreo a una temperatura de 140°C a 150°C y el cemento asfáltico a una temperatura de 110°C a 130°C.

Después que el material pétreo esté caliente y seco se mezclan sus componentes de acuerdo a una composición granulométrica aprobada, incorporándole a continuación el cemento asfáltico en una cantidad previamente definida.

Las mezclas terminadas se extienden en capas uniformes en el espesor y ancho requeridos, para luego ser compactadas a temperaturas superiores a los 90 °C.

Un pavimento de concreto asfáltico debe cumplir los siguientes objetivos principales:

- Suficiente estabilidad en la mezcla como para satisfacer las exigencias del servicio y las demandas del tránsito sin distorsiones o desplazamientos.
- Suficiente asfalto para asegurar la obtención de un pavimento durable, que resulte del recubrimiento completo de las partículas de agregado pétreo, impermeabilizando y ligando las mismas entre sí, bajo una compactación adecuada.
- Suficiente trabajabilidad como para permitir una eficiente operación constructiva en la elaboración de la mezcla y su compactación.
- Suficientes vacíos en la mezcla compactada, para proveer una reserva que impida, al producirse una pequeña compactación adicional, afloramientos de asfalto y pérdidas de estabilidad.

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua. Se fabrican en unas centrales fijas

o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemer et al., 2004).

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráficos pesados intensos.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

#### **CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA:**

Las características más importantes de la mezcla asfáltica son:

➤ **Estabilidad**

Es la capacidad para resistir la deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento inestable presenta ahuellamiento, corrugaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

➤ **Durabilidad**

Es la capacidad para resistir la acción de los agentes climáticos y del tránsito, que se observa en desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y reparación de las películas de asfalto.

➤ **Impermeabilidad**

Es la resistencia al paso de aire y agua hacia el interior del pavimento.

➤ **Flexibilidad**

Es la capacidad del pavimento para acomodarse sin agrietamientos, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante.

➤ **Resistencia a la fatiga**

Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Expresa la capacidad de la mezcla a deformarse repetidamente sin fracturarse.

➤ Resistencia al deslizamiento

Capacidad de proveer suficiente fricción para minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada.

### PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFALTICA:

La mezcla tiene cuatro características principales que determinan su comportamiento:

➤ Densidad de la mezcla

Es el peso de un volumen específico de mezcla. La densidad obtenida en el laboratorio es la densidad patrón y la densidad obtenida in-situ se expresa como un porcentaje de la misma. Una densidad alta en el pavimento terminado se traduce en una mayor durabilidad.

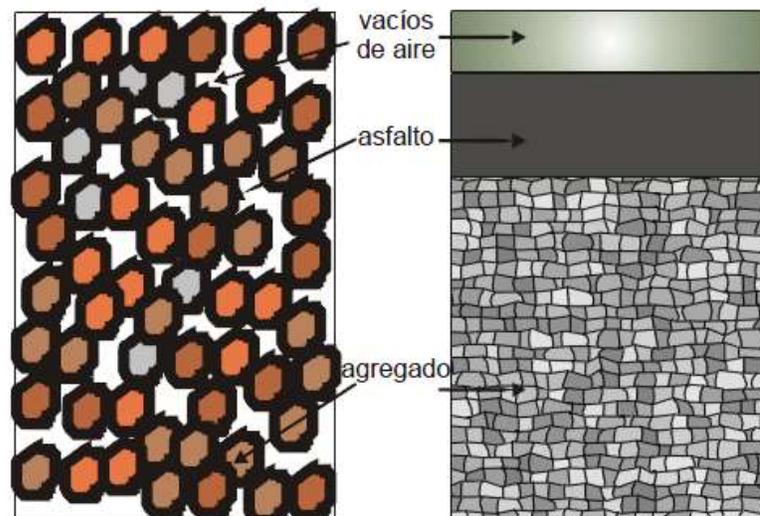
➤ Vacíos

Los vacíos en el agregado mineral pueden llenarse de aire o de asfalto. Es importante tener una pequeña cantidad de vacíos con aire por donde fluya el asfalto durante la compactación producida por el tránsito, pero no demasiados para evitar la filtración de agua que cause deterioro.

➤ Contenido de asfalto

Es el componente más importante. Debe ser determinado en laboratorio y controlado en obra. Mientras más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

**Figura 2.8** Esquema de volúmenes de los componentes de la mezcla asfáltica



**Fuente:** asociación de productores y pavimentadores asfálticos de Colombia

### **2.5.3. EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

El Método Marshall es un método que se utiliza para la evaluación de las mezcla asfálticas, que fue desarrollado por el Ing. Bruce Marshall, inicialmente fue utilizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamericano, actualmente es el método más utilizado para la elaboración de fórmulas de mezcla.

El criterio para conseguir una mezcla satisfactoria está basado en requisitos mínimos de estabilidad, fluencia, densidad y porcentaje de vacíos.

Este método determina el procedimiento para realizar los ensayos de estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas preparadas en caliente, utilizando el equipo Marshall, determina características físicas de las mezclas y analiza los parámetros que definen el contenido de asfalto. La estabilidad se determina empleando el principio de corte en compresión semi-confinada, sometiendo a la muestra a esfuerzos de compresión diametral a una temperatura de 60 °C (140 °F). La aplicación de esfuerzos y la rotura de las muestras se consiguen con un dispositivo especialmente proyectado para las pruebas de estabilidad.

El valor de estabilidad representa la resistencia estructural de la mezcla compactada y está afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición

granulométrica y el tipo de agregado. El valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado.

Además, la mezcla debe tener la fluidez necesaria para que pueda compactarse a la densidad exigida y producir una textura superficial adecuada. El valor del Flujo representa la deformación producida en el sentido del diámetro del espécimen antes de que se produzca su fractura.

Este valor es un indicador de la tendencia para alcanzar una condición plástica y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas que por ella transiten.

El contenido óptimo de asfalto se determina, de acuerdo a recomendación del Instituto del Asfalto (Manual MS - 2), a través de la media aritmética de los porcentajes que llevan a:

- La máxima estabilidad.
- La máxima densidad de la mezcla
- Al volumen de vacíos de aire especificado.

Esta media debe ser verificada en relación al valor de la Fluencia y a los vacíos del agregado mineral (VAM), a fin de asegurar que la mezcla contenga un volumen de asfalto ( $V_b$ ) suficiente, sin que el volumen de vacíos de aire ( $V_v$ ) sea reducido a un valor inaceptable. Si no se cumplen las especificaciones, la granulometría del agregado debe ser modificada.

#### **2.5.4. Relación de la Estabilidad Marshall con la Fisuración Invertida**

##### **Transversal**

El ensayo de estabilidad Marshall, determina características físicas de la mezcla y está basado en requisitos mínimos de estabilidad, fluencia, densidad y porcentaje de vacíos, estos resultados que son obtenidos del ensayo, son utilizados para el análisis de la condición en la que se encuentra la carpeta asfáltica, por lo que la estabilidad está directamente relacionada con la fisuración invertida transversal, debido a que las

fisuras se producen debido a la baja estabilidad de la carpeta asfáltica, densidad inadecuada y bajo porcentaje de vacíos presentes en la mezcla asfáltica.

La relación que existe entre la estabilidad y la fisuración invertida transversal está basada en la deformación de la carpeta asfáltica que sufre cuando se aplican cargas sobre la misma, si la mezcla tiene una mala estabilidad dará lugar a que la carpeta asfáltica se fisure.

Cuando el contenido de vacíos es bajo puede originar inestabilidad o fluencia después de que el pavimento ha sido expuesto al tráfico por un periodo de tiempo, a causa del reacondicionamiento de las partículas y compactación adicional. También puede resultar insuficiente el espacio de vacíos para la cantidad de asfalto requerida para una durabilidad alta. La disgregación del agregado bajo la acción del tráfico, puede también conducir a inestabilidad y fluencia, si el contenido de vacíos de la mezcla no es suficiente. Por estas razones, las fisuras invertidas transversales se reaccionan con la estabilidad de la mezcla asfáltica.

### **CAPITULO III**

#### **EVALUACION DE LA FISURACION INVERTIDA TRANSVERSAL EN EL TRAMO CRUCE SAN LORENZO – CRUCE SAN LORENCITO**

##### **3.1. UBICACION DEL TRAMO DE ESTUDIO**

La carretera Tarija – Potosí está ubicada en los departamentos de Potosí, Chuquisaca y Tarija, forma parte de la Ruta N° 1 de la red Fundamental del sistema vial nacional, que a su vez forma parte de la Ruta de los Libertadores que vincula estos departamentos, integrando al país, además de ser parte de la carretera Internacional Longitudinal Panamericana, que vincula a los países del Pacto Andino con los del Mercosur.

El tramo en estudio forma parte de dicha carretera, y está ubicado en la región de la cordillera Oriental de los Andes Bolivianos, y se desarrolla a lo largo de zonas onduladas, montañosas a muy montañosas.

Este tramo corresponde a la variante de la Falda de la Queñua, comprendido entre el cruce San Lorenzo y el cruce San Lorencito.

Las coordenadas geográficas del tramo en estudio son:

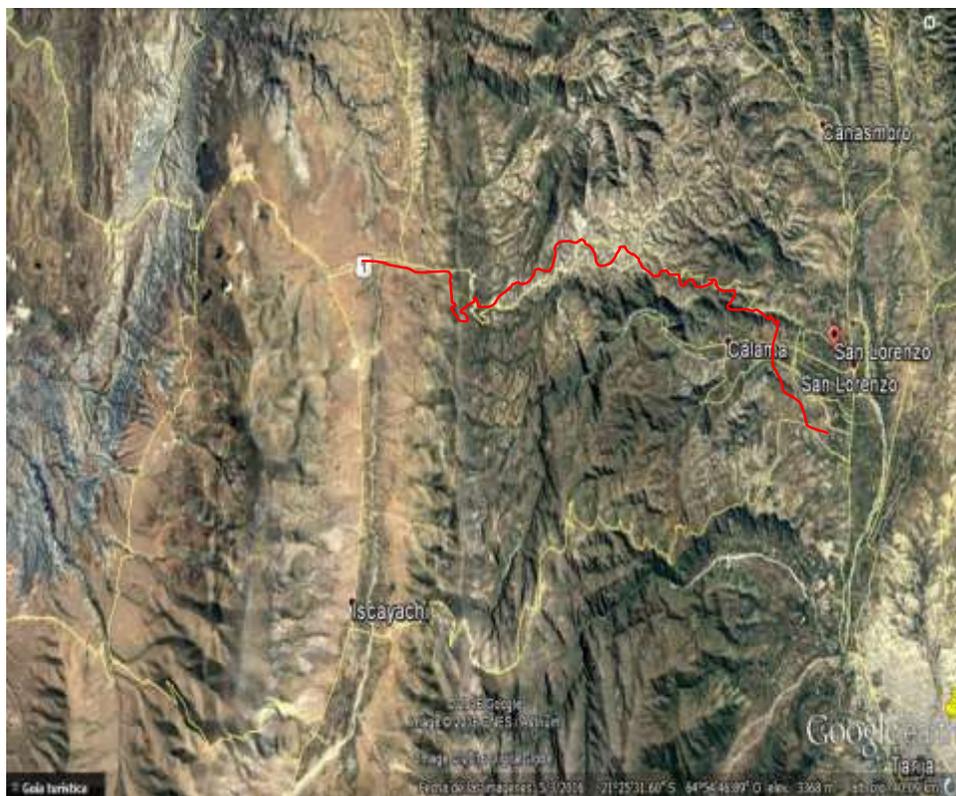
Al inicio del tramo (Cruce San Lorencito):

- Latitud:  $21^{\circ} 22' 45.92''$
- Longitud:  $70^{\circ} 57' 14.81''$
- Altura: 3320 msnm

Al final del tramo (Cruce San Lorenzo):

- Latitud:  $21^{\circ} 43' 66.57''$
- Longitud:  $64^{\circ} 75' 20.71''$
- Altura: 2000 msnm

### Ubicación del tramo de estudio



**Figura 3.1**

### **3.2. CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO EN ESTUDIO**

El tramo en estudio tiene una extensión de 31,39 Km. y se encuentra a una altura de 3400 msnm en la parte más elevada, este tramo se inicia en el cruce San Lorencito exactamente en el puente Tomayapo. El mismo cruza por un túnel de 1.22 Km de longitud, y que se encuentra a una altura aproximada de 3400 msnm en la cumbre, dando inicio al descenso por toda la falda de la Queñua. Luego pasa por Calama, Quebrada Saca hasta la intercepción de la carretera Tarija–San Lorenzo.

Este tramo tiene muchas particularidades distintivas como su topografía, la altura sobre el nivel del mar en la que se encuentra, la humedad, las aguas de lluvia que forman arroyos caudalosos por la gran pendiente que tienen las montañas, las bajas temperaturas a la que está expuesto el pavimento, alcanzando temperaturas bajo cero. Esta carretera por ser una ruta fundamental del sistema vial nacional, por donde transitan camiones de carga de alto tonelaje, el tramo en estudio permite pesos máximos hasta de 13 toneladas para camiones con triple eje. Las pendientes del tramo varían entre 0.0 % como mínima, hasta 8.0 % para la pendiente máxima.

#### **Túnel de la variante Falda de la Queñua**



### **Fotografía 3.1**

#### **Zona alta (La Aguada)**



### **Fotografía 3.2**

El clima en la parte más alta con una elevación de más 3400 msnm, en la progresiva 002+040 corresponde a la zona fría y seca típicamente montañosa y la parte más baja

corresponde a un clima de valle templado y seco. La vegetación en general es escasa, aun en los valles, excepto donde se cuenta con un curso de agua permanente.

A continuación se muestran las temperaturas que se registraron en el mes de julio en distintos puntos del tramo en estudio.

**Tabla 3.1:** Registro de Temperaturas del Tramo en la Época de Frio

Nº	Fecha	Progresiva	Temp. C°
1	12/Jul/16	00+320	15
2	12/Jul/16	002+500	11
3	12/Jul/16	003+500	11
4	12/Jul/16	004+500	28
5	13/Jul/16	005+500	28
6	13/Jul/16	006+500	9
7	13/Jul/16	007+500	17
8	13/Jul/16	008+500	22
9	13/Jul/16	009+500	26
10	13/Jul/16	010+500	28
11	13/Jul/16	011+500	25
12	14/Jul/16	012+500	7
13	14/Jul/16	013+500	4
14	14/Jul/16	014+500	3
15	14/Jul/16	015+500	5
16	14/Jul/16	016+500	8
17	14/Jul/16	017+500	11
18	15/Jul/16	018+500	3
19	15/Jul/16	019+500	2
20	15/Jul/16	020+500	7
21	15/Jul/16	021+500	16

22	15/Jul/16	022+500	21
23	15/Jul/16	023+500	28
24	15/Jul/16	024+500	28
25	15/Jul/16	025+500	29
26	15/Jul/16	026+500	25
27	15/Jul/16	027+500	22
28	15/Jul/16	028+500	20,5
29	15/Jul/16	029+500	20
30	15/Jul/16	030+500	18
31	15/Jul/16	031+500	15
32	15/Jul/16	031+660	6
Temperatura máx.			29
Temperatura min.			2
Promedio			16,20

*Fuente: Elaboración propia*

En la siguiente tabla se muestran las temperaturas que se registraron en el mes de noviembre en distintos puntos del tramo en estudio.

**Tabla 3.2:** Registro de Temperaturas del Tramo en la Época de Calor

Nº	Fecha	Progresiva	Temp. C°
1	01/Nov/16	00+320	27
2	02/ Nov /16	002+500	28
3	03/ Nov /16	003+500	27
4	04/ Nov /16	004+500	29
5	05/ Nov /16	005+500	31
6	06/ Nov /16	006+500	32
7	07/ Nov /16	007+500	17
8	08/ Nov /16	008+500	25
9	09/ Nov /16	009+500	27
10	10/ Nov /16	010+500	27
11	11/ Nov /16	011+500	28
12	12/ Nov /16	012+500	29
13	13/ Nov /16	013+500	21
14	14/ Nov /16	014+500	26
15	15/ Nov /16	015+500	26
16	16/ Nov /16	016+500	27
17	17/ Nov /16	017+500	31
18	18/ Nov /16	018+500	31
19	19/ Nov /16	019+500	32
20	20/ Nov /16	020+500	21
21	21/ Nov /16	021+500	19

22	22/ Nov /16	022+500	25
23	23/ Nov /16	023+500	24
24	24/ Nov /16	024+500	12
25	25/ Nov /16	025+500	26
26	26/ Nov /16	026+500	25
27	27/ Nov /16	027+500	27
28	28/ Nov /16	028+500	28
29	29/ Nov /16	029+500	29
30	30/ Nov /16	030+500	27
31	31/ Nov /16	031+500	18
Temperatura máx.			32
Temperatura min.			12
Promedio			25,87

*Fuente: Elaboración propia*

En la variante de la Falda de la Queñua se pudo apreciar que el drenaje es de cauce natural, por tratarse de una zona montañosa, que están compuestos por cursos de agua bien definidos, donde dependiendo de la pendiente, el escurrimiento es más o menos torrencioso.

### **Topografía del drenaje natural**



**Fotografía 3.3**

Para evitar que estos arroyos intervengan en el deterioro o la destrucción de la carpeta asfáltica, se diseñaron sistemas de drenaje para evacuar el agua de tal forma que la estructura de la carretera se mantenga segura durante el periodo de lluvias.

### **3.3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA**

La buena caracterización de los materiales de la mezcla asfáltica, conforman una carpeta estable, duradera, impermeable y antiderrapante, para ello se deben controlar los siguientes factores como ser:

- Granulometría del material pétreo
- Contenido de asfalto
- Consistencia del cemento asfáltico
- GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO:

La composición granulométrica del material pétreo que se utilizó en la mezcla asfáltica, para la construcción del tramo cruce San Lorenzo – cruce San Lorencito, están de acuerdo a las características de la obra y la especificación técnica requerida. Las mezclas con un contenido de partículas pétreas de mayor tamaño tienen mayor estabilidad. El tamaño máximo de las partículas no debe ser mayor a  $\frac{2}{3}$  del espesor de la carpeta.

- CONTENIDO DE ASFALTO:

El contenido óptimo para la preparación de la mezcla es de 5,8 % el cual es el necesario para cubrir con una película de asfalto la superficie de los agregados pétreos, sin llenar completamente los vacíos, ya que éstos deben ser llenados con las partículas más finas. Por una parte la mezcla debe contener un porcentaje mínimo de vacíos para evitar las exudaciones del asfalto, que pueden provocar la formación de surcos u ondulaciones. Por otra parte deberá tener un porcentaje máximo de vacíos, ya que si este valor se excede, se puede ocasionar el endurecimiento del asfalto por efecto de los agentes atmosféricos, dando como resultado una carpeta quebradiza.

- CONSISTENCIA Y CALIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO:

Para la elaboración de la mezcla se ha elegido el asfáltico BETUFLEX 60/85, que tiene una buena consistencia y es el más adecuado a las condiciones climatológicas del lugar donde se emplazó la carretera.

### **3.3.1. características del Asfalto**

El asfalto usado en la mezcla asfáltica, es un material de con características particulares porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Esta sustancia plástica le da una flexibilidad controlable a la mezcla asfáltica, lo cual ayuda a evitar fallas provocadas por las cargas que se aplican por los camiones de carga que transitan por la vía. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

#### **Cemento asfáltico 60/85**



**Fotografía 3.4**

El asfalto es el material que ejerce mayor influencia en la durabilidad, debido a que la mezcla asfáltica mantendrá su durabilidad, mientras el asfalto mantenga sus propiedades de ligante y de impermeabilizador. El deterioro del pavimento debido al clima cambiante en la variante falda la Queñua se basa en los cambios de las características del asfalto, tales como su oxidación y volatilización, que determinan una

alteración del pavimento y agregados, a la acción del agua, incluso su congelamiento y deshielo.

El aglutinante que se utilizó en la mezcla asfáltica para la construcción de la carretera, es el asfalto modificado BETUFLEX 60/85, que fue importado desde Brasil por la empresa constructora, este producto es de procedencia IPIRANGA – PETROBRAS, BRASIL. El asfalto fue sometido a varias pruebas de control de calidad mediante ensayos de laboratorio, para cumplir con las características que se solita en la especificaciones técnicas del contrato.

Este material cumple con sus ensayos de caracterización:

- Penetración AASHTO T-49
- Peso específico según AASHTO T-288
- Punto de inflamación AASHTO T-48
- Punto de ablandamiento AASHTO T-53

## **ENSAYO DE PENETRACIÓN**

**(DESIGNACIÓN AASHTO: T 49-93) (DESIGNACIÓN ASTM: D 5-86)**

### **ALCANCE**

Este método de ensayo cubre la determinación de la penetración de materiales bituminosos semi-sólido y sólidos. Los materiales que tienen penetraciones debajo de 350 pueden ser probados por el aparato normal y con el siguiente procedimiento. Para materiales que tienen penetraciones entre 350 y 500, se debe usar un aparato especial.

### **DESCRIPCIÓN DE TÉRMINO**

La penetración de un material bituminoso es la distancia en décimas de milímetro que una aguja normalizada penetra verticalmente bajo las condiciones fijas de temperatura, carga y tiempo.

### **RESUMEN DEL MÉTODO**

La muestra se funde y se refresca bajo las condiciones controladas. La penetración es medida con un penetrómetro por medio de una aguja normalizada se aplica a la muestra bajo las condiciones específicas.

#### **Realización del ensayo de penetración**



**Fotografía 3.5**

**La planilla de resultados de laboratorio se presenta en el ANEXO I**

### **ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO**

**(DESIGNACIÓN AASHTO: T 228-93) (DESIGNACIÓN ASTM: D 70-76)**

## ALCANCE

Este método cubre la determinación de la gravedad específica de materiales bituminosos semi-sólidos, cementos del asfalto, y los alquitranes suaves por uso de un picnómetro.

## GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica de materiales bituminosos semi-sólidos, cementos del asfalto, y los alquitranes suaves se expresarán como la relación de la masa de un volumen dado del material a 25°C (77°F) o a 15.6°C (60°F) al que es igual de un volumen de agua a la misma temperatura, y debe expresarse así:

Gravedad Específica = 25/25°C (77/77°F) o 15.6/15.6°C (60/60°F)

## DETERMINACIÓN

Calcule la gravedad específica al tercer decimal más cercano como sigue:

$$\text{Gravedad Específica} = \frac{C - A}{B - A - D + C}$$

Donde:

A = la masa del picnómetro (más el tapón)

B = la masa del picnómetro lleno con agua

C = la masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto

D = la masa del picnómetro más el asfalto más agua

### **Realización del ensayo de Peso Especifico**



**Fotografía 3.6**

**La planilla de resultados de laboratorio se presenta en el ANEXO I**

### **ENSAYO PUNTO DE INFLAMACIÓN POR EL VASO ABIERTO DE**

### **CLEVELAND**

**(DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM D1310-01 AASHTO T7996)**

### **ALCANCE**

Este método cubre la determinación del punto de inflamación, por el Ensayo del Vaso Abierto de Cleveland, de productos de petróleo y otros líquidos, excepto los aceites de combustible y esos materiales que tienen un punto de inflamación de vaso abierto debajo de 79°C (175°F).

### **DEFINICIONES**

#### **Punto de destello**

Es la temperatura más baja corregida a una presión barométrica de 101.3 kPa, a la aplicación del fuego (llama) causa el vapor de un espécimen para encender bajo las condiciones especificadas del ensayo.

### **Punto de inflamación**

Es la temperatura más baja a la que un espécimen se mantendrá quemándose durante 5 segundos.

### **RESUMEN DEL MÉTODO**

El vaso del ensayo se llena hasta un nivel especificado con la muestra. La temperatura de la muestra es aumentada rápidamente al principio y entonces a una proporción lenta constante a medida que el punto de destello se aproxima. En intervalos especificados una llama pequeña se pasa por el vaso.

La temperatura más baja a que la aplicación de la llama causa vapores sobre la superficie del líquido es denominada como el punto de destello. Para determinar el punto de inflamación, se continúa con el ensayo hasta que la aplicación de la llama ocasiona que el aceite se incendie y se queme durante por lo menos 5 segundos.

### **Realización del ensayo de Punto de Inflamación**



**Fotografía 3.7**

**La planilla de resultados de laboratorio se presenta en el ANEXO I**

**PUNTO DE ABLANDAMIENTO (APARATO DEL ANILLO Y ESFERA)  
(DESIGNACIÓN AASHTO: T 53-92) (DESIGNACIÓN ASTM: D 36-89)**

**ALCANCE**

Este método de ensayo cubre la determinación del punto de ablandamiento de betún en el rango de 30 a 157°C (86 a 315°F) usando el aparato de la anillo-y-esfera sumergido en agua destilada, glicerina USP o glicol del etileno.

**RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO**

Dos discos horizontales de betún, fundidos en anillos de latón de apoyo, están acalorando a una proporción controlada en un baño líquido mientras soportan una esfera de acero. El punto de ablandamiento se informa como las pobres de las temperaturas a las cuales los dos discos se ablandan suficiente para permitir cada esfera, envolvió en betún, se caiga una distancia de 25 mm (1.0 in.).

**Realización del ensayo de Punto de Ablandamiento**



**Fotografía 3.8**

La planilla de resultados de laboratorio se presenta en el ANEXO I

RESULTADOS DE LAS PRÁCTICAS:

**Tabla 3.3:** Resumen de los resultados de Caracterización del cemento asfáltico modificado BETUFLEX 60/85

ENSAYO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
					Mínimo	Máximo
Peso Específico	grs./cm3	1,006	1,006	1,006	1	1,05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>296	>297	>297	>232	-
Penetración a 25°C, 100gr. 5seg.( 0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	57	57			
	Lectura N°2	56	58			
	Lectura N°3	56	56			
	Promedio	mm	56	57	57	40
Punto de ablandamiento	°C	75,0	74,0	75	60	

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

Los materiales pétreos o agregados pétreos utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica provienen de los yacimientos de acopio de las áreas industriales ubicadas en Iscayachi y Calama, concretamente en el Km 46+600 área industrial Iscayachi y en el área industrial de Calama en el Km 27+850.

Los agregados utilizados en la mezcla asfáltica usada la construcción del tramo vial cruce San Lorenzo – cruce San Lorencito, son los responsables de la capacidad de carga o resistencia de la mezcla y constituyen entre el 90% y 95% en peso de la mezcla y entre el 75% y 85% en volumen de la misma. Estos agregados deben ser limpios, duros y durables para obtener mejores condiciones de adherencia y estabilidad.

Una vez que el agregado mineral ha sido cubierto con asfalto, adquiere características diferentes, por ejemplo, la facilidad con la cual se puede compactar es satisfactoria. Su

capacidad de repeler el agua se incrementa de acuerdo al espesor de la película de asfalto.

Las características principales del agregado mineral como la dureza, la forma y textura superficial, afectan la densidad del pavimento. La gradación se debe mantener constante con un esfuerzo de compactación adecuado. El porcentaje de vacíos depende del tipo de agregado.

Las propiedades más importantes de los agregados que se usan para la construcción de carreteras son:

- Ensayo granulométrico
- Ensayo equivalente de arena
- Peso específico y absorción del agregado grueso
- Peso específico y absorción del agregado fino
- Ensayo desgaste los ángeles

## **ENSAYO GRANULOMÉTRICO**

**(DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM D422 – AASHTO T88)**

### **Introducción**

Las mezclas asfálticas pueden denominarse densas, open-graded o gap-graded. Estas denominaciones dependen de la granulometría de la mezcla. Todo diseño de mezclas asfálticas parte del diseño de los agregados.

Los agregados pueden proceder de diferentes canteras, la calidad de los materiales deberá ser evaluado en el laboratorio para verificar si cumple con las especificaciones técnicas.

### **Objetivo**

Este ensayo tiene por objeto determinar la granulometría de los agregados hasta el tamiz #200, mediante su división y separación con una serie de tamices en fracciones granulométricas de tamaño decreciente.

### **Combinación de agregados**

Son diferentes los métodos que se puedan emplear para la combinación de agregados, entre ellos está la dosificación de los agregados por peso y por métodos gráficos. El método gráfico no se describirá en esta parte del libro.

Dosificación de los agregados por peso:

$$P = Aa + Bb + Cc \text{ etc.}$$

Donde:

P: Porcentaje promedio de las especificaciones en un tamiz

A, B, C, etc.: % de material que pasa un tamiz para la granulometría A, B, C, etc.

a, b, c, etc.: Proporción de agregados A, B, C, etc. usado en la combinación. La suma es 1

Combinación de dos agregados:

$$P = Aa + Bb$$

Sabiendo que  $a+b=1$ ,  $a=1-b$ ; y reemplazando en la ecuación, se tiene:

$$b = \frac{P - A}{B - A} \quad y \quad a = \frac{P - B}{A - B}$$

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO:

**a)** Antes de realizar el ensayo se debe preparar la muestra, para lo cual se debe separar mediante cuarteo la cantidad necesaria hasta obtener una muestra representativa. Según la norma ASTM D 422 se obtendrá de la siguiente tabla:

Peso aprox. en función del tamaño máximo nominal

Tamaño Máximo Nominal de la Partícula		Peso mínimo aprox. de la Porción
mm	plg	Kg
9.5	3/8	0.5
25	1	2
50	2	4
75	3	5

Fuente: norma ASTM D422

Nuestro tamaño nominal de  $\frac{3}{4}$  plg tenemos alrededor de 5 Kg de material.

**b)** A continuación se lava el material para separar las partículas finas que pueden estar pegadas a las gruesas y para retirar la materia orgánica que puede contaminar el ensayo.

**c)** Verter el material lavado y secado en el juego de tamices previamente ensamblados y dispuestos, de arriba abajo, en orden decreciente de tamaños de abertura con el fondo y la tapa. El orden de los tamices a utilizar tanto para muestra de agregado grueso y fino es el siguiente:

### Tamizado manual por la serie de tamices



Fotografía 3.9

La planilla de resultados de laboratorio se presenta en el ANEXO II

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

**Tabla 3.4:** Resumen de resultados de granulometría grava, gravilla y arena

*Fuente:*

Peso Total (gr.)		Grava 400 gr	Gravilla 400 gr	Arena 400 gr
Tamices	tamaño (mm)	% que pasa del total	% que pasa del total	% que pasa del total
1"	25,4	100,00	100,00	-
3/4"	19,0	100,00	100,00	-
1/2"	12,5	72,13	100,00	100,00
3/8"	9,50	42,45	100,00	100,00
N°4	4,75	9,50	27,43	99,08
N°10	2,36	6,90	7,50	72,13
N°40	1,18	5,15	5,35	37,38
N°80	0,60	4,28	4,45	25,01
N°200	0,075	2,70	3,97	13,63
BASE	-	0,50	0,45	0,50

*Elaboración Propia*

## ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA

### (DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM D 2419)

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz N°4 (4.75 mm). El término “Equivalente de Arena” transmite el concepto que la mayoría de los suelos granulares y agregados finos son mezcla de partículas gruesas, arenas y generalmente finos.

Para determinar el porcentaje de finos en una muestra, se incorpora una medida de suelo y solución en una probeta plástica graduada que luego de ser agitada separa el recubrimiento de finos de las partículas de arena; después de un período de tiempo, se pueden leer las alturas de arcilla y arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

Este método proporciona una manera rápida de campo para determinar cambios en la calidad de agregados durante la producción o colocación.

## **PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

### 1. Reactivos, materiales y preparación de la Solución Madre:

- Reactivos y materiales
- Cloruro de calcio anhidro, 454 gr.
- Glicerina USP, 2050 gr (1640 ml)

#### Preparación

Disolver 454 gr. cloruro de calcio anhidro en 0.5 gal (1.9 lt) de agua destilada. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se pasa por papel de filtro. A la solución filtrada se le incorpora los 2050 gr de glicerina y 47 gr. de formaldehído mezclar bien.

### 2. Reactivos, materiales y preparación de la Solución de Trabajo:

- Reactivos y materiales
- Solución madre
- Agua destilada

#### Preparación

Diluir  $85 \pm 5$  ml al ras de la solución madre en 1 gal (3.8 lt) de agua destilada.

### 3. Preparación de la muestra

a. Separar aproximadamente 1500 gr de material que pase el tamiz N° 4 (4.75 mm)

Tener el cuidado de desmenuzar todos los terrones de material fino y limpiar cualquier cubierta de fino que se adhiere al agregado grueso; estos finos pueden ser removidos por secado superficial del agregado grueso y frotación entre las manos sobre un recipiente plano. Añádase este material a la porción fina de la muestra.

b. Para determinar la cantidad del material para el cuarteo

- Si fuera necesario, humedecer el material para evitar segregación o pérdida de finos durante el cuarteo. Tener cuidado al adicionar agua a la muestra, para mantener una condición de flujo libre de material.
- Usando el recipiente metálico de  $85 \pm 5$  ml de capacidad, saque cuatro medidas de muestra. Cada vez que se llene una medida golpear ligeramente, la parte inferior del recipiente sobre una superficie dura por lo menos cuatro veces.
- Registre la cantidad de material contenido en las cuatro medidas, ya sea por peso o volumen, de la probeta de plástico.
- Regrese el material a la muestra y proceda a separarla por cuarteo. Obtener la cantidad suficiente de muestra para llenar la medida.
- Secar el espécimen de ensayo a peso constante de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  y dejarlo enfriar a temperatura ambiente antes del ensayo.

c. Manteniendo la condición de flujo libre, humedecer lo suficiente el material para evitar segregación o pérdida de finos durante el cuarteo.

d. Separar por cuarteo entre 1000 y 1500 gr de material. Colóquelo en un recipiente y mezcle en forma circular hacia el centro, por un minuto, hasta obtener una mezcla uniforme.

e. Verificar las condiciones de humedad del material apretando con la mano una porción de material, si se forma una masilla que permite abrir la mano sin romperse, la mezcla tiene el rango correcto de humedad.

- Si la muestra está muy seca se desmoronará, debiendo adicionar agua; volver a mezclar y probar si se formó la masilla plástica.
- Si la muestra está muy húmeda deberá secarse al aire, mezclándola frecuentemente para asegurar uniformidad y ensayándola nuevamente.
- Si la humedad inicial se encuentra dentro de los límites arriba descritos, la muestra se puede ensayar inmediatamente. Si la humedad es diferente a los límites indicados, la muestra deberá ponerse en una vasija, cubriéndola con una toalla húmeda que no toque el material, por espacio de 15 min. como mínimo.
- Después de transcurrido el tiempo mínimo, re mezclar por 1 min. sin agua, formando un cono con el material, utilizando una paleta.
- Tome el recipiente metálico en una mano y presiónese contra la base del cono mientras se sostiene a éste con la mano libre.
- A medida que el recipiente atraviesa el cono manténgase suficiente presión en la mano para que el material lo llene por completo. Presiónese firmemente con la palma de la mano compactando el material hasta que éste se consolide, el exceso debe ser retirado y desechado, enrasando con la paleta a nivel del borde del recipiente.

#### 4. Preparación de Aparatos

- Ajustar el sifón a un botellón de 1.0 gal (3.8 lt) conteniendo la solución de trabajo de cloruro de calcio. Colocarlo en un anaquel ubicado a  $91 \pm 3$  cm sobre la mesa de trabajo.
- Soplar el sifón dentro del botellón con solución, por el tubo de purga y con la abrazadera abierta.

#### 5. Procedimiento

- Por el sifón verter  $102 \pm 3$  mm. de solución de trabajo de cloruro de calcio, en la probeta.
- Con ayuda del embudo verter en la probeta,  $85 \pm 5$  cm<sup>3</sup> del suelo preparado.

- Golpear la parte baja del cilindro varias veces con la palma de la mano para desalojar las posibles burbujas de aire y para humedecer completamente la muestra. Dejar reposar durante  $10 \pm 1$  min.
- Transcurridos los 10 min., tapar la probeta con un tapón; suelte el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo a la vez. El material puede ser agitado con cualquiera de los siguientes métodos:
  - Método manual
    - Sujetar la probeta en posición horizontal y sacudirla vigorosamente de izquierda a derecha.
    - Agitar el cilindro 90 ciclos en 30 segundos, usando un recorrido de  $23 \pm 3$  cm. Un ciclo se define como el movimiento completo a la derecha seguido por otro a la izquierda. El operador deberá mover solamente los antebrazos manteniendo el cuerpo y hombros relajados.
    - Concluida con la operación de agitación, colocar la probeta verticalmente sobre la mesa de trabajo y quitar el tapón.
  - Proceso de irrigación
    - el cilindro no deberá moverse de su posición vertical y con la base en contacto con la superficie de trabajo.
    - Introduzca el tubo irrigador en la parte superior de la probeta, suelte la abrazadera de la manguera y limpie el material de las paredes de la probeta mientras el irrigador baja.

El irrigador debe llegar hasta el fondo, aplicando suavemente una presión y giro mientras que la solución de trabajo fluye por la boca del irrigador, esto impulsa el material fino desde el fondo hacia arriba poniéndolo sobre las partículas gruesas de arena.

- Cuando el nivel del líquido alcance la señal de los 38 cm, levante el tubo irrigador despacio sin que deje de fluir la solución, de tal manera que el nivel se mantenga cerca de 38 cm mientras se saca el tubo. Regule el flujo justo antes que el tubo esté completamente fuera y ajuste el nivel final a los 38 cm.

- Lectura de arcilla.
  - Dejar reposar durante 20 min.  $\pm$  15 s. Comience a medir el tiempo luego de retirar el tubo irrigador.
  - Al término de los 20 min., leer el nivel superior de la suspensión de arcilla. Este valor se denomina *lectura de arcilla*. Si la línea de marca no es clara transcurridos los 20 min. Del período de sedimentación, permita que la muestra repose sin ser perturbada hasta que una lectura de arcilla pueda ser claramente obtenida; inmediatamente, lea y anote el nivel máximo de la suspensión arcillosa y el tiempo total de sedimentación. Si el período total de sedimentación excede los 30 min., efectúe nuevamente el ensayo, usando tres especímenes individuales de la misma muestra. Registre la lectura de la columna de arcilla para la muestra que requiere el menor tiempo de sedimentación como *lectura de arcilla*.
  
- Lectura de arena.
  - Después de la lectura de arcilla, introduzca en la probeta el ensamblaje del pie (conjunto del disco, varilla y sobrepeso) y baje lentamente hasta que llegue sobre la arena. No permitir que el indicador golpee la boca de la probeta mientras se baja el conjunto.
  - Cuando el conjunto toque la arena con uno de los tornillos de ensamblaje hacia la línea de graduación de la probeta, lea y anote. Restar 25.4 cm. del nivel indicado en el borde superior del indicador y registrar este valor como la lectura de arena.
- Después de tomar la lectura de arena, tenga cuidado de no presionar con el pie porque podría dar lecturas erróneas.
- Si las lecturas de arcilla y arena están entre 2.5 mm de graduación (0.1”), registrar el nivel de graduación inmediatamente superior como lectura.

**Pesaje de la muestra sin lavar y vertido de la solución**



**Fotografía 3.10**

**Colocado de la muestra dentro de la probeta**



**Fotografía 3.11**

**Muestra en reposo por 20 min.**



**Fotografía 3.12**

**Obtención de las lecturas  $H_1$  y  $H_2$**



**Fotografía 3.13**

**CÁLCULO E INFORME**

1. Calcule el equivalente de arena con aproximación a 0.1% como sigue:

$$SE = \frac{\text{Lectura arena}}{\text{lectura arcilla}} \times 100$$

**La planilla de resultados de laboratorio se presenta en el ANEXO II**

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

**Tabla 3.5:** Resumen de resultados de Equivalente de Arena

N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de Arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	9,8	19,00	51,58
2	10,5	20,3	51,72
3	10,3	19,50	52,82
Promedio			52

Equivalente de Arena (%)	NORMA
--------------------------	-------

52	> 50%
----	-------

*Fuente: Elaboración Propia*

## **ENSAYO PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM C-127)**

La gravedad específica del agregado es necesaria para determinar el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas compactadas. Por definición, la *gravedad específica* de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23°C (73.4°F). La ecuación usada es:

$$gravedad\ específica = \frac{peso}{volumen * peso\ específico}$$

Cuando se trabaja en el SI, el peso específico del agua es 1.0gr/cm<sup>3</sup>, convirtiendo la ecuación de la gravedad específica en:

$$gravedad\ específica = \frac{peso}{volumen}$$

### **PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO:**

La muestra a ser evaluada se satura y pesa en su condición saturada superficialmente seca:

1. Aproximadamente 5 kg. De material retenidos en la malla N°4 (4.75 mm) se lava y seca hasta que alcance peso constante.

### **Pesaje del material retenido en el tamiz N° 4**



**Fotografía 3.14**

2. La muestra seca se sumerge por 24 horas en agua.
3. Los agregados se sacan del agua y secan superficialmente con ayuda de una toalla.

**Secado superficial de la muestra saturada 24 hrs antes****Fotografía 3.15**

4. Se obtiene el peso de la muestra en su condición superficialmente seca.
5. La muestra saturada superficialmente seca se coloca en una cesta de alambre y se determina el peso de la muestra sumergido en agua.

**Obtención del peso sumergido****Fotografía 3.16**

6. La muestra se seca al horno hasta obtener peso constante.

### Secado de la muestra en el horno



**Fotografía 3.17**

7. La gravedad específica se calcula según:

A = peso en el aire del agregado seco al horno

B = peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco

C = peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua

$$\text{gravedad específica seca aparente, } G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{gravedad específica seca de bulk, } G_{sb} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{gravedad específica saturada superficialmente seca bulk, } G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{absorción(\%)} = \frac{(B - A) * 100}{A}$$

**La planilla de resultados de laboratorio se presenta en el ANEXO II**

**ENSAYO PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO  
(DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM C-128)**

El método es como sigue:

1. Aproximadamente 1000 gr. de agregado fino se seca a peso constante.
2. Se sumerge el material por 24 horas en agua.
3. La muestra se extiende en una superficie plana y se expone a una corriente de aire caliente.
4. La condición saturada superficialmente seca se alcanza cuando el material cae al invertirse el cono en el que la muestra del material fue suavemente compactada.
5. Aproximadamente 500 gr. del material en la condición saturada superficialmente seca se colocan en un matraz que se llena con agua y se eliminan los aires atrapados.
6. El agregado se saca del matraz, se seca al horno a peso constante
7. La gravedad específica se calcula de la siguiente manera:

A peso en el aire del agregado seco al horno

B peso del matraz (picnómetro) con agua

C peso del matraz (picnómetro) con el agregado y agua hasta la marca

D Peso del material saturado superficialmente seco (500+10 gr)

$$\text{gravedad específica seca aparente, } G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{gravedad específica seca bulk, } G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$$

$$\text{gravedad específica sat. sup. seca bulk, } G_{ssb} = \frac{D}{B + D - C}$$

$$\text{absorción(\%)} = \left( \frac{D - A}{A} \right) * 100$$

### Objetivo

Este método de ensayo cubre la determinación de la medida la densidad de una cantidad de partículas de agregado fino, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado fino según ASTM C128-12.

**PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO:**

a) Previo a la realización del ensayo, se debe pesar una muestra de 500 gr, la cual debió haber sido lavado y secado.

**Lavado del material que pasa por el tamiz N°4**

**Fotografía 3.18**

**Muestra sumergida en agua por 24 hrs.**



**Fotografía 3.19**

**Secado superficial con secadora**



**Fotografía 3.20**

**Verificación de la condición muestra saturada con superficie seca**



**Fotografía 3.21**

- b)** Pesar el picnómetro vacío en una balanza de precisión de  $\pm 0.1$  gr.
- c)** Llenar el picnómetro con agua destilada hasta la marca de aforo y pesar la misma en una balanza de precisión.
- d)** Retirar el agua del picnómetro tratando que no queden residuos de la misma, seguido colocamos la muestra de agregado dentro del picnómetro con la ayuda de un embudo.
- e)** A continuación se vierte agua dentro del picnómetro hasta que esta cubra la tercera parte del mismo.

**Vertido de la muestra al matraz**



**Fotografía 3.22**

**Peso de la muestra más agua**



**Fotografía 3.23**

**Obtención del peso de la muestra seca**



**Fotografía 3.24**

**La planilla de resultados de laboratorio se presenta en el ANEXO II**

**RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:**

**Tabla 3.6:** Resumen de resultados de peso específico de la grava y arena

<b>AGREGADO</b>	<b>P. E. A GRANEL (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>P. E. APARENTE (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>% DE ABSORCIÓN</b>
GRAVA	<b>2,52</b>	<b>2,57</b>	<b>2,65</b>	<b>1,82</b>
ARENA	<b>2,575</b>	<b>2,616</b>	<b>2,684</b>	<b>1,567</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

## **ENSAYO DESGASTE LOS ÁNGELES**

### **(DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM C-131)**

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo deformación, la carga de la rueda es transmitida del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

Por esta razón los agregados que están en, o cerca de la superficie, como son los materiales de base y carpeta asfáltica, deben ser más resistentes que los agregados usados en capas inferiores, como la sub base, de la estructura del pavimento, la razón

se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito.

Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas.

El ensayo de desgaste de Los Ángeles, ASTM C-131 (para agregados menores de 1 ½”), mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o abrasión.

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½”), por medio de la máquina de Los Ángeles.

## OBJETIVO

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½”), por medio de la máquina de Los Ángeles.

## PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:

Tabla de pesos del agregado grueso y N° de esferas para el Desgaste de los Ángeles.

GRADACIÓN		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	

N°4	N°8				5000±10
<b>PESO TOTAL</b>		<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
N° DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACION		30	15	15	15

*Fuente: Norma ASTM, C131.*

### PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. La muestra llegada al laboratorio deberá ser identificada. Para muestras cuyo tamaño máximo sea menor a 1 ½” o mayor a ¾” es el mismo.
2. El material deberá ser lavado y secado en horno a temperatura constante de 105-110°C, y el tamizado según las mallas que se indican. Mezclar las cantidades que el método indique según la tabla anterior.
3. Pesar la muestra precisión de 1 gr. y 5 gr. Para tamaños máximos de 1 ½” y ¾” respectivamente.
4. Introducir la muestra de ensayo junto con la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles, cerrar la tapa del cilindro.

#### Colocado de la muestra en la máquina de Los Ángeles con el N° de esferas correspondiente





**Fotografía 3.25**

5. Activar la máquina, regulándose el número de revoluciones indicado por el método.

**Muestra después del ensayo en la máquina de Los Ángeles**



**Fotografía 3.26**

6. Finalizado el tiempo de rotación, se retiran las cargas y el material. Se tamiza por la malla N° 12.

7. El material retenido en el tamiz N°12 se lava y seca en horno, a una temperatura constante entre 105° a 110°C. pesar la muestra seca.

**Pesaje de la muestra retenida en el tamiz N°12, después del lavado y secado en el horno**



**Fotografía 3.27**

**CÁLCULOS**

El porcentaje de desgaste es la relación entre el material que pasa el tamiz N° 12 y el peso inicial.

$$\% \text{ desgaste} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{final}} \times 100$$

**La planilla de resultados de laboratorio se presenta en el ANEXO II**

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

**Tabla 3.7:** Resumen de resultados de desgaste los ángeles

AGREGADO	MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
	A	-	-	-	35% MAX
GRAVA	B	5000	3615	27,70	35% MAX
	C	-	-	-	35% MAX
	D	-	-	-	35% MAX

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.3. DOSIFICACION DE LA MEZCLA

La mezcla asfáltica utilizada en la construcción del tramo en estudio ha sido diseñada con el método Marshall, que después de realizar los ensayos y pruebas de estabilidad de la mezcla se pudo llegar a obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para la elaboración de la mezcla.

El porcentaje de asfalto óptimo que fue encontrado por el método Marshall, ha sido de 5.8%, porcentaje que fue empleado en la confección de la mezcla asfáltica.

En cuanto a los materiales granulares la composición porcentual que se utilizó en la mezcla asfáltica, es la siguiente:

- Grava triturada 3/4" a 3/8" de Iscayachi en 27%.
- Grava triturada denominada intermedia 3/8" a 3/16" de Calama en 16%.
- Arena triturada 3/16" a 0 en 34%, de Calama 50% y de Iscayachi 50%.
- Arena lavada menor a 3/8" de Iscayachi en 23%.

La faja de temperatura de la mezcla asfáltica está comprendida entre 161.2°C a 169.2°C y la faja de temperatura de compactación de la mezcla asfáltica está comprendida entre 150°C a 161.2°C, según datos obtenidos de la gráfica de temperatura de mezcla y compactación.

El diseño Marshall tiene los siguientes valores según las especificaciones técnicas propuestas:

<b>DISEÑO MARSHALL</b>	<b>ESPECIFICACION TECNICA</b>
• Estabilidad, 5310 lb.	> 1500 lb.
• Fluencia, 14 por 1/100"	8 a 18 (1/100")
• Porcentaje de vacíos, 4%	3% a 5%
• Relación Betumen vacíos 77.6%	75% a 80%

### **3.4. EVALUACION DE LA FISURACION INVERTIDA TRANSVERSAL Y ESTABILIDAD EN EL TRAMO DE ESTUDIO**

#### **3.4.1. CONDICIONES DE EVALUACIÓN**

Se procedió a la evaluación con la inspección superficial del tramo en estudio con el objeto de determinar estado en que se encuentra el pavimento después de más de 5 años que se abrió al tráfico vehicular.

Debido a que este tramo es parte de la ruta N°1 de la red fundamental del sistema nacional circulan vehículos de alto tonelaje que en el momento de aplicación de la carga tanto de bajada como así también al subir por la variante falda de la Queñua, se producen tensiones de tracción horizontales cerca del fondo de la capa asfáltica.

Evidentemente, el material en esa zona debe ser muy resistente, con suficiente resistencia a tracción para soportar las tensiones de tracción aplicadas por los camiones de carga que circulan por la vía. Dicho material debe ser capaz de resistir, sin fisurarse, muchas cargas a niveles de tensión mucho menores que la resistencia a tracción.

La evaluación de la mezcla y de sus propiedades por la cohesión y el rozamiento interno es indispensable en este tramo que se está estudiando, ya que dará un valor de estabilidad y de deformación. Como así también hay que considerar, la resistencia a la rotura, y las deformaciones plásticas.

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura a la cual está expuesta la carretera, es en este contexto que el tramo estudiado está sometido temperaturas bajo cero en las madrugadas más que todo en la temporada de invierno, cabe mencionar que las cargas que se aplican al pavimento son lentas debido a que los camiones de carga de alto tonelaje que bajan por la variante falda de la Queñua, bajan a una velocidad muy reducida aumentando el tiempo de la aplicación de la carga sobre el pavimento.

Una de las condiciones fundamentales que tienen que tener las rutas principales y todas en general, es una buena calidad de transitabilidad, la capa de rodamiento depende de su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción, dependen también de aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios como:

- La adherencia del neumático al firme.
- Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
- El desgaste de los neumáticos.
- El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
- La comodidad y estabilidad en marcha.
- Las cargas dinámicas del tráfico.

- La resistencia a la rodadura (consumo de carburante).
- El envejecimiento de los vehículos.

Estos aspectos funcionales del firme están principalmente asociados con la textura y la regularidad superficial del pavimento asfáltico, y que deben estar en un buen estado para garantizar el confort de la misma ya que al ser parte de la ruta fundamental del sistema vial nacional de carreteras se convierte en una ruta muy solicitada al tráfico.

Como resumen, se puede decir que para evaluar las buenas condiciones del pavimento asfáltico, en general, hay que analizar las propiedades de la estabilidad, la durabilidad y la resistencia a la fatiga.

El recorrido se efectuó en un vehículo que se encuentra en óptimas condiciones de servicio, se tomó todas las medidas de seguridad como ser las señales adecuadas para indicar su operación a baja velocidad, así también cuando el vehículo se encuentre detenido y evitar accidentes.

Se procedió a la evaluación solamente durante el día para aprovechar la luz natural, y de esta manera poder apreciar las fisuras invertidas transversales y el estado de la vía.

Los horarios de trabajo se programaron de tal forma que evite en lo posible las malas condiciones atmosféricas como ser lluvias, neblina y la excesiva radiación solar, para poder proceder de esta manera a la evaluación del tramo en estudio.

Desde el lugar denominado La Aguada con la progresiva 002+030 hasta la progresiva 020+000 se realizó la extracción de placas que presentaban fisuras invertidas transversales, para su posterior extracción de núcleos en el laboratorio. Para la extracción de los núcleos que no presentan fallas de fisuración invertida transversal que se encuentran entre la interface de las fisuras invertidas, se realiza el mismo procedimiento de extracción que se indica anteriormente.

### **Extracción de placas de pavimento**



### Fotografía 3.28

Este punto en particular cuenta con una topografía con fuertes pendientes, en el cual existe un arroyo de cauce natural, por lo que se ha construido en la progresiva 2+363.4 una alcantarilla de paso tipo cajón (ATCA 1C 1.5x1.5), la superficie de rodadura en este tramo está a una altura de 3015 msnm. debido a su altitud en esta zona se registran fuertes vientos fríos y en la temporada de invierno el tramo se encuentra cubierto de neblina por uno o varios días, dificultando la visibilidad de la vía, y por las noches la temperatura desciende drásticamente alcanzando temperaturas bajo cero.

En el registro de datos del lugar se utilizaron varios equipos de medición los cuales se muestran a continuación:

- **Cámara fotográfica**



- **Equipo GPS**



- **Cinta métrica y regla**



- **Extractor de núcleos**



- **Equipo Marshall**



### **3.4.2. ELEMENTOS DE EVALUACION**

Para la evaluación del tramo se consideraron diversos elementos, los cuales pueden evaluarse de acuerdo a su importancia en la función de proporcionar un servicio eficiente y sobre todo protección y seguridad a la vía.

#### **➤ ELEMENTO CAPA DE RODADURA**

La capa de rodadura en estudio tiene la función de proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir uniformemente las cargas del tráfico a las capas inferiores.

En el tramo de estudio se tiene que considerar dos aspectos fundamentales que se han realizado en el diseño del proyecto como:

- La Función Resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que se han empleado en su construcción.
- La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del firme, para que resulten seguras y confortables.

La superficie de rodadura se evaluó utilizando el método de inspección visual para identificar los lugares donde se presentan fallas sobre las fisuras invertidas transversales, cuantificando el porcentaje de incidencia, severidad y su magnitud del agrietamiento que se encuentran presentes a lo largo de la variante de la falda de la Queñua.

### Fisuras invertidas transversales



**Fotografía 3.29**

Se pudo apreciar durante el recorrido por el tramo en estudio, que desde la progresiva 002+000 hasta la progresiva 015+000 se presentan la mayor cantidad de fisuras invertidas transversales, de las cuales se tomaron datos como las dimensiones y el porcentaje de fisuras invertidas del lugar.

Cabe mencionar que la mayor parte de estas fisuras invertidas fueron reparadas con ligante asfáltico o sello asfáltico, dicho trabajo aún se encuentra en ejecución por la empresa constructora a cargo de la construcción del tramo, para impedir que entre agua a las capas inferiores y evitar de esta manera la destrucción de vía.

La carpeta asfáltica después de su construcción, ha sido recapada en varios tramos con una capa de mezcla asfáltica fina de 1 cm. de espesor, para evitar fallas de agrietamiento, por la gran fuerza de fricción que producen al frenar los camiones de alto tonelaje al bajar por la variante de la falda de la Queñua.

### ➤ ELEMENTOS DE DRENAJE

Los sistemas de drenaje del tramo en estudio funcionan eficientemente, una de las características del buen funcionamiento, tiene que ver con las fuertes pendientes que hay en la zona, causando de esta manera una alta velocidad de escurrimiento del agua que es lo que eleva la fuerza de arrastre del material de sedimentos.

Se evaluó el sistema de drenaje de la carretera tanto los drenajes superficiales, como las cunetas laterales, cunetas de coronación así también las alcantarillas de paso, que son de gran importancia para la protección de la carretera y evitar daños que destruyan la carretera.

En la evaluación se pudo ver que las cunetas laterales son las que más mantenimiento de limpieza requiere debido a que cae mucho material solido que se desprenden de las laderas.

#### **Cuneta lateral**



**Fotografía 3.30**

#### **Alcantarilla de paso**



**Fotografía 3.31**

➤ **ELEMENTOS DE ESTABILIDAD DE LA CARPETA ASFÁLTICA**

Dependiendo de su cantidad en la mezcla, el asfalto puede actuar como un ligante o como un lubricante. Por lo tanto, la estabilidad de una mezcla aumenta con un incremento en el porcentaje de asfalto hasta alcanzar un máximo, después del cual disminuye. El efecto del porcentaje de asfalto varía con el tipo de agregado y en algunos casos es mucho más crítico que en otros.

La estabilidad de la carpeta asfáltica es una propiedad fundamental que debe tener muy en cuenta para el control y calidad de misma. Los factores que intervienen en la estabilidad de la carpeta asfáltica como ser: el tipo y contenido de ligante asfáltico, la composición y características de los agregados pétreos, contenido de vacíos en la mezcla asfáltica, la relación filler/asfalto, cargas por eje equivalente, la temperatura y sobre todo la compactación de la mezcla asfáltica, son factores que determinan la buena calidad de la carpeta asfáltica.

Con la ayuda de documentación sobre el diseño, y los resultados de laboratorio de los materiales, con esta información de las características se procederá a evaluar la

estabilidad que tiene la carpeta asfáltica realizando una prueba de ensayo Marshall, para conocer su fluidez y la estabilidad de la mezcla asfáltica en condiciones actuales.

#### **Muestras de la carpeta asfáltica con fallas de fisuración invertida**



**Fotografía 3.32**

#### **Muestras de la carpeta asfáltica sin fallas de fisuración invertida**



**Fotografía 3.33**

### **3.4.3. PROCESO DE EVALUACION DE LA FISURACION INVERTIDA TRANSVERSAL**

Una vez realizada la ubicación del tramo en estudio y conocidas sus características del lugar, se procedió a realizar una inspección visual a nivel de la calzada y zonas laterales de la vía, donde se pudo apreciar en diferentes tramos la presencia de muchas fallas sobre las fisuras invertidas transversales, durante el recorrido se contaron el número de fisuras aproximadas para determinar el porcentaje y su severidad de fisuras que hay en el tramo Cruce San Lorenzo – Cruce San Lorencito.

Se inspecciono una unidad de muestreo y se midió el tipo, la cantidad y la severidad de la fisura invertida transversal, se eligieron varios sub tramos de 1 Kilometro, y se evaluaron 100 metros de cada sub tramo y se tomó el registró de la información correspondiente, analizando a su vez el drenaje y la topografía del lugar.

Para conocer la profundidad de la fisura se han extraído placas de la carpeta asfáltica con fallas de fisuración invertida transversal presentes en la misma, y se realizó la extracción de núcleos en el laboratorio.

Una vez extraída la briqueta con el extractor de núcleos, se procedió a tomar los datos sobre la profundidad de la fisura invertida transversal, la altura del núcleo y su distribución de agregados de la mezcla asfáltica.

### **Evaluación de las fisuras invertidas transversales**



### **Fotografía 3.34**

Se tomó todas las medidas de seguridad junto con el equipo de inspección, para su desplazamiento en el la vía como también para los tramos donde se detuvo el vehículo, estas medidas de seguridad son dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo cuando está parado o en movimiento.

Utilizando los equipos necesarios para la evaluación se inspecciono el tramo de estudio, tomando fotografías de las fisuras invertidas transversales, y muestras de la carpeta asfáltica, con la ayuda de una regla y un metro se pudo tomar las medidas de las fisuras presentes en el tramo para su posterior análisis en gabinete.

#### **3.4.4. EVALUACION DE LA ESTABILIDAD MARSHALL**

Para realizar la evaluación de la estabilidad se procedió a analizar los efectos que producen las propiedades características de los materiales en la estabilidad de la mezcla como ser:

##### **➔ EFECTO DEL ASFALTO EN LA ESTABILIDAD**

La estabilidad de la mezcla depende de los porcentajes de asfalto que se utilizó para mezclar los agregados, la estabilidad de la mezcla esta en función del porcentaje de asfalto, el porcentaje optimo que en este caso es de 5.8%. El efecto del porcentaje de

asfalto varía con el tipo de agregado y en algunos casos es mucho más crítico que en otros.

## ➔ EFECTO DEL AGREGADO MINERAL EN LA ESTABILIDAD

### TAMAÑO MÁXIMO DE LOS AGREGADOS

Generalmente cuando el tamaño del agregado aumenta, la estabilidad aumenta. Por razones de trabajabilidad y apariencia superficial, el tamaño máximo de agregado que se utilizó en la carpeta asfáltica del tramo en estudio no supera el de  $\frac{3}{4}$  de pulgada.

### TIPO DE AGREGADO

Los materiales granulares utilizados en la construcción del tramo cruce San Lorenzo – cruce San Lorencito tienen una superficie áspera y bordes duros que hace que la mezcla tenga mayor estabilidad.

El tipo de arena y su cantidad, son los factores más importantes que afectan la estabilidad de la mezcla asfáltica. Es por esta razón que los materiales utilizados en la construcción del tramo en estudio son sometidos a pruebas de laboratorio para ver si cumplen con las características requeridas.

### LLENANTE MINERAL (FILLER)

Este material no arcilloso que pasa el tamiz No. 200 se incorpora a la mezcla con el fin de aumentar la estabilidad, y disminuir el porcentaje de asfalto necesario para obtener un determinado porcentaje de vacíos en la mezcla. Es suficiente una cantidad muy pequeña para aumentar la estabilidad, mientras el índice de flujo permanece prácticamente constante. Una pequeña cantidad de llenante mineral, puede reducir el contenido óptimo de asfalto. El llenante mineral es un factor importante que afecta a la durabilidad, por esta razón se debe controlar estrictamente su cantidad y su calidad.

## PORCENTAJE DE VACÍOS

El porcentaje de vacíos en la mezcla compactada, es lo suficientemente bajo para prevenir infiltraciones de agua en todo el tramo estudiado, pero también es suficientemente alto, para proveer espacios para un aumento de su densidad y para la expansión ocasionada por los asensos y descensos de temperatura que se registran en la zona. Se considera satisfactorio un porcentaje de vacíos entre 3 y 5%, de los resultados de laboratorio se puede ver que el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica usada en tramo de estudio es de 3,78 % que está dentro de los límites de los porcentajes de vacíos.

Esta disminución de porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica produce una disminución de la porosidad y en consecuencia una disminución de la penetrabilidad del aire y del agua en el pavimento. Lo que significa que la oxidación es más lenta en el asfalto, es decir, una mayor durabilidad, y también genera una menor posibilidad de que se pongan en contacto las fases agua-asfalto-agregado, con lo que se retarda la posibilidad de desintegración del pavimento por la acción del agua, que produce el desprendimiento de la película de asfalto del agregado.

### ➤ EFECTO DE LA DENSIDAD DE LA MEZCLA EN LA ESTABILIDAD

La densidad de la mezcla afecta a la mayoría de las pruebas de estabilidad, sin embargo la estabilidad máxima no ocurre siempre a la densidad máxima determinada antes de la prueba. Un estado más denso puede ocurrir durante la aplicación de la carga, o el porcentaje de asfalto correspondiente a la densidad máxima puede tener un gran efecto lubricante. Además, las temperaturas a las cuales se determinan la densidad y la estabilidad, generalmente, no son iguales.

#### Efecto de la densidad en la prueba Marshall

No. de golpes	Gravedad específica	% de vacíos	% de vacíos en el agregado mineral	Estabilidad (lb)	Índice de Flujo 0,01”
25	2.,382	5,1	17,1	1425	18
50	2,396	4,6	16,6	2300	14,5
75	2,437	2,9	15,2	2300	14
25	2,395	1,5	13,8	1550	20,5
50	2,422	0,4	12,8	1750	19,5
75	2,433	0	12,4	1500	22,5

Fuente: The Asphalt Institute's, Manual (MS-2).

Una vez extraídos los núcleos de la carpeta asfáltica del tramo en estudio se midió su espesor de su espesor del núcleo que fue aproximadamente 6,52 cm, la profundidad promedio de la fisura invertida transversal fue de 1,62 cm y su distribución granulométrica bien graduada y uniformemente distribuida que se puede apreciar cuando se realiza la extracción de los núcleos del pavimento asfáltico.

#### Núcleos de muestra del tramo en estudio con fallas de fisuración invertida



Fotografía 3.35

### Medición de los núcleos con fallas de fisuración invertida



Fotografía 3.36

### Núcleos de muestra del tramo en estudio sin fallas de fisuración invertida



Fotografía 3.37

### Medición de los núcleos con fallas de fisuración invertida



**Fotografía 3.38**

Una vez registrados los datos de las medidas de las dimensiones de los núcleos, profundidad de fisura y grado de severidad, se procede a la realización de la prueba de estabilidad Marshall para determinar la estabilidad y fluencia que presenta la mezcla en condiciones actuales bajo la falla de fisuración invertida transversal, para dicha se procede de la siguiente manera:

- Calibrar el cero del flujómetro, previamente montado sobre uno de los guidores, y luego de insertar la mordaza debajo del pivote.
- Sumergir la briqueta en baño de agua o baño maría a 60 °C (140 °F), durante 30 a 40 minutos.
- Limpiar las guías y la superficie interior del anillo de prueba y lubricar las guías para garantizar que el segmento superior del anillo se deslice libremente sobre ellas. La temperatura de la mordaza debe mantenerse a una temperatura de 21 a 37,8 °C (70 a 100 °F), utilizando el baño de agua, si fuese necesario para precalentar las mordazas.

- Se saca la muestra del baño de agua, se coloca en la parte inferior de la mordaza, luego se inserta la parte superior de la misma. Se centra el conjunto en el dispositivo de carga y se coloca el medidor de flujo sobre el guiador superior de la mordaza.
- Aplicar la carga de ensayo a la muestra a una velocidad de deformación constante de 51 mm/min (2 pulg/min), hasta que ocurra la falla. El punto de falla se define como la carga máxima que puede soportar la carpeta asfáltica. El número total de libras necesario para producir la falla de la muestra se define como el valor de la estabilidad Marshall. La deformación vertical del espécimen producida por la carga, es el valor del Flujo (fluencia).
- Durante el ensayo de estabilidad, su debe sujetar firmemente el medidor de flujo en su posición sobre el guiador, y retirar en el instante mismo que la carga empieza a decrecer, se anota el valor de flujo en unidades de 0,25 mm (0.01”). Por ejemplo si la muestra se deforma 3,8 mm (0,15”), su fluencia será 15.
- Se promedian los valores de estabilidad y flujo para todas las muestras extraídas del tramo de estudio para un contenido de asfalto de 5.8%.

En el momento de realizar las pruebas de estabilidad y fluencia, las briquetas no deben tardar mucho tiempo fuera del baño maría, el tiempo que se permite para llevar el núcleo desde el baño de agua hasta las mordazas para realizar la prueba de estabilidad no debe ser mayor a 30 segundos, de lo contrario la muestra disminuirá la temperatura afectando a la prueba de estabilidad y fluencia.

#### Baño maría a 60°C





**Fotografía 3.39**

Para la realización de la prueba de estabilidad Marshall se colocó las briquetas en una posición de tal manera que las fisuras invertidas queden en forma vertical, ya que es la condición más crítica de la se puede someter la muestra que se está analizando.

### **Ensayo de estabilidad Marshall**





**Fotografía 3.40**

### 3.5. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACION

Resultados del ensayo Marshall realizado al asfalto que presenta fallas de fisuración, con un porcentaje de muestras representativas del tramo en estudio.

**Tabla 3.8:** Resumen de resultados del ensayo Marshall

N°	Progresiva	Estabilidad Marshall		Fluencia	Vacíos
		Lectura Real (Kg)	Estabilidad	Flujo	% de vacíos
			(lbs)	1/100*	(%)
1	002+030	549,3096	1211	19	3,59
2	002+045	554,2992	1222	19	3,62
3	005+000	572,8968	1263	19	3,62
4	005+020	582,4224	1284	18,5	3,62
5	005+025	582,876	1285	18	3,65
6	005+030	585,144	1290	18	3,69
7	006+000	587,412	1295	18	3,70
8	006+005	587,8656	1296	18	3,70
9	006+015	588,7728	1298	18	3,70
10	008+000	593,3088	1308	18	3,74

11	008+005	593,7624	1309	17,5	3,75
12	009+000	596,0304	1314	17	3,76
13	009+005	596,484	1315	17	3,78
14	009+010	597,8448	1318	17	3,78
15	010+000	601,4736	1326	17	3,79
16	010+200	607,824	1340	17	3,79
17	011+000	615,5352	1357	17	3,79
18	011+010	619,164	1365	17	3,79
19	011+025	625,5144	1379	17	3,81
20	011+030	626,8752	1382	17	3,82
21	011+040	632,3184	1394	16,5	3,83
22	012+000	635,9472	1402	16,5	3,85
23	012+015	640,4832	1412	16	3,86
24	015+000	645,4728	1423	16	3,87
25	016+000	662,7096	1461	16	3,88
26	016+005	663,1632	1462	16	3,88
27	017+000	671,328	1480	16	3,91
28	018+000	672,6888	1483	15,5	3,92
29	019+000	676,3176	1491	15	3,93
30	020+000	678,132	1495	15	3,93

*Fuente: Elaboración propia*

Este es el resumen de los resultados obtenidos de la estabilidad y fluencia del ensayo realizado al asfalto que no presenta fallas de fisuración invertida transversal.

**Tabla 3.9:** Resumen de resultados del ensayo Marshall

N°	Progresiva	Estabilidad Marshall		Fluencia	Vacíos
		Lectura Real (Kg)	Estabilidad (lbs)	Flujo	% de vacíos
				1/100*	(%)
1	002+500	1047,3624	2309	19,3	3,65
2	004+500	1050,0840	2315	19,2	3,62
3	005+300	1051,8984	2319	19,2	3,75
4	007+600	1052,8056	2321	18,9	3,74
5	009+200	1054,6200	2325	18,8	3,79
6	011+500	1055,5272	2327	18,7	3,86
7	013+600	1055,9808	2328	18,6	3,85
8	017+300	1055,9808	2328	18,7	3,86

9	019+200	1056,4344	2329	18,4	3,88
10	022+100	1057,3416	2331	18,3	3,87

*Fuente: Elaboración propia*

Después de realizada la inspección visual del tramo en estudio se puede dar a conocer la cuantificación y valoración de fisuras invertidas transversales que se presentan en el tramo cruce San Lorenzo – cruce San Lorencito, como se muestra a continuación:

**Tabla 3.10:** Resumen de resultados del número de fisuras invertidas

Nº	Fecha	Progresiva	numero de fisuras	observaciones
1	15/09/16	00+320	0	En todo el trayecto que comprende el cruce San Lorencito hasta la entrada al túnel no se registran fisuras invertidas trasversales cuantitativas
2	15/09/16	00+360	2	
3	15/09/16	00+400	0	
4	15/09/16	00+440	1	
5	15/09/16	00+480	0	
6	15/09/16	00+520	0	
7	15/09/16	00+560	0	
8	15/09/16	00+600	0	<b>Túnel de 0+610 a 2+030</b>
9	15/09/16	002+030		
10	15/09/16	002+030	9	
11	15/09/16	003+000		
12	15/09/16	003+000	11	

13	15/09/16	004+000			
14	15/09/16	004+000	13		
15	15/09/16	005+000			
16	15/09/16	005+000	14		
17	15/09/16	006+000			
18	15/09/16	006+000	29	En este sub tramo es donde se presentan el mayor número de fallas sobre las fisuración invertida transversal	
19	15/09/16	007+000			
20	15/09/16	007+000	28		
21	15/09/16	008+000			
22	15/09/16	008+000	38		
23	15/09/16	009+000			
24	15/09/16	009+000	33		
25	15/09/16	010+000			
26	15/09/16	010+000	35		
27	15/09/16	011+000			
28	15/09/16	011+000	23		
29	15/09/16	012+000			
30	15/09/16	012+000	25		
31	15/09/16	013+000			

32	15/09/16	013+000	17	
33	15/09/16	014+000		
34	15/09/16	014+000	18	
35	15/09/16	015+000		
36	15/09/16	015+000	10	
37	15/09/16	016+000		
38	15/09/16	016+000	17	
39	15/09/16	017+000		
40	15/09/16	017+000	11	
41	15/09/16	018+000		
42	15/09/16	018+000	24	
43	15/09/16	019+000		
44	15/09/16	019+000	12	
45	15/09/16	020+000		
46	15/09/16	020+000	9	
47	15/09/16	021+000		
48	15/09/16	021+000	13	
49	15/09/16	022+000		
50	15/09/16	022+000	22	
51	15/09/16	023+000		
52	15/09/16	023+000	1	
53	15/09/16	024+000		
54	15/09/16	024+000	2	
55	15/09/16	025+000		

56	15/09/16	025+000	0	
57	15/09/16	026+000		
58	15/09/16	026+000	0	
59	15/09/16	027+000		
60	15/09/16	027+000	0	<b>PUENTE CALAMA</b>
61	15/09/16	027+700		
Cantidad aproximada de fisuras invertidas			417	

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.6. ANALISIS DE RESULTADOS DEL TRAMO**

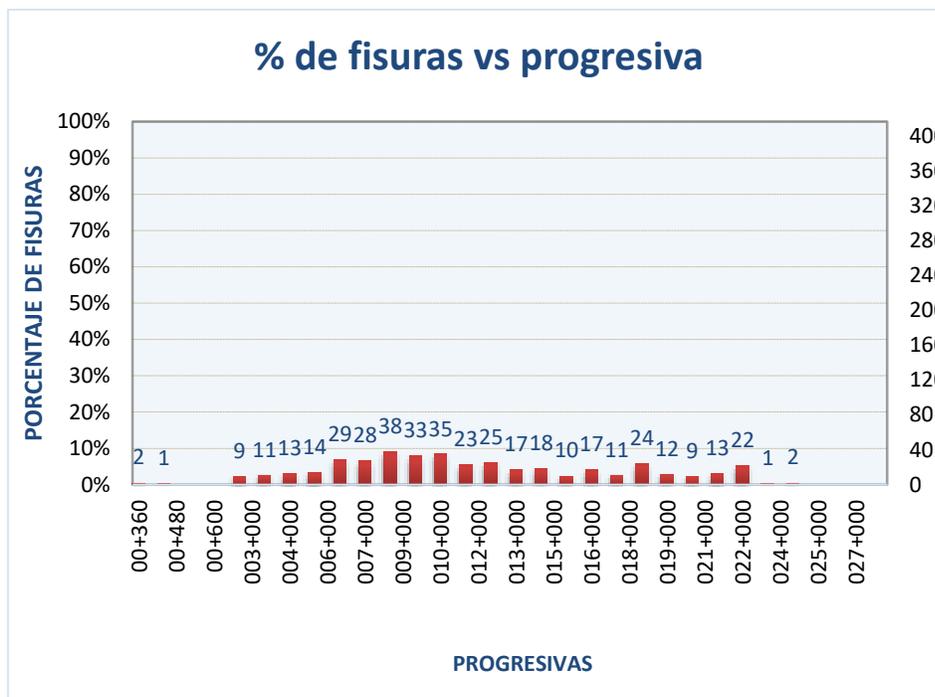
La ubicación del tramo de aplicación para este estudio fue la Variante falda de la Queñua que se encuentra ubicada en la carretera que une Tarija – Potosí. Se eligió este tramo porque después del poco tiempo que fue puesta en servicio tiene problemas de fisuración invertida transversal en casi todo el tramo de estudio y porque reúne las condiciones más adversas a la que puede someter el pavimento, al ser una montañosa con grandes pendientes, se encuentra a una altura de más de 3400 msnm y presenta bajas temperaturas con presencia de neblina en muchas ocasiones. Debido a la baja temperatura de la zona se generan fisuras invertidas que se forman cuando la capa de pavimento asfáltico se contrae por climas fríos. Cuando el pavimento se contrae, se originan tensiones de tracción dentro de la capa, y una vez que la tensión de tracción excede la resistencia de tracción y la capa asfáltica se fisura. Así, las fisuras por baja temperatura ocurren principalmente a partir de un ciclo de baja temperatura. Algunos ingenieros, no obstante, también creen que es un fenómeno de fatiga debido al efecto acumulativo de varios ciclos climáticos fríos.

La realización del estudio de evaluación ha logrado estimar el porcentaje de las fisuras invertidas transversales y estabilidad de la carpeta asfáltica, ubicadas en la carretera Tarija – Potosí, entre las progresivas 45+800 a 77+200, el tramo de estudio se inicia en el cruce San Lorencito, cuyas coordenadas geográficas son; Latitud: 21° 22' 45.92'', Longitud: 70° 57' 14.81'' y Altura: 3320 msnm. y termina en el cruce San Lorenzo dentro de las coordenadas de; Latitud: 21° 43' 66.57'', Longitud: 64° 75' 20.71'' y Altura: 2000 msnm.

La caracterización de los materiales utilizados para la diseño de la mezcla asfáltica nos sirvió para determinar la resistencia de los mismos a los efectos de carga que se ejerce sobre ellos. El asfalto BETUFLEX 60/85 de procedencia Ipiranga Petrobras, Brasil, con un peso específico de 1,006 g/cm<sup>3</sup> fue utilizado para la mezcla de los agregados. Los agregados que se usaron en la mezcla asfáltica son traídos de los bancos de préstamos más cercanos, como los yacimientos de Iscayachi y Calama, concretamente en el Km 46+600 área industrial Iscayachi y en el área industrial de Calama en el Km 27+850, estos materiales son típicos de la zona por la que una de sus propiedades relevantes es la de su resistencia al intemperismo, por ser materiales propios del lugar.

Debemos añadir que los deterioros sobre la fisuración invertida transversal han sido cuantificados y evaluados obteniendo un porcentaje parcial de cada kilómetro de la vía para poder estimar un porcentaje total de las fisuras invertidas transversales presentes a lo largo de todo el tramo en estudio.

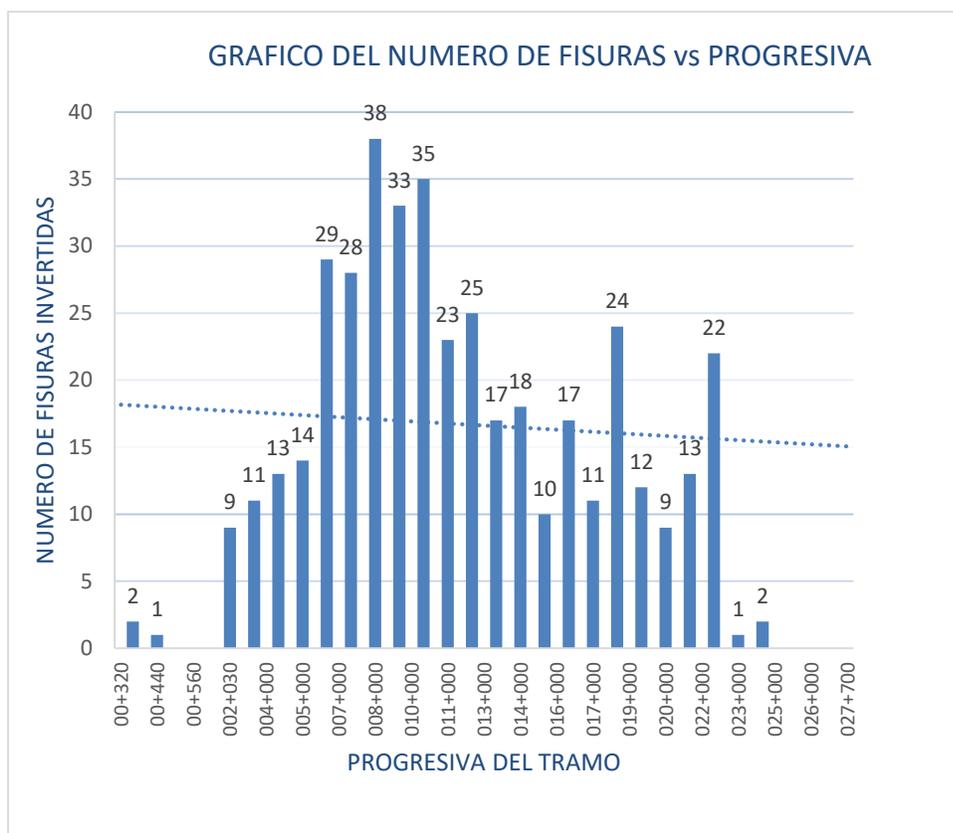
**Grafico 3.1:** Porcentaje de fisuras en el tramo de estudio



*Fuente: Elaboración propia*

En el **gráfico 3.1** observamos los valores obtenidos en la cuantificación de los porcentajes de fallas de la fisuración invertida transversal existentes en el tramo de estudio. Se puede ver que en la progresiva 008+000 hasta la progresiva 009+000 se presenta un mayor porcentaje de fallas sobre la fisuración invertida transversal, alcanzando un valor aproximado del 10% de fisuras existentes en dicho tramo estudiado.

**Grafico 3.2:** Numero de fisuras por cada kilómetro del tramo de estudio



*Fuente: Elaboración propia*

En el **gráfico 3.2** podemos ver el número aproximado de fisuras invertidas obtenidas en la inspección visual, teniendo un total de 417 fisuras en todo el tramo de estudio, en este grafico también se evidencia que la mayor cantidad de fisuras invertidas se presentan entre las progresivas 006+000 hasta la progresiva 013+000, dentro de estas progresivas se observa un sub tramo crítico entre las progresivas 008+000 a 009+000 que registra 38 fisuras invertidas. En la parte final del tramo en estudio desde la progresiva 025+000 hasta la intercepción con la carretera San Lorenzo – Tarija no hay presencia de fisuras invertidas transversales.

La fisuración invertida se genera en la huella de tráfico y se desarrolla transversalmente en ella, obedece a que los esfuerzos longitudinales de tensión inducidos por el rebote

de la deflexión que normalmente se genera por el paso de las ruedas de los vehículos de alto tonelaje supera los que la mezcla puede soportar, o también se puede dar el caso de que estos esfuerzos se acumulen, provocando el fisuramiento invertido de la mezcla por fatiga.

### **Fisuras invertidas transversales**



**Fotografía 3.41**

En la **fotografía 3.41** se observa que las fisuras invertidas transversales se presentan sobre la huella del tráfico y se caracterizan por estar en sentido perpendicular a la dirección del tránsito. Una de las posibles mecánicas del desarrollo de la fisuración invertida transversal está relacionado con la deformación de la carpeta asfáltica durante el ciclo de aplicación de cargas. La deformación que se presenta durante la aplicación de carga genera una deformación unitaria negativa, luego en la etapa de descarga el pavimento se recupera y se defleca en sentido contrario (rebote), presentando una magnitud que supera a la de la deflexión, los esfuerzos de tensión presentes en la parte superior son superiores y superan a los que la mezcla puede soportar, dando lugar a la fisuración invertida transversal.

## ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MARSHALL A NÚCLEOS ASFÁLTICOS QUE PRESENTAN FALLAS DE FISURACION INVERTIDA TRANSVERSAL

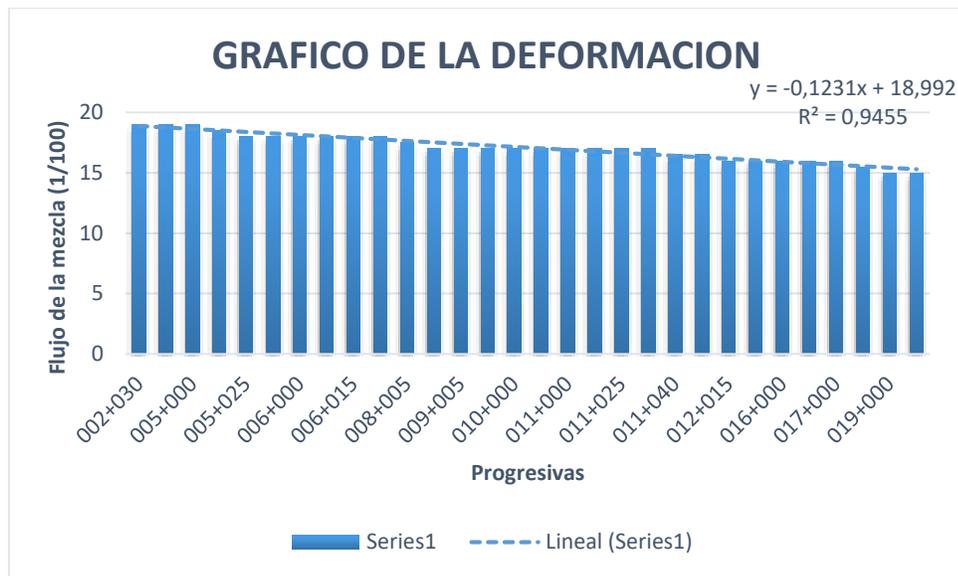
En el análisis de la estabilidad Marshall podemos observar que las mezclas asfálticas son más flexible cuando la estabilidad es baja, mientras mayor sea la estabilidad Marshall mayor será la rigidez la mezcla asfáltica y por lo tanto será más propensa a presentar fallas de fisura invertida prematura de los pavimentos asfálticos.

**Gráfico 3.3:** Gráfico de la estabilidad de la carpeta asfáltica con falla



*Fuente: Elaboración propia*

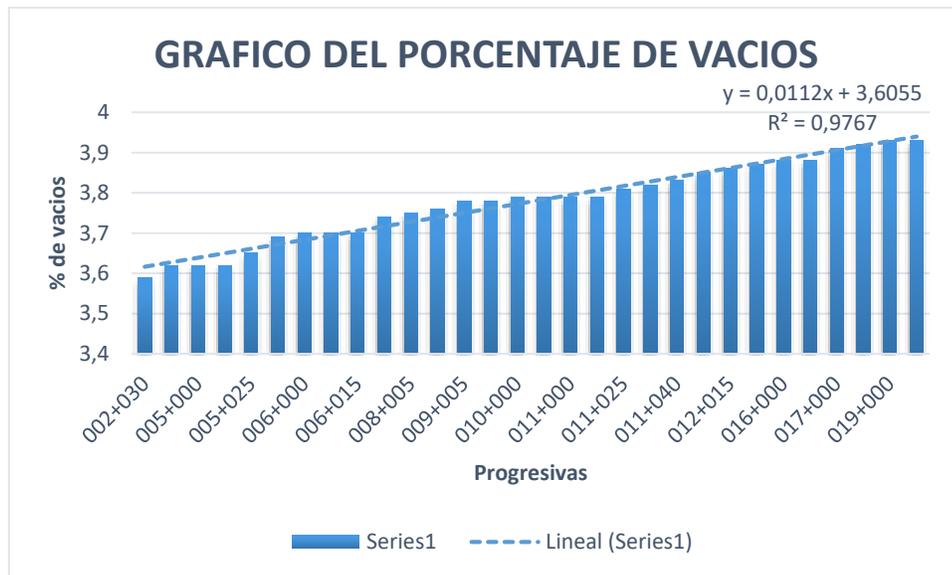
- En la gráfica se ve que el valor máximo de la estabilidad realizada a las briquetas es de 1495 libras.
- También indica que el valor mínimo de la estabilidad realizada a las briquetas es de 1211 libras.
- Haciendo un ajuste de regresión lineal se obtuvo un ajuste adecuado a la dispersión de datos de las estabilidades de las distintas probetas sometidas a prueba, dando un valor promedio de estabilidad de 1355 libras.

**Gráfico 3.4** Gráfico de la deformación de la carpeta asfáltica con falla

*Fuente: Elaboración propia*

- En la gráfica se puede apreciar el valor máximo de la fluidez o deformación que alcanza un valor de 19 (1/100).
- También se muestra el valor mínimo del flujo que se registró en el ensayo Marshall y tiene un valor de 15 (1/100).
- Para ajustar la serie de datos, se utilizó una regresión lineal ya que fue la que mejor se ajustaba a la dispersión de datos, dándonos un valor promedio de flujo de 17 (1/100).

**Gráfico 3.5** Gráfico del porcentaje de vacíos de la carpeta asfáltica con falla



*Fuente: Elaboración propia*

- En la gráfica se puede apreciar el valor máximo del porcentaje de vacíos de la mezcla es de 3,93 %.
- También se muestra el valor mínimo del porcentaje de vacíos que se registró de todas las muestras analizadas que es de 3.59 %.
- Este porcentaje de vacíos debe oscilar entre un 3 % hasta un 5 %, lo que indica que se está dentro del rango permitido.
- Para ajustar la serie de datos dispersos, se utilizó una regresión lineal, que valor promedio de 3.78 % de todos los datos analizados en el laboratorio.

❖ **TRATAMIENTO ESTADISTICO BASICO DEL ENSAYO MARSHALL REALIZADO A NUCLEOS CON FALLAS**

**Tabla 3.11:** Análisis estadístico de los resultados de los núcleos con falla

Nº	Estabilidad	Flujo	% de vacíos	Nº	Estabilidad	Flujo	% de vacíos
1	1211	19	3,59	16	1340	17,0	3,79
2	1222	19	3,62	17	1357	17	3,79
3	1263	19	3,62	18	1365	17	3,79
4	1284	18,5	3,62	19	1379	17	3,81
5	1285	18	3,65	20	1382	17,0	3,82
6	1290	18	3,69	21	1394	17	3,83
7	1295	18	3,7	22	1402	17	3,85
8	1296	18	3,7	23	1412	16,0	3,86
9	1298	18	3,7	24	1423	16	3,87
10	1308	18	3,74	25	1461	16	3,88
11	1309	17,5	3,75	26	1462	16	3,88
12	1314	17	3,76	27	1480	16	3,91
13	1315	17	3,78	28	1483	16	3,92
14	1318	17	3,78	29	1491	15	3,93
15	1326	17	3,79	30	1495	15	3,93

SUMATORIA	40660,0	512,5	113,4
numero de datos	30	30	30
MEDIA ARITMETICA	1355,333	17,083	3,778
DESVIACIÓN ESTANDAR	80,349	1,115	0,099
MODA (Ed)	1319,176	16,582	3,734
CARACTERÍSTICA (Kd)	0,109	0,121	0,048
MEDIANA	1333,00	17,00	3,79
MEDIA GEOMETRICA	1353,05	17,05	3,78
CENTRO DE AMPLITUD	142	2	0,17
VARIANZA	6456,02	1,24	0,01
COEF. DE VARIACION	5,93	6,53	2,63

Fuente: Elaboración propia

### ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MARSHALL A NÚCLEOS ASFÁLTICOS QUE NO PRESENTAN FALLAS DE FISURACION INVERTIDA TRANSVERSAL

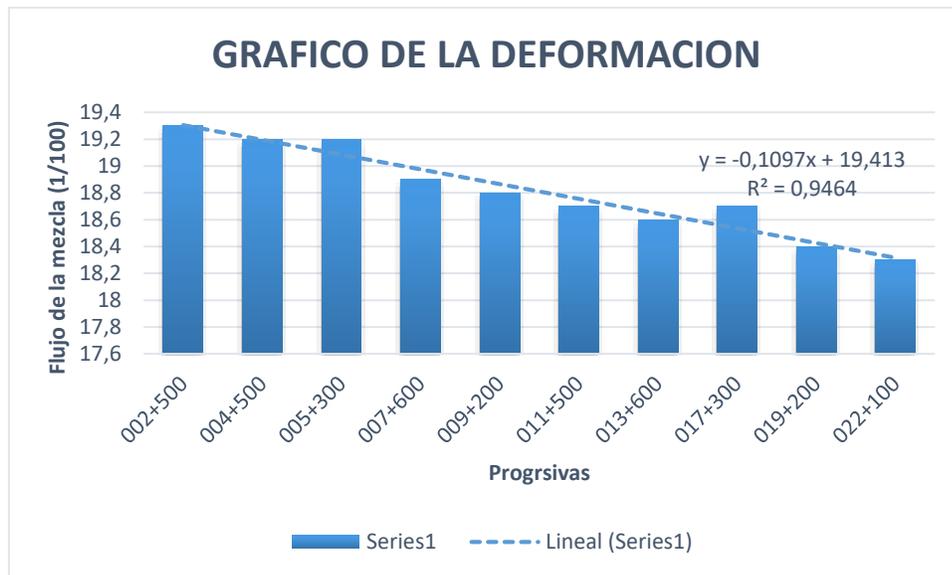
**Gráfico 3.6:** Gráfico de la estabilidad de la carpeta asfáltica sin falla



*Fuente: Elaboración propia*

- En la gráfica se puede ver que el valor máximo de la estabilidad realizada a las briquetas es de 2331 libras.
- Es posible indicar que el valor mínimo de la estabilidad realizada a las briquetas es de 2327 libras.
- Haciendo un ajuste de regresión lineal se obtuvo un ajuste adecuado a la dispersión de datos de las estabilidades de las distintas probetas sometidas a prueba, dando un valor promedio de estabilidad de 2323,2 libras.

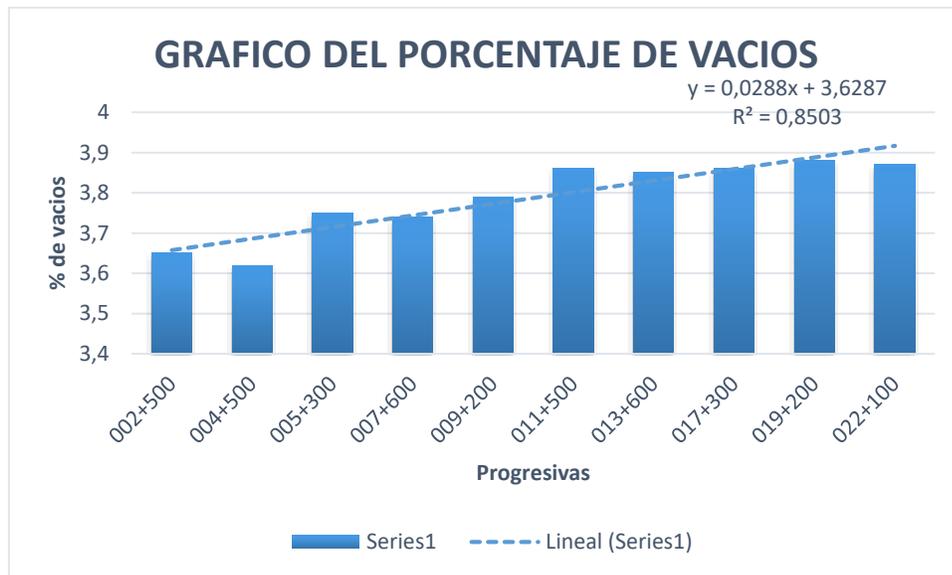
**Gráfico. 3.7:** Gráfico de la deformación de la carpeta asfáltica sin falla



*Fuente: Elaboración propia*

- En la gráfica se puede apreciar el valor máximo de la fluidez o deformación que alcanza un valor de 19,3 (1/100).
- También se muestra el valor mínimo del flujo que se registró en el ensayo Marshall y tiene un valor de 17,7 (1/100).
- Para ajustar la serie de datos, se utilizó la una regresión lineal ya que fue la que mejor se ajustaba a la dispersión de datos, dando un valor promedio de flujo de 18,73 (1/100).

**Gráfico. 3.8:** Gráfico del porcentaje de vacíos de la carpeta asfáltica sin falla



*Fuente: Elaboración propia*

- En la gráfica se puede apreciar el valor máximo del porcentaje de vacíos de la mezcla es de 3,91 %.
- También se muestra el valor mínimo del porcentaje de vacíos que se registró de todas las muestras analizadas que es de 3,85 %.
- Este porcentaje de vacíos debe oscilar entre un 3 % hasta un 5 %, por lo que podemos indicar que está dentro del rango permitido.
- Para ajustar la serie de datos dispersos, se utilizó una regresión lineal, la cual dio un valor promedio de 3,80 % de todos los datos analizados en el laboratorio.

❖ TRATAMIENTO ESTADÍSTICO BÁSICO DEL ENSAYO MARSHALL  
REALIZADO A NUCLEOS SIN FALLAS

**Tabla 3.12:** Análisis estadístico de los resultados de los núcleos sin falla

Nº	Estabilidad	Flujo	% de vacíos
1	2309	19,3	3,65
2	2315	19,2	3,62
3	2319	19,2	3,75
4	2321	18,9	3,74
5	2325	18,8	3,79
6	2327	18,7	3,86
7	2328	18,6	3,85
8	2328	18,7	3,86
9	2329	18,4	3,88
10	2331	18,3	3,87

SUMATORIA	23232,0	188,1	37,9
numero de datos	10	10	10
MEDIA ARITMÉTICA	2323,20	18,810	3,787
DESVIACIÓN ESTANDAR	7,068	0,341	0,095
MODA (Ed)	2320,02	18,656	3,744
CARACTERÍSTICA (Kd)	0,005	0,033	0,045
MEDIANA	2326,00	18,75	3,82
MEDIA GEOMÉTRICA	2323,19	18,81	3,79
CENTRO DE AMPLITUD	11	0,5	0,13
VARIANZA	49,96	0,12	0,01
COEF. DE VARIACIÓN	0,30	1,82	2,50

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.7. PLANTEAMIENTO DE ACCIONES ANTE LA FISURACION INVERTIDA TRANSVERSAL Y ESTABILIDAD EN EL TRAMO DE ESTUDIO**

Los tratamientos superficiales dobles o triples pueden ser utilizados como capas de revestimiento en carreteras de tráfico leve a medio. Se construyen mediante la aplicación de capas de ligante bituminoso sobre las cuales se conforman capas de materiales pétreos compactados, cuya granulometría debe ser rigurosamente controlada para satisfacer las exigencias de las especificaciones técnicas adoptadas en el proyecto.

El deterioro del revestimiento se produce principalmente por la fisuración debida a la fatiga y/o al desgaste. Los tratamientos superficiales simples que deben ser utilizados apenas para accesos donde el tráfico de proyecto es del orden del 1% del tráfico de proyecto de las fajas de rodadura, o para la protección provisoria de bases granulares hasta que el revestimiento definitivo sea construido.

Para realizar la corrección de fallas en pavimentos flexibles existen diferentes procedimientos los cuales incluyen: sellado de grietas, sellado de superficie y recubrimiento de la superficie.

#### **FISURAS INVERTIDAS**

El análisis y la selección de las alternativas fueron evaluadas de acuerdo a los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio.

Las fisuras aparecen en forma perpendicular a la dirección del tráfico en los pavimentos flexibles, en algunos casos el tratamiento correcto puede ser el llenado de fisuras simples, en otras puede ser necesario la remoción completa de área afectada y ejecución del drenaje antes de efectuar las reparaciones.

Las alternativas de solución planteadas para realizar las mejoras adecuadas a la carpeta asfáltica son las siguientes:

- Las grietas de severidad baja y de severidad media deberán ser limpiadas cuidadosamente y luego selladas con cemento asfáltico y arena, es decir que se

debe llenar las grietas con lechada de emulsión asfáltica o asfalto diluido mezclado con arena.

Estas fisuras invertidas son originadas por las bajas temperaturas que hay en la región por donde pasa la carretera en estudio.

- Si las fisuras son de severidad alta, la solución planteada es remover la carpeta superficial dañada, es decir cortar la parte de la carpeta asfáltica dañada, para luego bachear con mezcla asfáltica en caliente.

El bacheo de la carpeta consiste en remover por completo la capa asfáltica en la zona afectada, limpiarla y aplicar un riego de adherencia o riego de liga, luego rellenar y compactar la mezcla asfáltica de reposición.

La compactación debe efectuarse empleando martillos de aire comprimido (con pala plana) y el corte con sierra de disco, produciendo el menor daño al pavimento adyacente.

Estas fisuras invertidas transversales son originadas por la alta rigidez de la carpeta asfáltica; la rigidez del pavimento se debe también a las bajas temperaturas que hay en la zona de estudio ya que las fisuras invertidas se presentan sólo hasta una profundidad de 3 cm aproximadamente.

### **3.8. COSTO DE MANTENIMIENTO**

El presupuesto de solución para el tramo en estudio fue evaluado para dos tipos de mantenimiento, una de estas alternativas es la de cortar el pavimento y reemplazarlo por uno nuevo, es decir rellenar y compactar con una mezcla asfáltica nueva (bacheo), la otra alternativa que se evaluó es el sellado de las fisuras con una aplicación de ligante asfáltico y arena para rellenar las fisuras invertidas transversales, a continuación se muestran los cómputos métricos realizados para todo el tramo en estudio.

**Tabla 3.13:** Cómputos métricos para los dos tipos de mantenimiento

CÓMPUTOS MÉTRICOS							
Nº	ACTIVIDAD	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Nº Veces	Total
<b>1</b>	<b>Bacheo</b>	<b>Unidad: m2</b>					
		2	0,7		1,4	14	19,6
	<b>T o t a l</b>						<b>19,6</b>
<b>2</b>	<b>Sello de grietas</b>	<b>Unidad: ml</b>					
			0,8		0,8	417	333,6
	<b>T o t a l</b>						<b>333,6</b>

*Fuente: Elaboración propia*

## ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Tabla 3.14:** Precio unitario para la alternativa de solución de bacheo con provisión de cemento asfáltico

<b>DATOS GENERALES</b>				
<b>PROYECTO:</b>	<b>EVALUACION SOBRE LA FISURACIÓN INVERTIDA TRANSVERSAL Y ESTABILIDAD EN PAVIMENTOS ASFALTICOS APLICADO AL TRAMO CRUCE SAN LORENZO - CRUCE SAN LORENCITO</b>			
<b>ACTIVIDAD:</b>	<b>BACHEO CON PROVISION DE CEMENTO ASFALTICO</b>			
<b>UNIDAD:</b>	<b>M<sup>2</sup></b>			
<b>MONEDA:</b>	<b>BOLIVIANOS</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNID.</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO PRODUCTIVO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
<b>1. MATERIALES</b>				
Arena común	m <sup>3</sup>	0,03	120,75	3,62
Cemento asfáltico	kg	8,40	8,00	67,20
Diésel	lt	0,70	3,72	2,60
Grava de 3/8"	m <sup>3</sup>	0,04	130,00	5,20
Imprimante	lt	1,20	7,50	9,00
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>87,63</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
Albañil de segunda	Hr.	0,10	21,07	2,11
Ayudante	Hr.	0,15	13,92	2,09
Especialista	Hr.	0,10	22,98	2,30
Especialista calificado	Hr.	0,01	28,72	0,29
Operador	Hr.	0,01	26,81	0,27
Operador 2da.	Hr.	0,05	22,98	1,15
<b>SUB TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>8,20</b>
CARGAS SOCIALES: (% Sub Total Mano De Obra)			65%	5,33
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA: ( % Suma De Sub Total Mano De Obra + Cargas Sociales)			14,94%	2,02
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>15,55</b>
<b>3. EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				
Cargador frontal 150hp	Hr.	0,01	415,00	4,15
Compactadora manual tipo bailarina	Hr.	0,01	34,90	0,35
Cortadora de asfaltos 13hp	Hr.	0,05	18,00	0,90
Planta asfáltadora 40 ton	Hr.	0,01	360,00	3,60
Volqueta 12 m <sup>3</sup>	Hr.	0,03	200,00	6,00
HERRAMIENTAS: (% Del Total De Mano De Obra)			5%	0,78
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				<b>15,78</b>
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				
GASTOS GENERALES: % DE 1+2+3			10%	11,89
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				<b>11,89</b>
<b>5. UTILIDAD</b>				
UTILIDAD: % DE 1+2+3+4			10%	13,08
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>13,08</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>				
IMPUESTOS IT: % DE 1+2+3+4+5			3,09%	4,45
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>4,45</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>				<b>148,38</b>

**Tabla 3.15:** Precio unitario para la alternativa de solución del sello de grietas

DATOS GENERALES				
PROYECTO:	EVALUACION SOBRE LA FISURACION INVERTIDA TRANSVERSAL Y ESTABILIDAD EN PAVIMENTOS ASFALTICOS APLICADO AL TRAMO CRUCE SAN LORENZO - CRUCE SAN LORENCITO			
ACTIVIDAD:	SELLO DE GRIETAS			
UNIDAD:	ML			
MONEDA:	BOLIVIANOS			
DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
<b>1. MATERIALES</b>				
Cemento asfaltico	kg	0,1200	8,000	0,96
Solvente	Lt	0,0800	2,80	0,22
Arena seleccionada	m <sup>3</sup>	0,0002	136,50	0,03
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>1,21</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
Operador equipo liviano	Hr.	0,021	26,81	0,563
Ayudante	Hr.	0,042	13,92	0,585
Chofer	Hr.	0,021	22,98	0,483
Peón	Hr.	0,063	11,50	0,725
<b>SUB TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>2,35</b>
CARGAS SOCIALES: (% Sub Total Mano De Obra)			65%	1,53
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA: ( % Suma De Sub Total Mano De Obra + Cargas Sociales)			14,94%	0,58
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>4,47</b>
<b>3. EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				
Calentador de asfalto con rociador manual	Hr.	0,021	60,00	1,260
Compresora	Hr.	0,021	95,00	1,995
Volqueta - 6 m3	Hr.	0,021	110,00	2,310
HERRAMIENTAS: (% Del Total De Mano De Obra)			5%	0,223
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				<b>5,79</b>
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				
GASTOS GENERALES: % DE 1+2+3			10%	1,15
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				<b>1,15</b>
<b>5. UTILIDAD</b>				
UTILIDAD: % DE 1+2+3+4			10%	1,26
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>1,26</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>				
IMPUESTOS IT: % DE 1+2+3+4+5			3,09%	0,43
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>0,43</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>				<b>14,30</b>

**Tabla 3.16:** Costos parciales de cada alternativa de solución

<b>MANTENIMIENTO PARA EL TRAMO EN ESTUDIO</b>				
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
BACHEO CON PROVISION DE CEMENTO ASFALTICO	M <sup>2</sup>	19,16	148,38	2842,96
SELLO DE GRIETAS	ML	333,6	14,30	4770,48

*Fuente: Elaboración propia*

### **COSTO DEL MANTENIMIENTO CRUCE SAN LORENZO – CRUCE SAN LORENCITO**

**Tabla 3.17:** Costo total de mantenimiento

<b>TIPO DE MANTENIMIENTO</b>	<b>PRECIO (Bs.)</b>
BACHEO CON PROVISION DE CEMENTO ASFALTICO	2842,96
SELLO DE GRIETAS	4770,48
<b>PRECIO TOTAL DEL MANTENIMIENTO</b>	<b>7613,44</b>
<b>SIETE MIL SEICIENTOS TRECE 44/100 BOLIVIANOS</b>	<b>7613,44</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.9. RELACION DE LA ESTABILIDAD MARSHALL CON LA FISURACION INVERTIDA TRANSVERSAL**

De acuerdo con los resultados de laboratorio sobre la estabilidad y fluencia de la carpeta asfáltica del tramo en estudio, se puede indicar que la fisura invertida transversal es directamente causada por la estabilidad de la mezcla. Por lo general las fisuras invertidas son causadas por que la tensión que se aplica a la carga es mayor a la que la mezcla puede soportar, entonces si la mezcla tiene una baja estabilidad se producirá un fisuramiento invertido.

La estabilidad de la carpeta asfáltica que se ha estudiado se relaciona directamente con la fisuración invertida transversal, debido a que las fisuras invertidas son provocadas por la baja estabilidad o por la muy alta rigidez de la mezcla, es por eso que en el tramo que se ha estudiado se pudo evaluar al pavimento asfáltico, siendo los lugares que se encuentran a mayor altura sobre el nivel del mar, los que presentan más fisuras invertidas, esto debido a las condiciones del clima frío que afecta en la flexibilidad del pavimento, y por esta variación de flexibilidad la estabilidad también es afectada, causando de esta manera la falla de fisuración invertida transversal.

## **CAPITULO IV**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

De acuerdo con el estudio correspondiente a la evaluación sobre la fisuración invertida transversal y estabilidad en pavimentos asfálticos y en base a los resultados obtenidos, se requiere dar a conocer las conclusiones que a continuación se expone:

- ✓ La ubicación del tramo de aplicación para este estudio fue el tramo Cruce San Lorenzo – Cruce San Lorencito que se encuentra ubicada en la carretera que une Tarija – Potosí. Se eligió este tramo porque después del poco tiempo que fue puesta al servicio tiene problemas de fisuración invertida transversal en casi todo el trayecto que comprende la variante “Falda de la Queñua”, este tramo reúne las condiciones más adversas a la que puede someter el pavimento, al ser una zona montañosa con grandes pendientes, que se encuentra a una altura de más de 3400 msnm y presenta bajas temperaturas con presencia de neblina en muchas ocasiones.
- ✓ Una vez realizada la evaluación de las fisuras podemos concluir que entre la progresiva 006+000 hasta la progresiva 022+000, es el tramo donde se evidenció que se presenta un mayor porcentaje de fallas sobre la fisuración invertida transversal, el nivel de severidad de las fisuras que se presentan es de nivel medio, alcanzando un valor aproximado del 10% de fisuras existentes en dicho tramo estudiado.
- ✓ Una de las causas preponderantes que originan las fisuras invertidas transversales están relacionadas con el frío que se presenta en la región,

dichas fisuras invertidas se forman cuando la capa de pavimento asfáltico se contrae debido al frío ( $-3^{\circ}\text{C}$  bajo cero). Es decir que cuando el pavimento se contrae, se originan tensiones de tracción dentro de la capa, y una vez que la tensión de tracción excede la resistencia de tracción de la mezcla es entonces cuando la capa asfáltica se fisura.

- ✓ Otra de las posibles causas que originan las fisuras invertidas transversales se debe a los malos procesos constructivos de las capas inferiores de la carretera, ya que el mayor número de fisuras se registra en el tramo de estudio es donde se presentan las pendientes más fuertes, porque a pesar de que se aplicó un tratamiento superficial a la superficie de rodadura, se sigue fisurando la carpeta asfáltica.
  
- ✓ Otra de las causas que originan la fisuración invertida transversal, tiene que ver con la aplicación de las cargas del tránsito de alto tonelaje, es decir que cuando estos esfuerzos aplicados por el tráfico superan a los esfuerzos que la mezcla puede soportar y se produce la fisura. Estas fisuras invertidas transversales se caracterizan por presentarse en sentido perpendicular a la dirección del tránsito, se producen con un espaciamiento notablemente uniforme, y el agrietamiento varía entre 2 a 5 milímetros y la profundidad de dicha fisura varía entre 2 a 3 centímetros.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

- ✓ Para la evaluación de las fisuras invertidas transversales y estabilidad se deben analizar todos los factores que inciden en la formación de dichas fisuras y su resistencia a la estabilidad de la carpeta asfáltica.
- ✓ Para evitar la fisuración invertida por la baja temperatura de la región, los ingenieros deben usar un ligante blando, un ligante no muy propenso al envejecimiento, y controlar in situ el contenido de vacíos de aire de forma tal que el ligante no resulte excesivamente oxidado.
- ✓ Una de las primordiales recomendaciones es prevenir las fallas de fisuras invertidas transversales, tomando en cuenta este tipo de fallas a la hora de diseñar las mezclas asfálticas, tal como lo acepta y reconoce el método de diseño de la AASHTO (208).
- ✓ Es importante tener en cuenta las características de los materiales que se utilizan en la mezcla asfáltica, para poder analizar sus propiedades de estabilidad y fluencia.
- ✓ Para combatir la presencia de la fisuración invertida transversal a corto, mediano y largo plazo en la construcción de carretas nuevas se recomienda tomar en cuenta las siguientes acciones:
  - Utilizar mezclas asfálticas más flexibles para disminuir su rigidez, estas mezclas deben ser flexibles y resistentes a los esfuerzos de tensión.
  - Controlar en los diseños que la estabilidad Marshall sea inferior a los 1500 Kg para evitar su rigidización de la mezcla.
  - Disminuir la magnitud de las deflexiones y rebote de la carpeta, mediante el mejoramiento de procesos constructivos y calidad de materiales.

- Utilizar asfaltos con propiedades adaptables a los distintos tipos de climas
- ✓ Conociendo los porcentajes de fisuras y su respectiva severidad, se debe realizar un tratamiento de mantenimiento y sellado de las mismas, para evitar la destrucción de la vía.
- ✓ El mantenimiento debe planificarse y ejecutarse de forma efectiva, según el requerimiento, para evitar que se filtre el agua a las capas inferiores de la estructura, ya que al no ser asistida influye en el nivel de severidad de las fallas por fisuramiento invertido.