

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos se deterioran paulatinamente con el tiempo, bajo la acción del tráfico y de los elementos ambientales. Cuando aparecen los primeros signos de deterioro, debe mantenerse el nivel de seguridad y confort mediante operaciones de conservación y renovación superficial. Detectada la aparición de deterioros en un pavimento, debe hacerse un análisis profundo de los mismos que permita decidir la técnica más adecuada, que den solución al problema.

El sellado de fisuras, grietas y juntas es una de las mayores prácticas usadas para impedir el deterioro de los pavimentos, evitando la penetración de agua a la estructura subyacente del pavimento.

El sellador de grietas, correctamente aplicado, impide una degradación mayor y prolonga la vida del pavimento. Entre los diferentes materiales usados para el sellado y el rellenado de fisuras, grietas y juntas, están los selladores asfálticos los cuales son de los materiales más comunes, éstos se aplican en caliente o en frío, según su tipo de aplicación, además están altamente modificados con polímeros y otros aditivos.

Las causas de fallas posteriores a un sellado en pavimentos, usualmente se dividen en dos categorías principales: propiedades de los selladores y factores de instalación. Las propiedades de los selladores son factores intrínsecos relacionados con su composición química y su comportamiento reológico: como adhesión, envejecimiento, viscosidad, visco elasticidad y fuerza de cohesión. Los factores de instalación son un criterio extrínseco relacionado con la aplicación del sellador; tales como la limpieza y preparación de la fisura o grieta, las condiciones del tiempo y el tipo de la juntura.

Tanto, las propiedades de los selladores y lo factores de instalación, contribuyen significativamente a los mecanismos de fallas. Para impedir y evitar dichas fallas y

lograr un comportamiento de larga duración, es muy importante identificar correctamente las propiedades de los diferentes selladores como así también su correcta aplicación en los pavimentos.

El interés del presente trabajo se orienta al análisis sobre el sello de fisuras en pavimentos flexibles, como así también el sello de grietas y juntas en pavimentos rígidos, con miras a los trabajos de conservación o mantenimiento de los mismos, ya que dicha actividad de sellado de fisuras o grietas, es una de las tareas más importantes para mantener en buen estado cualquier tipo de pavimento, aplicado de manera oportuna y adecuada, para ello es necesario conocer el comportamiento que tienen dichos materiales sellantes que hoy en día se aplican en nuestro medio, para así poder hacer una elección adecuada del tipo de material a emplear para dicho procedimiento.

Los materiales sellantes considerados en la presente investigación son un mástico asfáltico en base a cemento asfáltico 85-100 y arena fina; alquitrán y Sikaflex PRO-3.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Las actividades de mantenimiento desempeñan un papel muy importante, para mantener en muy buen estado las carreteras de nuestro país, pero el objetivo de hacer énfasis en ellas en el desarrollo de este capítulo, es que éstas al ser ejecutadas correctamente se obtienen excelentes resultados en el pavimento, que es el fin que se persigue con la ejecución las mismas.

El objetivo fundamental de los sellos es alargar la vida útil de los pavimentos, sellar fisuras, grietas y juntas, es para impermeabilizar la superficie y aumentar la rugosidad de rodamiento de la misma y protegerlo del intemperismo para evitar que avance el envejecimiento.

El sellado de fisuras y el relleno de juntas son de las tareas más importantes para mantener en buen estado cualquier tipo de pavimento, debido a ello es necesario realizar este análisis de los diferentes tipos de materiales empleados para el sellado,

como así también, de la correcta aplicación de los mismos en dichos procedimientos, de tal manera, que, al aplicarlos, se logre dar la comodidad de transitabilidad al usuario como así también garantizar la vida de servicio de la estructura.

Para ello se pretende analizar a detalle el sellado de juntas que es una acción de mantenimiento menor preventivo que se ejecuta para proteger el pavimento y corregir fallas incipientes en su estado inicial de evolución, asimismo el sellado de grietas o fisuras que es una acción de mantenimiento correctivo ejecutada para corregir o reparar fallas que afectan el nivel de servicio del pavimento, o presentan peligro para los usuarios.

Se debe considerar que, si la condición del pavimento alcanza un alto grado de deterioro, las acciones de mantenimiento menor se hacen costosas y poco efectivas, difícilmente pueden mejorar la condición integral de la vía, y solo se logra mantenerla en una condición deficiente a un altísimo costo. Estos dos aspectos, tanto el nivel de calidad; como el costo del mantenimiento menor son indicadores de falla y de que el pavimento requiere acciones de mantenimiento mayor. Es debido a ello que es importante conocer y evaluar la correcta aplicación de la metodología de sellado de juntas y grietas en pavimentos, como así también, el material adecuado a emplear para este tipo de procedimiento.

Con la concreción del presente proyecto, fundamentalmente se pretende tener una idea clara de todo lo que se refiere al sellado de fisuras en pavimentos flexibles y al sellado de grietas y juntas en pavimentos rígidos, con la finalidad de aportar resultados confiables, a través de este análisis, de modo, que al aplicar dichos conocimientos se pueda realizar una correcta elección del material sellante a emplear para dicho procedimiento de sellado, de tal manera que al ser aplicados en obra, se obtenga los resultados esperados y se pueda ofrecer a los usuarios una vía en buenas condiciones de transitabilidad.

1.3. DISEÑO TEÓRICO

1.3.1. Planteamiento del problema

1.3.1.1. Situación problemática

La formación de fisuras en los pavimentos es quizás algo inevitable durante la prestación que brinda el mismo. Las fisuras y grietas del tipo superficial, fácilmente distinguibles en cualquier operatoria de evaluación, se constituyen en la primera manifestación del agotamiento de parte de la sección resistente.

Esta situación, generada en principio en forma superficial, puede ir avanzando, provocando la reducción de la sección resistente y ampliando los tipos de deterioro en superficie. No es de extrañar que a la aparición de una fisura le sucedan desprendimientos, ahuellamientos, deformaciones y hasta baches. Todo ello evidencia que neutralizar el efecto de las fisuras es una tarea que debe integrar todo sistema de mantenimiento. El sellado de fisuras, grietas y juntas, es un procedimiento muy utilizado en el mantenimiento preventivo de pavimentos. Como resultado de esta técnica se puede reducir el deterioro, restringiendo la penetración del agua superficial a las capas subyacentes de la base y de la subbase, y aumentar la vida útil de la estructura. El agua, al penetrar en estas fallas, provoca un reblandecimiento de la base y en el peor de los casos socavamientos bajo la carpeta de rodado por arrastre de finos. El resultado es un deterioro prematuro de los pavimentos y en general de la red vial. El correcto sellado de fisuras y grietas en un programa de mantenimiento reduce el deterioro y ayuda a conservar el estado del pavimento. En EE.UU. diversos estudios y seguimientos han demostrado que alrededor del 75% de las grietas no selladas terminan en baches frente a solo el 1% de las grietas selladas apropiadamente. De hecho, el seguimiento de actividades de mantenimiento muestra que la vida útil del pavimento puede prolongarse en al menos 2 años realizando el sellado en el momento apropiado y con el material adecuado.

1.3.1.2. Problema

¿La realización de un análisis sobre los sellos aplicados en el sellado de fisuras, grietas y juntas, nos permitirá identificar las propiedades particulares de cada uno de ellos y

planificar las acciones en los pavimentos de acuerdo al tipo de material sellante a emplear, de manera que se logre conseguir a través de esta actividad mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento de los mismos?

1.3.2. Objetivos de la investigación

1.3.2.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento de diferentes tipos de materiales sellantes, para determinar cuál es el más conveniente a utilizar para el sellado de fisuras en pavimentos flexibles y grietas y juntas en pavimentos rígidos, en vías urbanas de la ciudad de Tarija, en función a sus propiedades y características técnicas; con el propósito de evaluar su aplicación y propiedades para lograr una mejor condición del pavimento.

1.3.2.2. Objetivos específicos

- Identificar 10 tramos de estudio en la ciudad de Tarija, en función al deterioro superficial existente en los mismos, donde se realizará la aplicación del sellado de fisuras, grietas y juntas.
- Identificar las fallas superficiales más comunes en cuanto a fisuración y agrietamientos presentes en los tramos seleccionados en la investigación, a través de una inspección visual realizada en los mismos para su respectiva evaluación.
- Realizar la aplicación de mástic asfáltico, alquitrán y Sikaflex PRO-3 como sellantes para tratar fisuras, grietas y juntas en pavimentos.
- Caracterizar los materiales que se utilizarán para la preparación del sellado de mástic asfáltico, con el fin de lograr una dosificación adecuada del mismo para su aplicación en el procedimiento del sellado.
- Preparar en laboratorio muestras de pavimento rígido y flexible para realizar el sellado a fisuras, grietas y juntas que se generarán en las muestras obtenidas.
- Analizar las propiedades y desempeño de los materiales sellantes aplicados, con el propósito de conocer sus potencialidades y/o desventajas que puedan llegar a tener en su aplicación.

- Analizar los resultados obtenidos en los tramos de estudio como en las muestras selladas en laboratorio.
- Establecer el tipo de material sellante más adecuado y conveniente para sellar fisuras en pavimentos flexibles y grietas y juntas en pavimentos rígidos, en función a sus propiedades y características analizadas y evaluadas en su aplicación.

1.3.3. Hipótesis

Si en los tramos de pavimento en estudio de la ciudad de Tarija, se tendría la opción de elegir la actividad de mantenimiento menor de dichos tramos, a través del sellado de fisuras, grietas y juntas con diferentes tipos de materiales, entonces se podrá realizar un análisis comparativo de cuál de los materiales sellantes es el más eficiente y adecuado para la conservación de esta vía urbana.

1.3.4. Definición de variables

1.3.4.1. Variable independiente

- Pavimento flexible y rígido urbano de la ciudad de Tarija que presenten diferentes tipos de grietas y fisuras.

1.3.4.2. Variable dependiente

- Comportamiento del sellado de fisuras, grietas y juntas a través de diferentes tipos de sellos aplicados a pavimentos de la ciudad de Tarija.

1.3.5. Conceptualización y operacionalización de variables

Tabla 1.1: Conceptualización y operacionalización de variables

		Operacionalización		
Variable independiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Acción
Pavimento rígido y flexible urbano de la ciudad de Tarija con grietas y fisuras	Se refiere a las grietas y fisuras existentes en los tramos de pavimento rígido y flexible a aplicar los sellos para su tratamiento	Estado de la superficie del pavimento	Fallas existentes	Inspección visual
		Nivel de severidad del deterioro	Nivel alto, medio o bajo	Identificación de deterioros

		Operacionalización		
Variable dependiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Acción
Comportamiento del sello de fisuras, grietas y juntas en pavimentos	Se refiere al comportamiento del sello de fisuras, grietas y juntas en pavimentos bajo las mismas condiciones de carga.	Comportamiento de los sellos en pavimentos rígidos	Kg	Carga a Compresión
			Kg	Carga a Flexión
		Comportamiento de los sellos en pavimento flexible	Kg	Carga a Compresión
			Kg	Carga a Flexión

Fuente: Elaboración propia

1.4. DISEÑO METODOLÓGICO

1.4.1. Unidad de estudio y decisión muestral

1.4.1.1. Unidad de estudio

- Sellos en pavimentos.

1.4.1.2. Población

- Sellos para pavimentos de la ciudad de Tarija

1.4.1.3. Muestra

- Sellos para fisuras, grietas y juntas en pavimentos.

1.4.1.4. Muestreo

- El muestreo se realizará en 10 tramos pavimentados de la ciudad de Tarija, de los cuales 5 pertenecen a pavimentos flexibles y 5 a pavimentos rígidos.

1.4.2. Métodos y técnicas empleadas

1.4.2.1. Método

El método de trabajo es de carácter **Inductivo**.

El método inductivo es aquel método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se trata del método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos esenciales:

- Debe llevarse a cabo una etapa de observación y registro de los hechos.
- A continuación, se procederá al análisis de lo observado, estableciéndose como consecuencia definiciones claras de cada uno de los conceptos analizados.
- Con posterioridad, se realizará la clasificación de los elementos anteriores.

- La última etapa de este método está dedicada a la formulación de proposiciones científicas o enunciados universales, inferidos del proceso de investigación que se ha llevado a cabo.

Esto supone que, tras una primera etapa de observación, análisis y clasificación de los hechos, se logra postular una hipótesis que brinda una solución al problema planteado. Una forma de llevar a cabo el método inductivo es proponer mediante diversas observaciones de los sucesos u objetos de estado natural una conclusión que resulte general para todos los eventos de la misma clase.

En cuanto a la realización del presente trabajo se empleará el método inductivo de investigación, ya que, de acuerdo a lo mencionado anteriormente, el análisis a realizar será a través de una etapa de observación y registro del comportamiento del sellado de fisuras, grietas y juntas en pavimentos.

Se realizarán ensayos de aplicación de distintos tipos de sellos a pavimentos tanto rígidos como flexibles de la ciudad de Tarija, considerando la caracterización y especificaciones de cada material de sellado, como así también las características de fisuración o agrietamiento que presente dicho pavimento, a través de ello se realizará una etapa de observación al comportamiento del sello aplicado y un análisis minucioso de las observaciones realizadas, estableciendo claramente las especificaciones del sellado de pavimentos a través de los distintos tipos de sellos, para luego clasificarlos de acuerdo a su eficiencia y correcta aplicación y de esa manera se obtendrán las conclusiones en base a los resultados obtenidos; de manera que se especifique el material de sello más adecuado de acuerdo al tipo de falla: fisura, grieta o junta que se presente en los pavimentos.

1.4.2.2. Técnicas

La técnica que se va utilizar en este trabajo será: Experimental, puesto que se realizarán netamente ensayos de laboratorio para caracterizar, aplicar y verificar el comportamiento de los sellos aplicados a muestras de laboratorio y tramos en estudio.

1.4.2.3. Ensayos

Se realizarán ensayos de caracterización a todos los materiales, tales como:

Ensayos a realizarse para el cemento asfáltico:

- Ensayo de penetración (ASTM D 5) (AASHTO T 49)
- Ensayo para determinar la ductilidad (ASTM D 113) (AASHTO T 51)
- Ensayo para determinar el punto de inflamación mediante la Copa Abierta de Cleveland (ASTM D 1310-01 AASHTO T 79-96)
- Punto de ablandamiento con el aparato de anillo y esfera (ASTM D 36) (AASHTO T 53-96)
- Ensayo para determinar el peso específico (ASTM D 70-76) (AASHTO T 228-93)
- Ensayo para determinar la viscosidad cinemática (ASTM D 2170) (AASHTO T 201-01)

Ensayos a realizarse para el agregado fino:

- Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM E 40) (AASHTO T 27)
- Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D 2419) (AASHTO T 176)
- Método para determinar el peso específico y absorción del agregado fino (ASTM E 128-97) (ASSTHO T 84)
- Método para determinar el peso unitario del agregado fino (ASTM C 29M) (ASSTHO T 19)

1.4.2.4. Proceso de aplicación

Para realizar el presente análisis sobre el sello de fisuras, grietas y juntas en pavimentos, lo que se hará es preparar en laboratorio muestras representativas de hormigón y de

carpeta asfáltica para generar en ellas una fisura, una grieta o una junta, donde sea posible aplicar los sellos en estudio, lo que se analizará es el comportamiento de estos tres diferentes materiales sellantes aplicados tanto a muestras de pavimento rígido como flexible, que luego de haberse dado el proceso de curado de los sellos se analizarán aplicando a las muestras selladas los tipos de esfuerzos que soporta la estructura en un pavimento como es la carga a compresión como así también a flexión, para analizar de qué manera resiste el sello frente a estos dos tipos de esfuerzos hasta la ruptura de la muestra del pavimento sellada. Con el propósito de respaldar los resultados obtenidos en laboratorio también se realizará la aplicación de estos tres tipos de sellos en los tramos de estudio, para analizar el comportamiento en campo de los mismos.

Modo de aplicación:

De una carpeta asfáltica ya existente se obtendrán 15 muestras cilíndricas y 15 muestras prismáticas de pavimento flexible, a las cuales con una cortadora de disco se generará una fisura de 3 mm de ancho. Asimismo, se elaborarán 15 probetas cilíndricas y 15 probetas prismáticas de hormigón, a éstas se les generará una grieta de 8 mm de ancho, de la misma manera se elaborarán otras 15 probetas cilíndricas y 15 probetas prismáticas de hormigón y a éstas se les generará una junta de 20 mm de ancho una profundidad de 1/4 de su altura. A todas las muestras se aplicarán los tres tipos de sellos bajo las mismas condiciones de aplicación, control y seguimiento, para posteriormente someterlas a fuerzas axiales de compresión y flexión para verificar su comportamiento.

Se utilizarán 3 tipos de materiales sellantes, dos de los cuales son aplicados en caliente y el otro aplicado a temperatura ambiente, dichos materiales son: el mástic asfáltico compuesto de arena y cemento asfáltico, el alquitrán y el Sikaflex PRO-3; se realizará la caracterización de los materiales para preparar el mástic asfáltico, y se conocerán las especificaciones técnicas del alquitrán y de Sikaflex PRO-3.

A continuación, se muestra en detalle del tipo y número de actividades y ensayos a realizar en el desarrollo de la investigación:

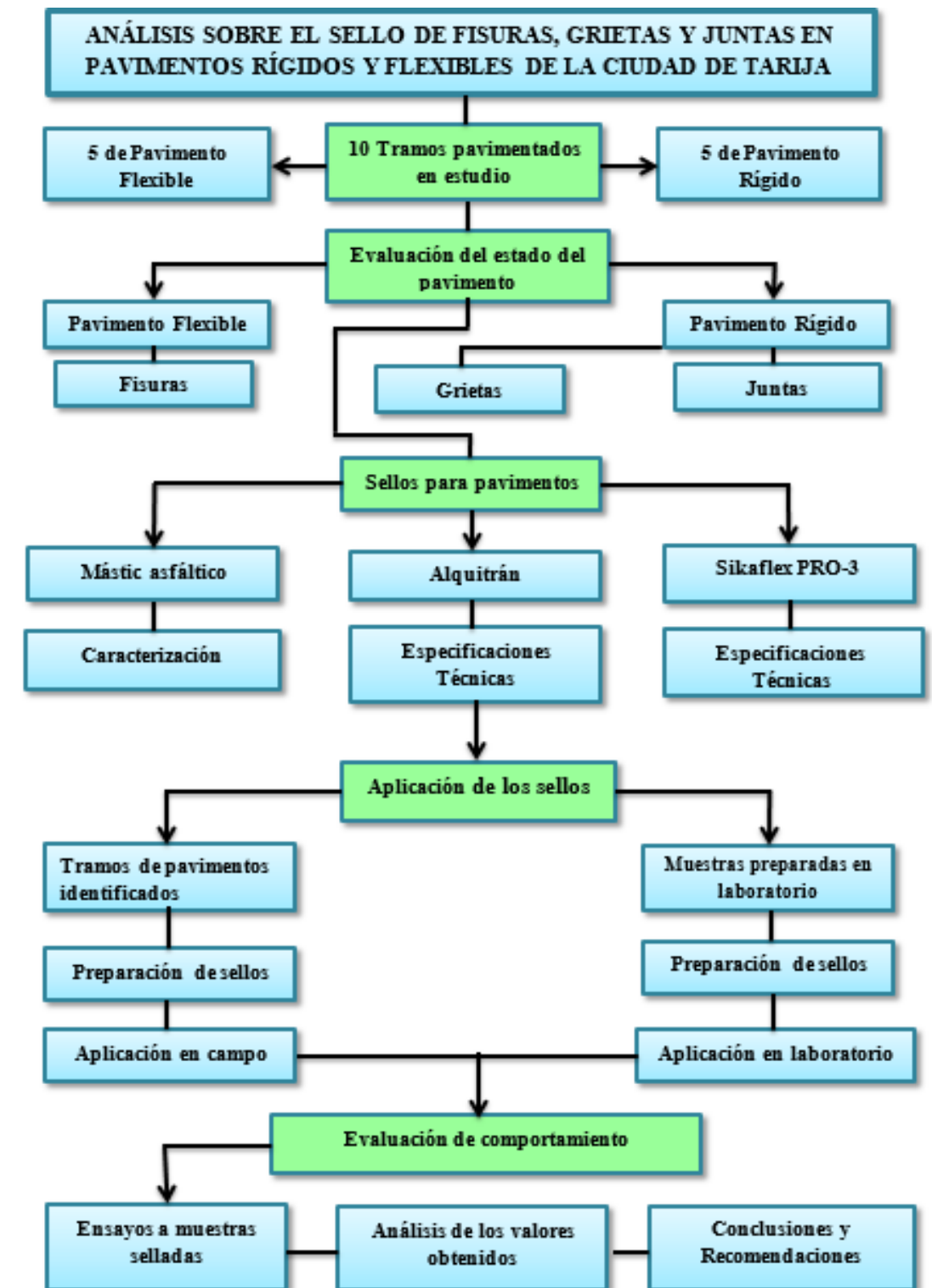
Tabla 1.2: Detalle de tipo y número de ensayos a realizar

Ensayo	Cantidad
Extracción de núcleos cilíndricos de carpeta asfáltica	15
Cortado de muestras prismáticas de 16x6x6 cm de pavimento flexible	15
Elaboración de probetas cilíndricas de hormigón	30
Elaboración de probetas prismáticas de hormigón de 53x15x15 cm	30
Extracción de testigos para caracterización de pavimento existente en los tramos de estudio.	10
Centrífugo para muestras de pavimento flexible	5
Granulometría del agregado existente	5
Caracterización de la arena	
Granulometría	3
Equivalente de arena	3
Peso unitario del agregado fino	3
Peso específico y absorción del agregado fino	3
Caracterización del cemento asfáltico	
Penetración	3
Ductilidad	3

Fuente: Elaboración propia

Punto de inflamación	3
Punto de ablandamiento	3
Peso específico	3
Viscosidad cinemática	3
Ensayos a muestras selladas	
Ensayo a compresión	45
Ensayo a flexión	45
Total	230

Esquema 1.1: Actividades en función al procedimiento definido por la perspectiva



Fuente: Elaboración propia

1.4.2.5. Detalle de la investigación

- Con un equipo extractor de núcleos, se extraerán 15 testigos de carpeta asfáltica removida, de 10 cm de diámetro y una altura de 6 cm, donde se generará una fisura de 3mm de ancho que será sellada con mástic asfáltico, alquitrán y Sikaflex PRO-3. Este tipo de muestras selladas serán evaluadas a través de la aplicación de fuerza a compresión bajo las mismas condiciones de carga, donde se analizará el comportamiento de cada uno de los sellos aplicados y un análisis comparativo entre los mismos.
- De la misma carpeta asfáltica de donde se obtuvieron los testigos cilíndricos, con una cortadora de disco se cortarán 15 muestras prismáticas de 16 cm de largo con una sección transversal de 6 x 6 cm, donde se generará en cada muestra una fisura de 3mm de ancho que será sellada con mástic asfáltico, alquitrán y Sikaflex PRO-3. Este tipo de muestras selladas serán evaluadas a través de la aplicación de fuerza a flexión bajo las mismas condiciones de carga, donde se analizará el comportamiento de cada uno de los sellos aplicados y un análisis comparativo entre los mismos.
- Para muestras de pavimento rígido se elaborarán en laboratorio probetas cilíndricas de hormigón de 15 cm de diámetro y una altura de 30 cm, donde se generará una grieta de 8 mm; de la misma manera a este tipo de muestras también se generará una junta de 20 mm de ancho y una profundidad de 1/4 de su altura; que se sellarán con mástic asfáltico, alquitrán y Sikaflex PRO-3, aplicando de esa manera los sellos a grietas y juntas en las muestras de pavimento rígido. Este tipo de muestras selladas serán evaluadas a través de la aplicación de fuerza a compresión bajo las mismas condiciones de carga donde se analizará el comportamiento de cada uno de los sellos aplicados y un análisis comparativo entre los mismos.

- De la misma manera se elaborarán vigas de hormigón de 53cm de largo y una sección transversal de 15 x 15 cm, donde se generará una grieta de 8 mm; asimismo a este tipo de muestras también se generará una junta de 20 mm de ancho y una profundidad de $\frac{1}{4}$ de su altura; que se sellarán con mástic asfáltico, alquitrán y Sikaflex PRO-3. aplicando de esa manera los sellos a grietas y juntas en las muestras de pavimento rígido. Este tipo de muestras selladas serán evaluadas a través de la aplicación de fuerza a flexión bajo las mismas condiciones de carga donde se analizará el comportamiento de cada uno de los sellos aplicados y un análisis comparativo entre los mismos.

Tabla 1.3: Detalle del número de muestras a sellar por material sellante

Muestra a ensayar	Tipo de falla a tratar	Número de muestras a sellar			Ensayo de evaluación	Análisis
		Mástic asfáltico	Alquitrán	Sikaflex PRO-3		
Muestras cilíndricas de carpeta asfáltica	Fisura	5	5	5	Compresión	Comportamiento de cada uno de los sellos sometido a las mismas condiciones de carga
Muestras prismáticas de carpeta asfáltica	Fisura	5	5	5	Flexión	
Probetas cilíndricas de hormigón	Grieta	5	5	5	Compresión	
Vigas de hormigón	Grieta	5	5	5	Flexión	
Probetas cilíndricas de hormigón	Junta	5	5	5	Compresión	
Vigas de hormigón	Junta	5	5	5	Flexión	

Fuente: Elaboración propia

Con el detalle de la tabla 1.3, procederemos a comparar y evaluar estadísticamente como ondulan y varían los comportamientos de los sellos aplicados a las muestras de pavimento rígido y flexible en estudio.

1.4.2.6. Análisis estadístico e interpretación de la información

Tenemos seleccionado que la investigación que realizaremos es de estadística descriptiva y no así probabilística.

Para la evaluación y validación de nuestra investigación utilizaremos la estadística cuyas fórmulas son las siguientes:

Centralización: Indican valores con respecto a los que los datos parecen agruparse.

- **Media.** - Es la media aritmética (promedio) de los valores de una variable. Suma de los valores dividido por el tamaño muestra.

Conveniente cuando los datos se encuentran simétricamente con respecto a ese valor. Muy sensible a valores extremos. Centro de gravedad de los datos.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra

x_i = Datos observados de la muestra

\bar{x} = Media aritmética de la muestra

- **Mediana.** - Es un conjunto de datos ordenados de menor a mayor, la mediana corresponde al dato central. Aquel que deja un 50% de la información bajo él y el otro 50% es mayor o igual. Es un valor que divide a las observaciones en dos grupos con el mismo número de individuos. Si el número es de datos par, se elige la media de los datos centrales.

Es conveniente cuando los datos son asimétricos. No es sensible a valores extremos.

$$Me = \begin{cases} \frac{x_{(\frac{n}{2})} + x_{(\frac{n}{2}+1)}}{2}, & \text{si } n \text{ es par} \\ x_{(\frac{n}{2}+1)}, & \text{si } n \text{ es impar} \end{cases}$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra

\bar{x} = Media aritmética de la muestra

Me = Mediana de la muestra

- **Moda.** -Es el/los, valor/valores donde la distribución de frecuencias alcanza un máximo.
- **Desviación estándar.** -Es la raíz cuadrada de la varianza es la más usada de las medidas de dispersión.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Dónde:

s = Desviación estándar muestral

n = Tamaño de la muestra

\bar{x} = Media aritmética de la muestra

x_i = Datos observados de la muestra

1.5. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance del presente trabajo de investigación será la realización de un análisis minucioso del comportamiento del sellado aplicado a 10 determinados tramos pavimentados de la ciudad de Tarija, 5 corresponden a pavimento rígido y 5 a pavimento flexible, de los cuales se analizará el tipo de deterioro que presente en cuanto a fisuración y agrietamiento y de acuerdo a ello determinar el material más conveniente para su respectivo sellado, de la misma manera analizar este mismo procedimiento de sellado aplicado a muestras de pavimentos preparadas en laboratorio. Lo que se busca es analizar las características y propiedades de tres diferentes materiales de sellado como son el mástic asfáltico, el alquitrán y el Sikaflex PRO-3, para su adecuada aplicación en los pavimentos, estableciendo así cuál de ellos es el más adecuado y conveniente para el sellado de fisuras en pavimentos flexibles, como para el sellado de grietas y juntas en pavimentos rígidos.

El tiempo empleado en realizar la investigación es de aproximadamente 4 meses donde utilizaremos los laboratorios de asfaltos y de resistencia de materiales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, en donde se realizarán los respectivos ensayos de caracterización de los materiales, la respectiva aplicación de los sellos a las muestras y los ensayos de evaluación de los mismos.

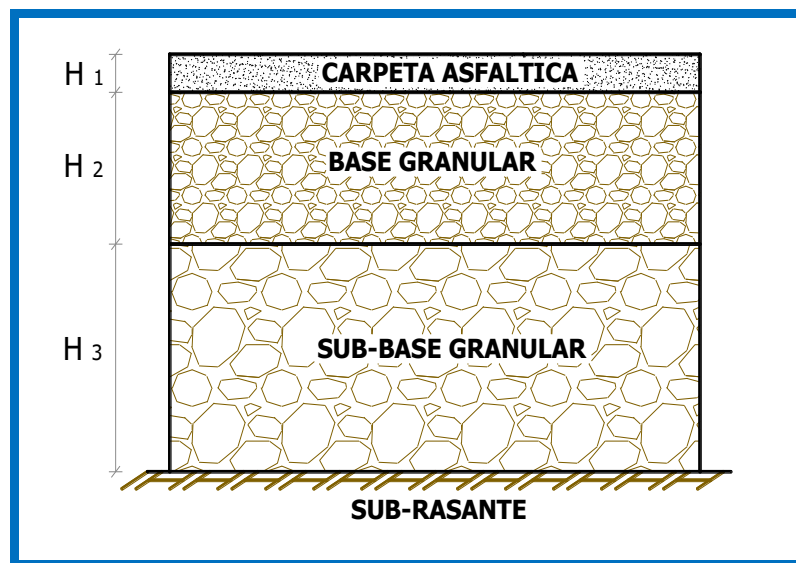
CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES EN PAVIMENTOS

2.1. PAVIMENTOS

El pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante. Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado período de tiempo.

Figura 2.1: Paquete estructural de un pavimento



Fuente: Maestría de Ingeniería Vial: Explanaciones y firmas

El pavimento como estructura vial se debe caracterizar por:

- Resistir las cargas impuestas por el tránsito vehicular.
- Soportar la acción del medio ambiente.
- Transmitir al suelo de fundación, esfuerzos y deformaciones tolerables.

- Proporcionar la circulación de los vehículos con rapidez, comodidad, economía y seguridad; lo cual conlleva a que sea una estructura durable y además, que presente una textura adecuada para el tráfico.

Las diferentes capas de material seleccionado que conforman el paquete estructural, reciben directamente las cargas de tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada. Es por ello que todo pavimento deberá presentar la resistencia adecuada para soportar los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua, así como abrasiones y punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos o la compresión de elementos que se apoyan sobre él.

2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS

No siempre un pavimento se compone de las capas señaladas en la figura 2.1. La ausencia o reemplazo de una o varias de esas capas depende de diversos factores, como por ejemplo del soporte de la subrasante, de la clase de material a usarse, de la intensidad de tránsito, entre otros.

Por esta razón, pueden identificarse 2 tipos de pavimentos, que se diferencian principalmente por el paquete estructural que presentan:

- Pavimento flexible
- Pavimento rígido

2.2.1. Pavimento flexible

También llamado pavimento asfáltico, el pavimento flexible está conformado por una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones en las capas inferiores sin que la estructura falle. Luego, debajo de la carpeta, se encuentran la base granular y la capa de subbase, destinadas a distribuir y

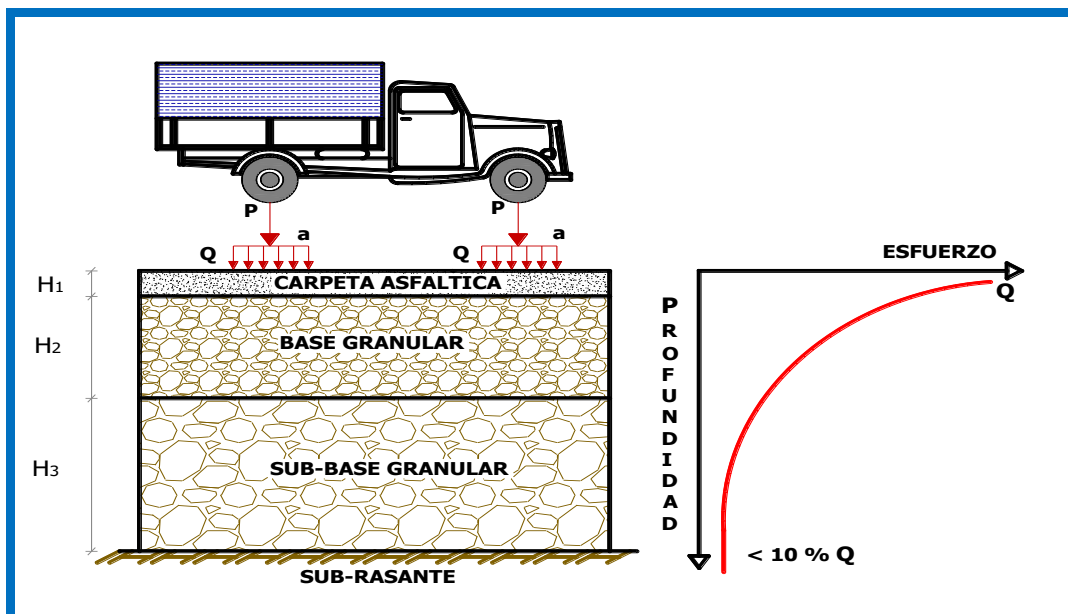
transmitir las cargas originadas por el tránsito. Finalmente está la subrasante que sirve de soporte a las capas antes mencionadas.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

Este tipo de pavimento, presenta las siguientes particularidades:

- Las capas granulares, se colocan para disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.
- Se considera que los esfuerzos se han disipado, cuando el esfuerzo en un punto cualquiera, es menor que el 10% de la presión de contacto.
- En pavimentos flexibles, apoyados sobre Sub-rasante fina, por ningún motivo, se debe omitir la Sub-base Granular.

Figura 2.2: Mecanismo de disipación de esfuerzos en pavimentos flexibles



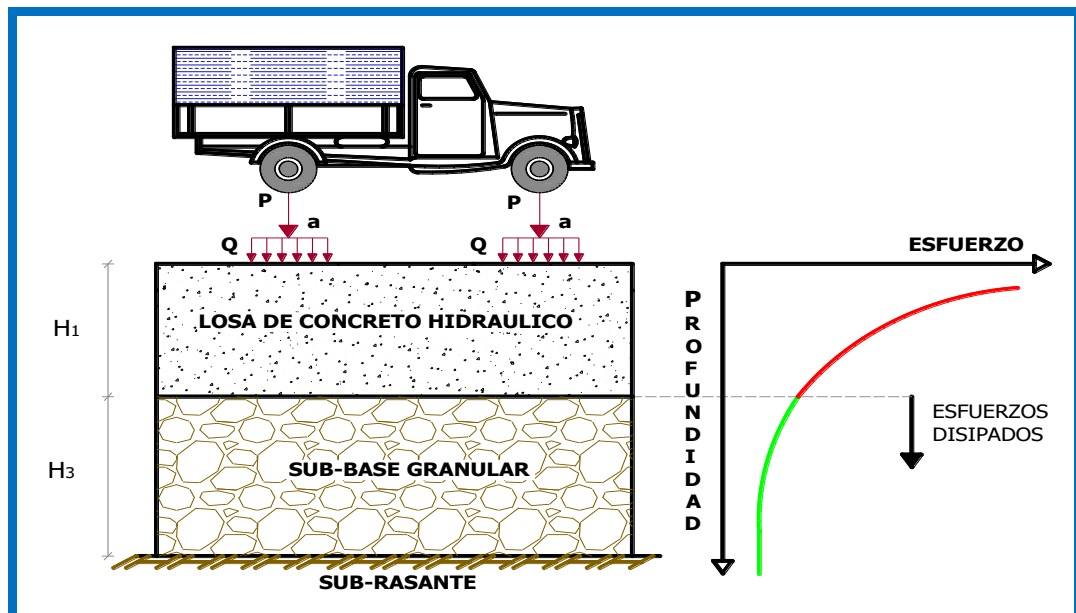
Fuente: Maestría de Ingeniería Vial Versión II: Explanaciones y firmas

2.2.2. Pavimento rígido

El pavimento rígido o pavimento hidráulico, se compone de losas de concreto hidráulico que algunas veces presentan acero de refuerzo. Esta losa va sobre la base (o subbase) y ésta sobre la subrasante. Este tipo de pavimentos no permite deformaciones de las capas inferiores. El pavimento rígido tiene un costo inicial más elevado que el pavimento flexible y su período de vida varía entre 20 y 40 años. El mantenimiento que requiere es mínimo y se orienta generalmente al tratamiento de juntas de las losas.

- La losa, es el elemento encargado de dar el aporte estructural del pavimento.
- La sub-base granular, debe dar a la losa un apoyo óptimo a lo largo del tiempo de servicio de la estructura, controlando su deformabilidad.
- La deformación de la sub-base granular de apoyo, produce salida de agua y de su material fino, produciendo la descompactación del apoyo y su erosión.
- Una forma de disminuir considerablemente el efecto erosivo producido por el tránsito en el apoyo, es utilizar una base asfáltica para esta función.

Figura 2.3: Mecanismo de distribución de esfuerzos en pavimentos rígidos

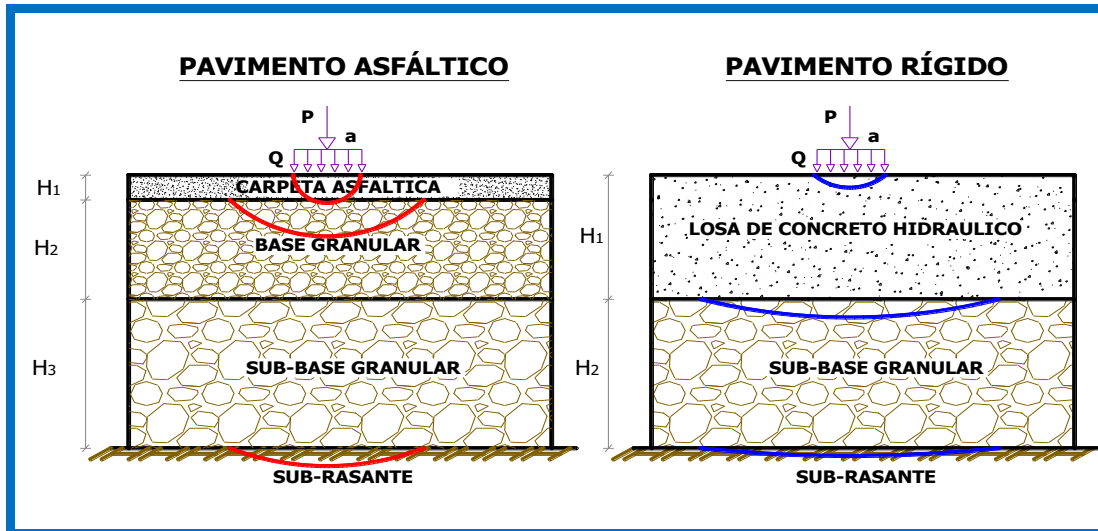


Fuente: Maestría de Ingeniería Vial Versión II: Explanaciones y firmes

2.2.3. Diferencia entre pavimento flexible y rígido

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles cargas es muy diferente, tal como se puede ver a continuación.

Figura 2.4: Diferencia entre pavimento flexible y pavimento rígido



Fuente: Maestría de Ingeniería Vial Versión II: Explanaciones y firmes

La principal diferencia entre el comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la forma cómo se reparten las cargas.

En un pavimento flexible, la distribución de la carga está determinada por las características del sistema de capas que lo conforman. Las capas de mejor calidad están cerca de la superficie donde las tensiones son mayores, y estas cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores.

En el caso de pavimentos rígidos, la losa es la capa que asume casi toda la carga. Las capas inferiores a la losa, en términos de resistencia, son despreciables.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub-rasante.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la sub-rasante.

2.3. FUNCIONES DE LAS CAPAS DE LOS PAVIMENTOS

2.3.1. Funciones de las capas de pavimentos flexibles

Como se vió en el punto 2.2. Tipos de pavimentos, los pavimentos flexibles están constituidos por las siguientes capas: carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante. A continuación, se explica a detalle cada uno de estos elementos y las funciones que cumplen los mismos.

Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, y es la que le proporciona la superficie de rodamiento a la vía. Las funciones que cumple la carpeta asfáltica son:

- Impermeabilizar la superficie evitando el ingreso de agua que podría saturar las capas inferiores.
- Evita la desintegración de las capas subyacentes y contribuye al resto de capas a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos.
- Da la resistencia a la tracción en la estructura.
- Proporciona una superficie uniforme, estable y segura al tránsito.

Esta capa es la más expuesta al intemperismo y a los efectos abrasivos de los vehículos, por lo que necesita de mantenimientos periódicos para garantizar su adecuada performance.

Base

Es la capa de pavimento ubicada debajo de la superficie de rodadura y tiene como función primordial soportar, distribuir y transmitir las cargas a la subbase, que se encuentra en la parte inferior. Además, esta capa cumple las siguientes funciones:

- Es de gran aporte estructural, debido a las características de gradación y trituración de sus partículas (finos no plásticos).
- Economía con respecto a la carpeta asfáltica.

- Buen drenaje, debido a que presenta pocos finos.
- Sirve como rodadura provisional.

Subbase

La sub base se localiza en la parte inferior de la base, por encima de la subrasante. Es la capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas en la carpeta asfáltica. Esta capa cumple además con las siguientes funciones:

- Economía con respecto a la base y al concreto asfáltico.
- Transición entre materiales de distinta calidad.
- Control de deformaciones, absorbiendo los cambios volumétricos de la subrasante.
- Debido a su distribución granulométrica, sirve para romper la capilaridad ayudando a mantener un buen drenaje en la estructura.
- Presenta muy poco aporte estructural, debido a las características de forma, textura y gradación de sus partículas.

Subrasante

La subrasante es la capa de terreno que soporta el paquete estructural y que se extiende hasta una profundidad en la cual no influyen las cargas de tránsito.

Esta capa puede estar formada en corte o relleno, dependiendo de las características del suelo encontrado. Una vez compactada, debe tener las propiedades, secciones transversales y pendientes especificadas de la vía.

El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la de la subrasante, por lo que esta debe cumplir con los requisitos de estabilidad, incompresibilidad y resistencia a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

2.3.2. Funciones de las capas de pavimentos rígidos

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, subbase y la losa de concreto. A continuación, se hará una breve descripción de cada uno de estos elementos y las funciones que cumplen cada uno de ellos.

Losa de concreto

Las funciones que cumple la losa de concreto en el pavimento son:

- Su principal función es el aporte estructural, ya que, del paquete de la estructura, es el único elemento que da resistencia. El parámetro de diseño, es el módulo de rotura.
- Proporciona una superficie uniforme, estable y segura al tránsito.
- Impermeabiliza la estructura del pavimento, aunque se debe ser muy estricto en el procedimiento de sellado de juntas.

Subbase

La capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado. Las funciones que cumple son:

- Prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo.
- Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.
- Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

Subrasante

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es

que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

2.4. EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie y estructura del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas necesarias de reparación y mantenimiento. Con la evaluación se pretende determinar cómo intervenir un pavimento para prolongar su vida útil.

La importancia de la evaluación radica en que permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima.

La evaluación superficial del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la comodidad, seguridad y economía.

Existen varios métodos utilizados para la evaluación superficial de los pavimentos, estos métodos son sencillos de aplicar y no requieren equipos experimentados.

La inspección visual es una de las herramientas más importantes en la aplicación y evaluación de estos métodos, y forma parte esencial de toda la investigación.

La inspección visual se realiza generalmente en dos etapas, una inicial y otra detallada. Con la inspección visual inicial se pretende obtener una inspección general del proyecto. Esta tarea se realiza sobre un vehículo conduciendo a baja velocidad abarcando toda la longitud de la vía. Por otro lado, la inspección visual detallada consiste en inspeccionar la vía caminando sobre ella y tomando notas detalladas de las fallas encontradas en la superficie.

2.4.1. Procedimiento para la evaluación superficial de pavimentos

Para efectuar la evaluación superficial de pavimentos, se han considerado tres pasos importantes a realizar en base a la necesidad de identificar los defectos o fallas del pavimento, que serán materia de evaluación específicamente en relación a las características físicas de la calzada y su superficie de rodadura.

A continuación se describen en forma resumida los pasos a seguir para efectuar la evaluación superficial de los pavimentos, mediante la inspección visual de las vías¹

a) Paso 1: Inspección visual de las vías

Para tal efecto, se efectúa un recorrido de la vía a estudiar, con el fin de obtener información sistematizada para lo cual será necesario seleccionar tramos de características y condiciones homogéneas.

En un vehículo se manejará lentamente sobre la vía para inspeccionar visualmente las condiciones generales de la superficie del pavimento, seleccionando tramos según la uniformidad de las condiciones.

b) Paso 2: Observación de fallas

Determinar las condiciones del pavimento recorriendo la vía lentamente para observar manifestación de fallas. Se deben hacer dos o tres paradas por tramo para examinar las fallas en función de tipo, severidad, extensión de la manifestación y ocurrencia de dichas fallas.

c) Paso 3: Registro en planilla de evaluación

Se deberá efectuar registro de todo lo observado en el recorrido de la inspección visual, anotando todas las manifestaciones de fallas correspondientes, que permita determinar los tratamientos de mantenimiento posibles de aplicar.

2.5. FALLAS SUPERFICIALES EN PAVIMENTOS

Se entenderá por falla o deterioro de un pavimento, como la serie de daños y manifestaciones superficiales de la capa de rodadura que perjudican la condición de

¹ BOOZ HALLEN HAMILTON, BARRIGA DALL'ORTO Y WILBUR SMITH, (1999) Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos, Lima – Perú.

circulación segura y confortable, y que a su vez son capaces de incrementar los costos de operación vehicular.

Las fallas en la superficie de rodamiento, se manifiestan en la capa de rodadura y no guardan relación con la estructura de la calzada. La corrección de estas se fallas se efectúa con solo regularizar su superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad. El deterioro de la superficie es cualquier indicación desfavorable del desempeño del pavimento o señales de falla inminente; cualquier desempeño poco satisfactorio de un pavimento se considera una falla.

2.5.1. Fallas superficiales en pavimentos flexibles

En el presente documento se considerará como principal tipo de deterioro que pueden presentarse en los pavimentos flexibles, los diferentes tipos de fisuras existentes en su superficie, que pueden ser tratadas con la aplicación de un sellado adecuado y oportuno de las mismas.

2.5.1.1. Fisuras

Definición:

Se define como fisuras a aquellas aberturas finas, cuyo ancho sea igual o menor a los 3 mm.²

Los tipos de fisuras, correspondientes al deterioro superficial que pueda sufrir el pavimento flexible, pueden ser clasificados en:

- Fisuras longitudinales
- Fisuras transversales
- Fisuras de borde
- Fisuras en bloque

A continuación, se presenta la definición de cada uno de estos deterioros, sus severidades (clasificadas en baja, media y alta) la forma de medir el daño y las unidades

² CORONADO JORGE. Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. (Pag.5) Normas y Procedimientos de Ejecución para Mantenimiento Vial. Guatemala: Editorial SIECA .2000.

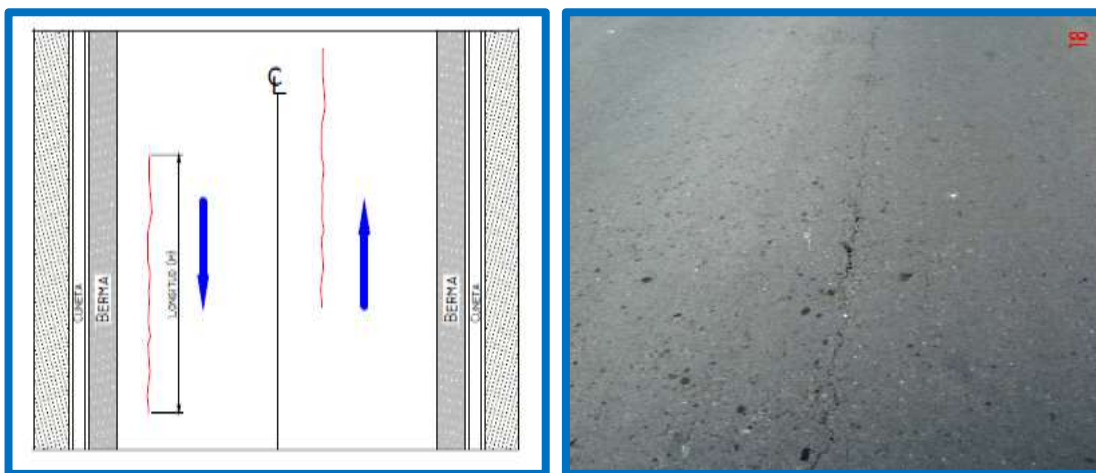
de medida, sus posibles causas y la evolución probable, todo ello acompañado de un registro fotográfico que permite tener una idea más clara de los daños que se pueden encontrar durante una inspección visual típica.

Los niveles de severidad son criterios adoptados para diferenciar la gravedad del daño, esto se basa fundamentalmente en la apreciación del grado de deterioro que pueda presentar cada daño en particular. En términos generales, los niveles de severidad adoptados en el presente apartado son: severidad baja, severidad media y severidad alta; a medida que se van definiendo los diferentes tipos de deterioros se van definiendo también las características de cada nivel de acuerdo a cada deterioro en particular.

2.5.1.1.1. Fisuras longitudinales

Este tipo de fisuras corresponden al tipo de fracturación que se extiende a través de la superficie del pavimento, paralelamente al eje de la carretera, pudiendo localizarse en las huellas de canalización de tránsito, en el eje o en los bordes del pavimento. La ubicación de la fisura es indicativa de la causa más probable que la generó.

Figura 2.5: Esquema y vista típica de una fisura longitudinal



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles

Causas posibles. - Las causas más comunes son:

- Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante las 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.
- Fatiga de la estructura, usualmente se presenta en las huellas del tránsito.
- Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
- Riego de liga insuficiente ausencia total de la misma.
- Espesor insuficiente de la capa de rodadura.

Niveles de severidad: ³

- **Baja:** Abertura de la fisura menor a 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 a 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.

Medición del deterioro:

Se miden en metros (m), es posible determinar el área de afectación por este deterioro en metros cuadrados (m²) multiplicando la longitud total de fisuras por un ancho de referencia establecido en 0.6 m, esto para fines del análisis del área total afectada. Cuando en una misma fisura existan diferentes severidades, de ser posible se reportará

³ MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VIAS- Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles (Pag.2). Bogotá Colombia. 2006

la longitud correspondiente a cada severidad, de lo contrario se reportará la longitud total de la fisura con el mayor nivel de severidad presente.

Evolución probable:

Se pueden generar: piel de cocodrilo, desintegración, descascaramientos asentamientos longitudinales o transversales (por ingreso del agua) fisuras de bloque.

Reparación:

En cualquier nivel, reparar las fisuras aplicando el respectivo sellado de fisuras y grietas.

2.5.1.1.2. Fisuras transversales

Este tipo de fisuras corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, ubicadas transversalmente a la dirección del tránsito. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las 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.

Figura 2.6: Esquema y vista típica de una fisura transversal



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles

Causas posibles. - Las causas más comunes en 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 las 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.
- Riego de liga insuficiente ausencia total de la misma.
- Espesor insuficiente de la capa de rodadura.

Niveles de severidad:⁴

- **Baja:** Abertura de la fisura menor a 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 a 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.

Medición del deterioro:

Se miden en metros (m), es posible determinar el área de afectación por este deterioro en metros cuadrados (m²) multiplicando la longitud total de fisuras por un ancho de referencia establecido en 0.6 m, esto para fines del análisis del área total afectada. Cuando en una misma fisura existan diferentes severidades, de ser posible se reportará la longitud correspondiente a cada severidad, de lo contrario se reportará la longitud total de la fisura con el mayor nivel de severidad presente.

Evolución probable:

⁴ MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VIAS- Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles (Pag.3). Bogotá Colombia. 2006

Se pueden generar: piel de cocodrilo, desintegración, descascaramientos asentamientos longitudinales o transversales (por ingreso del agua) fisuras de bloque.

Reparación:

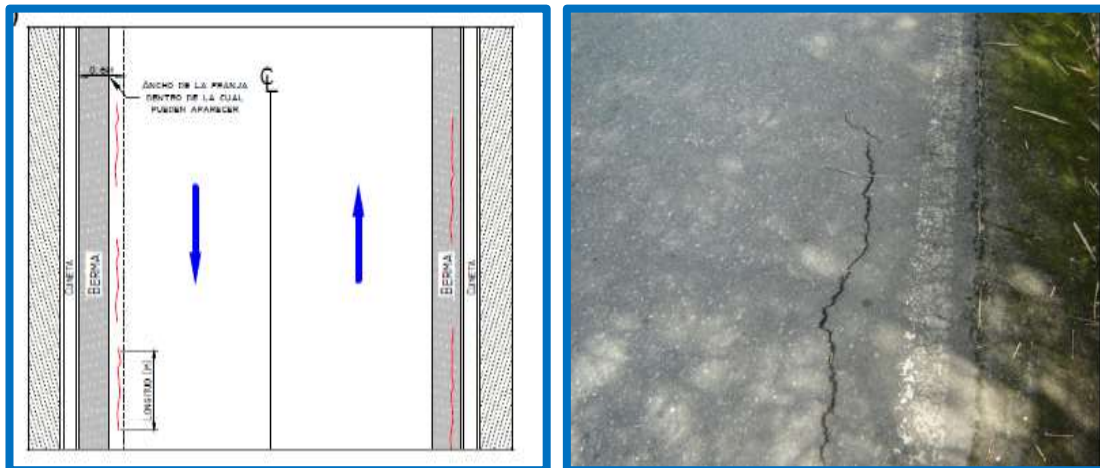
En cualquier nivel, reparar las fisuras aplicando el respectivo sellado de fisuras y grietas.

2.5.1.1.3. Fisuras de borde

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 en una franja paralela al borde, con ancho de hasta 0.6 m.

Figura 2.7: Esquema y vista típica de una fisura de borde



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles

Causas posibles:

La principal causa de este daño es la falta del confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia de bordillos, anchos de berma insuficientes o sobrecarpetas 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.

Niveles de Severidad y unidad de medición

Se aplican los mismos criterios que para fisuras longitudinales y transversales

Evolución probable:

Se puede generar desprendimiento del borde o descascaramiento.

Reparación:

En cualquier nivel, reparar las fisuras aplicando el respectivo sellado de fisuras y grietas.

2.5.1.1.4. Fisuras en bloque

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 0.30m.⁵

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.

⁵ CORONADO JORGE. Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. (Pag.5) Normas y Procedimientos de Ejecución para Mantenimiento Vial. Guatemala: Editorial SIECA .2000.

Figura 2.8: Esquema y vista típica de una fisura en bloque



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles

Causas posibles. - Las causas más comunes en ambos tipos de fisuras son:

- 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.

Niveles de severidad:

- **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 desportillamiento 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 desportillamientos en los bordes.⁶

Medición del deterioro:

Se registra el área de superficie de pavimento afectada por este en metros cuadrados (m²). Puede existir un área en la que se presenten diferentes severidades, caso en el que se registra el área correspondiente a cada una, de ser posible, o de lo contrario se registra toda el área afectada y se asigna el mayor grado de severidad.

Evolución probable:

Se pueden generar deterioros como la piel de cocodrilo o descascaramientos.

Reparación:

- Para severidad baja se aplica el respectivo sellado de cada fisura individual en mantenimiento rutinario.
- Para severidades media se debe realizar una lechada superficial o micro carpeta, en toda el área afectada.
- Para severidades altas se debe aplicar un recapado con nueva capa de rodadura con un espesor mayor 5 cm.

2.5.2. Fallas superficiales en pavimentos rígidos

⁶ MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VIAS- Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles (Pag.6). Bogotá Colombia. 2006

En el presente documento se considerarán como principales tipos de deterioros que pueden presentarse en los pavimentos rígidos, las grietas existentes en su superficie y los daños en las juntas, siendo estos, deterioros que pueden ser tratados con el respectivo sellado de los mismos.

2.5.2.1. Grietas

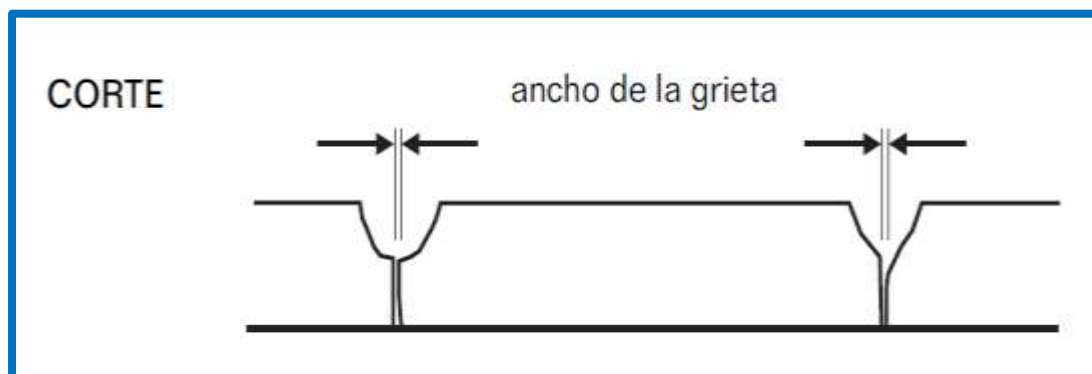
Definición:

Se define como grietas a aquellas aberturas cuyo ancho por lo general es mayor a los 3 mm. Este grupo de deterioros incluye todas las discontinuidades y fracturas que afectan las losas del concreto.⁷

Los tipos de grietas, correspondientes al deterioro superficial que pueda sufrir el pavimento rígido, pueden ser clasificados en:

- Grietas longitudinales
- Grietas transversales
- Grietas de esquina
- Grietas en bloque o Fracturación múltiple

Figura 2.9: Representación de una grieta



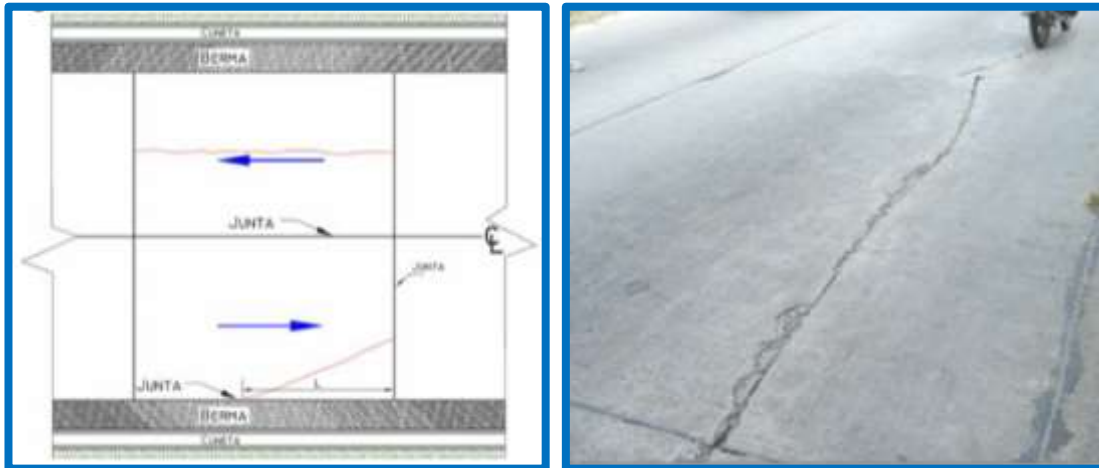
Fuente: "Catalogo de deterioros de pavimentos rígidos"

2.5.2.1.1. Grietas longitudinales

⁷ CORONADO JORGE. Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. (Pag.5) Normas y Procedimientos de Ejecución para Mantenimiento Vial. Guatemala: Editorial SIECA .2000.

Grietas que son predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce a una distancia (L en la Figura) mucho mayor que la mitad del ancho de la losa.

Figura 2.10: Esquema y vista típica de una grieta longitudinal



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Rígidos

Causas posibles:

- Asentamiento de la base o la subrasante.
- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base o alabeo térmico.
- Losa de ancho excesivo.
- Carencia de una junta longitudinal.
- Aserrado tardío de la junta.
- Contracción del concreto.

Niveles de severidad: ⁸

- **Baja:** Grietas selladas o con abertura menor a 0.003 m (3 mm). Escalonamiento imperceptible.
- **Media:** Aberturas entre 0.003m y 0.01m (3 – 10 mm).

⁸ CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMERICA. Catálogo de deterioros de Pavimentos Rígidos. Volumen N°12.2002

- **Alta:** Aberturas mayores a 0.01 m (10mm). Se presenta escalonamiento mucho mayor a 0.0015 m (15mm).

Medición del deterioro:

Se debe medir la longitud de la grieta en metros y el ancho de su abertura, reportando la cantidad de grietas longitudinales presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas, estas siempre serán reportadas y tendrán un nivel de severidad bajo.

Evolución probable:

Los deterioros con mayor probabilidad de ocurrencia debido su evolución son el incremento de los escalonamientos y las fracturas múltiples en las losas.

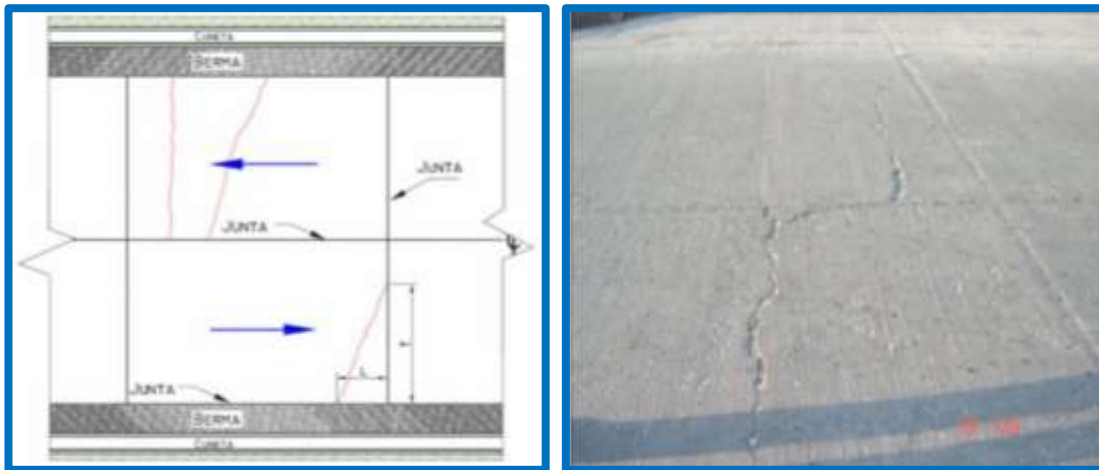
Reparación:

- Para niveles de severidad baja y media se aplica el respectivo sellado de fisuras y grietas
- Para nivel de severidad alta, se debe aplicar una reparación en todo el espesor del tramo dañado.

2.5.2.1.2. Grietas transversales

Grietas que se presentan perpendiculares al eje de la calzada. Pueden extenderse desde una junta transversal hasta la junta longitudinal, siempre que la intersección con la junta transversal esté a una distancia del borde (T) mayor que la mitad del ancho de la losa y la intersección con la junta longitudinal se encuentre a una distancia inferior que la mitad del largo de la losa (L).

Figura 2.11: Esquema y vista típica de una grieta transversal



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Rígidos

Causas posibles:

- Asentamiento de la base o la subrasante.
- Losas de longitud excesiva.
- Junta de contracción aserrada o formada tardíamente.
- Espesor de la losa insuficiente para soportar solicitaciones.
- Retracción térmica que origina alabeos.

Niveles de severidad:⁹

- **Baja:** Grietas selladas o con abertura menor a 0.003 m (3 mm). Escalonamiento imperceptible.
- **Media:** Aberturas entre 0.003m y 0.01m (3 – 10 mm).
- **Alta:** Aberturas mayores a 0.01 m (10mm). Se presenta escalonamiento mucho mayor a 0.006 m (6mm).

Medición del deterioro:

Se debe medir la longitud de la grieta en metros y el ancho de su abertura, reportando la cantidad de grietas transversales presentes en cada losa para cada nivel de severidad.

⁹ CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMERICA, Catalogo de Deterioros de Pavimentos Rígidos – Volumen N° 12 2002

Evolución probable:

El daño con mayor probabilidad de aparición como consecuencia de la evolución de las grietas transversales son las grietas de bloque, también puede haber escalonamiento por la entrada de agua.

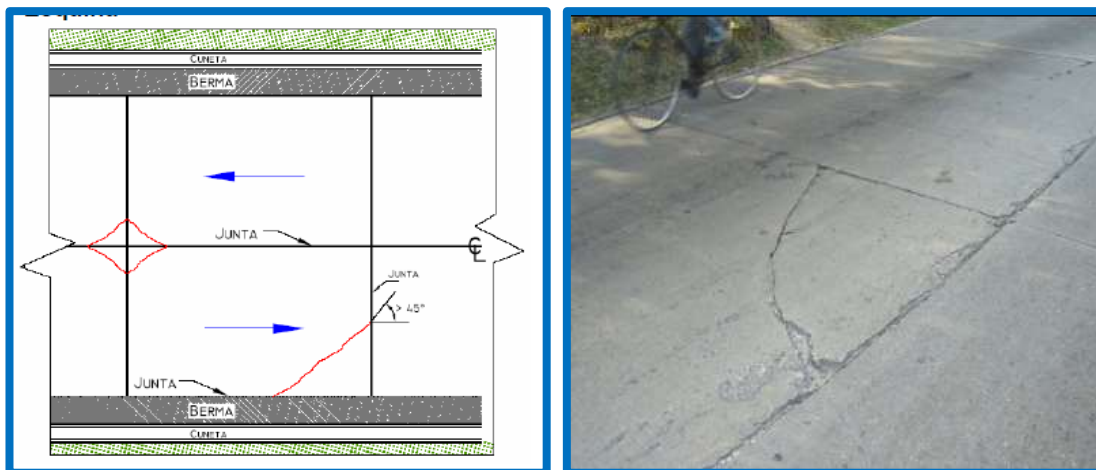
Reparación:

- Para niveles de severidad baja y media se aplica el respectivo sellado de juntas y grietas
- Para nivel de severidad alta, se debe aplicar una reparación en todo el espesor según corresponda.

2.5.2.1.3. Grietas de esquina

Este tipo de deterioro genera un bloque de forma triangular en la losa; se presenta generalmente al interceptar las juntas transversal y longitudinal, describiendo un ángulo mayor a 45° , con respecto a la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo varía entre 0.30 m y la mitad del ancho de la losa.¹⁰

Figura 2.12: Esquema y vista típica de una grieta de esquina



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Rígidos

¹⁰ MINISTERIO DE TRANSPORTE-INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS- Manual de Inspección Visual para Pavimentos Rígidos- (Pág.6) Bogotá Octubre de 2006

Causas posibles. - Las principales causas de la formación de grietas de esquina son:

- Asentamiento de la base y/o la subrasante.
- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base o alabeo térmico.
- Sobrecarga en las esquinas.
- Deficiente transmisión de cargas entre las losas adyacentes.

Niveles de severidad: ¹¹

- **Baja:** Grietas selladas o con abertura menor a 0.003 m (3 mm). Escalonamiento imperceptible y el bloque de la esquina está completo.
- **Media:** Aberturas entre 0.003m y 0.01m (3 – 10 mm) y el bloque de la esquina está completo.
- **Alta:** Aberturas mayores a 0.01 m (10mm). Se presenta escalonamiento y el bloque de la esquina está quebrado en dos o más pedazos.

Medición del deterioro:

Se debe medir la longitud de la grieta en metros y el ancho de su abertura, reportando la cantidad de grietas de esquina presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas, estas siempre serán reportadas y tendrán un nivel de severidad bajo.

Evolución probable:

Se pueden generar o incrementar los escalonamientos y producir fracturas múltiples en las losas.

Reparación

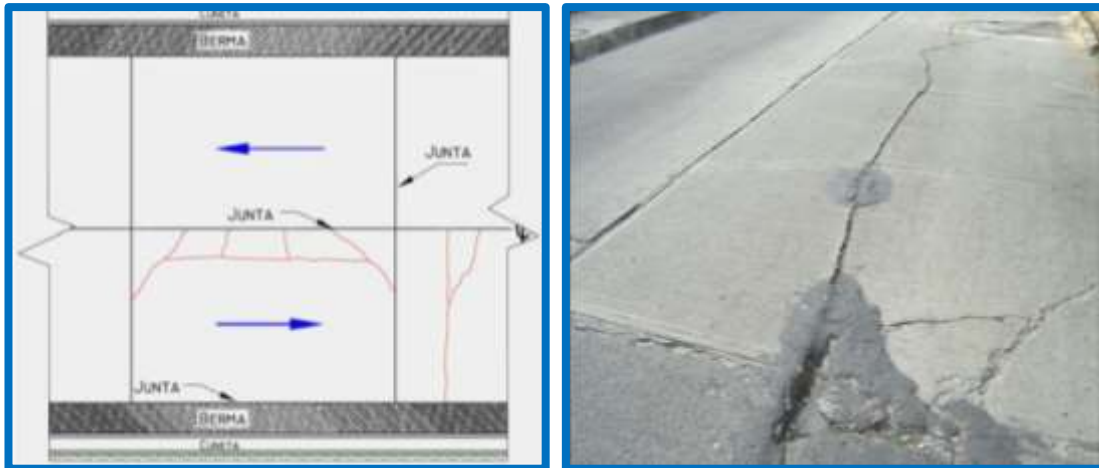
- Para severidad baja se aplica el respectivo sellado de fisuras y grietas
- Para severidades media y alta, se debe aplicar una reparación en todo el espesor según corresponda.

¹¹ MINISTERIO DE TRANSPORTE-INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS- Manual de Inspección Visual para Pavimentos Rígidos- (Pág.6) Bogotá Octubre de 2006

2.5.2.1.4. Grietas en bloque o fracturación múltiple

Aparecen por la unión de grietas longitudinales y transversales formando bloques a lo largo de la placa. Este grupo también comprende las grietas en “Y”.

Figura 2.13: Esquema y vista típica de grietas en bloque



Fuente: Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Rígidos

Causas posibles:

La fracturación múltiple, puede ser causada por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto), el equivocado diseño estructural y las condiciones de soporte deficiente. Es la evolución final del proceso de fisuración, que comienza formando una malla más o menos cerrada; el tránsito y la continua flexión de las losas aceleran la subdivisión en bloques más pequeños, favoreciendo el desportillamiento de sus bordes. Pueden presentar diversas formas y aspectos, pero con mayor frecuencia son delimitados por una junta y una fisura.

Niveles de severidad:

- **Baja:** Fisuramiento tipo malla, bien definido, pero sin descascaramiento.
- **Media:** Fisuramiento con descascaramiento que afecta menos del 10% de la superficie deteriorada.

- **Alta:** Fisuramiento con descascaramiento que afecta al 10% o más de la superficie deteriorada

Medición del deterioro:

Se mide el área afectada en metros cuadrados (m²) de cada placa y por cada nivel de severidad.

Evolución probable:

La evolución más probable de las grietas en bloque es el deterioro total de la estructura y/o hundimientos.

Reparación:

Para cualquier nivel de deterioro se debe aplicar el procedimiento denominado reparación de espesor parcial.

2.5.2.2. Daños en las juntas

Definición:

Se define como **junta** a la separación establecida entre dos partes contiguas de una obra, para permitir su expansión o retracción por causa de las temperaturas ambientales.

Debido a los cambios volumétricos que por su naturaleza experimenta el concreto y a los sistemas constructivos de los pavimentos rígidos, se hace necesaria la construcción de juntas y/o uniones entre losas de un pavimento.

La función de las juntas consiste en mantener las tensiones que se desarrollan en la estructura de un pavimento dentro de los valores admisibles del concreto o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas juntas.

De acuerdo a su ubicación respecto de la dirección principal o eje del pavimento, se denominan como longitudinales y transversales. Según la función que cumplen se les denomina de contracción, articulación, construcción, expansión y aislamiento.

Son muy importantes en la duración de la estructura, siendo una de las pautas para calificar la bondad de un pavimento. En consecuencia, la conservación y oportuna reparación de las fallas en las juntas son decisivas para la vida de servicio de un pavimento.

En las juntas suelen presentarse daños por el material usado como sello de las mismas, o por un inadecuado corte. Estos daños en las juntas correspondientes al deterioro superficial que pueda sufrir el pavimento rígido, pueden ser clasificados en:

- Separación de la junta longitudinal.
- Deterioro del Sello.
- Juntas saltadas.

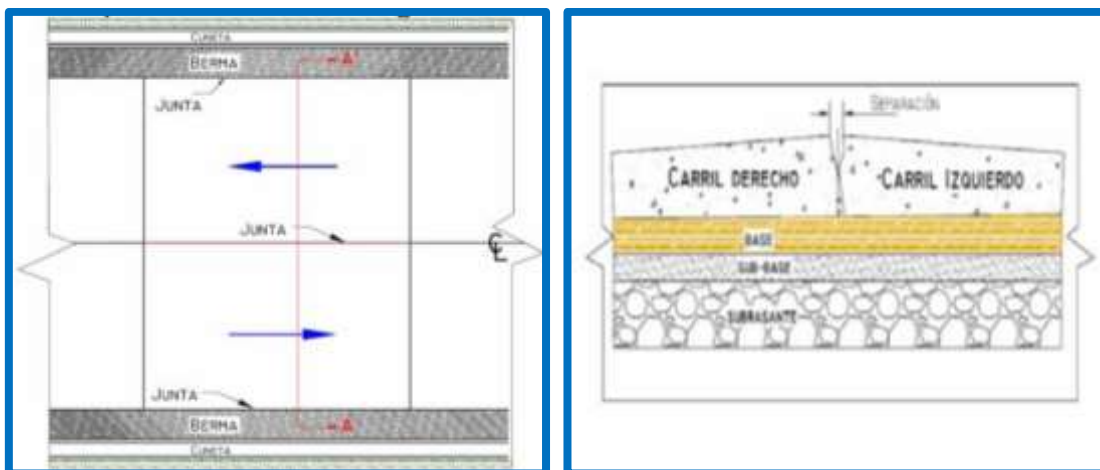
Cada uno de los daños correspondientes a cada categoría se describe a continuación, presentando su definición, nivel de severidad la forma de medición, sus posibles causas, su evolución probable y las reparaciones que pueden realizarse.

Las fotografías relacionadas con cada tipo de daño, se presentan a medida que se describe cada uno de ellos.

2.5.2.2.1. Separación de la junta longitudinal

Corresponde a una abertura de la junta longitudinal del pavimento.

Figura 2.14: Vista en planta y en perfil de separación de la junta longitudinal



Fuente: Manual de Inspección Visual de Pavimentos Rígidos

Figura 2.15: Vista típica de una separación de junta



Fuente: Manual de Inspección Visual de Pavimentos Rígidos

Posibles causas:

- Contracción o expansión diferencial de losas debido a la ausencia de barras de anclajes entre carriles adyacentes.
- Desplazamiento lateral de las losas motivado por un asentamiento diferencial en la subrasante.
- Ausencia de bermas.
- Asentamiento diferencial de la subrasante.

Niveles de severidad: ¹²

- **Baja:** Abertura menor a 0.003 m (3 mm). Levantamiento imperceptible, desportillamiento mínimo.
- **Media:** Aberturas entre 0.003m y 0.025m (3 – 25 mm).

¹² MINISTERIO DE TRANSPORTE-INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS- Manual de Inspección Visual para Pavimentos Rígidos- (Pág.14) Bogotá Octubre de 2006

- **Alta:** Aberturas mayores a 0.025 m (25mm). Se presenta diferencia de nivel entre losas adyacentes o altura sobre el nivel medio de la vía mucho mayor a 0.01 m (10 mm).

Medición del deterioro:

Se tomará la longitud en metros de la junta afectada por placa y se clasificará según el grado de severidad.

Evolución probable:

El deterioro con mayor posibilidad de ocurrencia debido a la evolución de una separación de junta longitudinal es la pérdida del perfil longitudinal, también puede haber bombeo debido a la entrada de agua en daño con severidad alta.

Reparación:

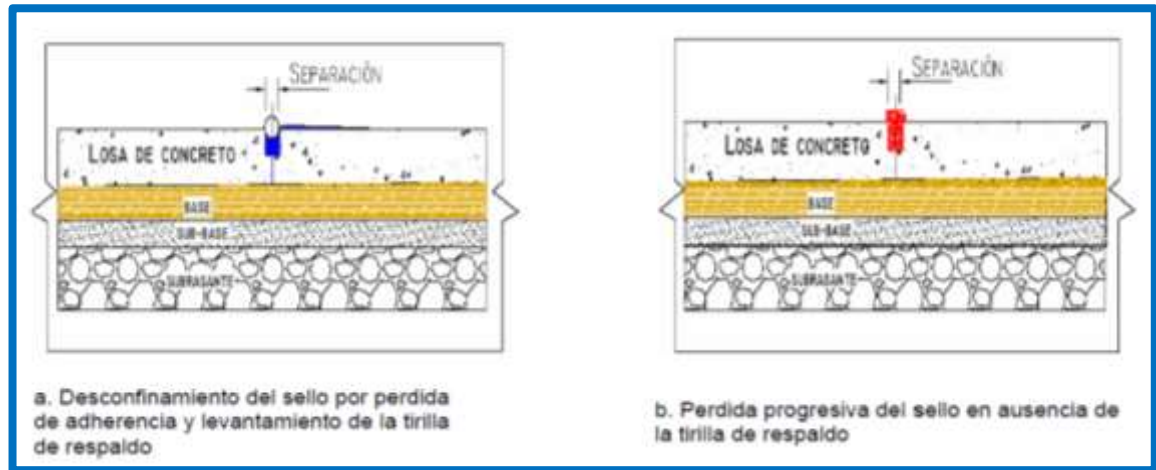
- Cuando la sección transversal no presenta deformaciones que signifiquen la pérdida de confort al manejar, se debe sellar.
- Si hay un nivel de severidad medio o alto se debe reconstruir el tramo, reconfirmando y re compactando la subrasante y colocando barras de amarre en la junta longitudinal.

2.5.2.2.2. Deterioro del sello

Desprendimiento o rompimiento del sello de las juntas longitudinales o transversales, que permiten la entrada de materiales incompresibles (piedras, arenas, etc.) y/o la infiltración de una cantidad considerable de agua superficial.

Se considera como deterioro del sello cualquiera de los siguientes defectos: extrusión del sello, endurecimiento, pérdida de adherencia entre el sello y la losa, pérdida parcial o total del sello e incrustación de materiales ajenos y crecimiento de vegetación.

Figura 2.16: Esquema de deterioro del sello



Fuente: Manual de Inspección Visual de Pavimentos Rígidos

Figura 2.17: Vista típica de deterioro del sello



Fuente: Manual de Inspección Visual de Pavimentos Rígidos

Posibles causas:

- Endurecimiento del sello: producto de mala calidad, envejecimiento
- Pérdida de adherencia entre el sello y la placa: producto de mala calidad, sellado mal colocado, paredes sucias al momento de aplicar el sello.

- Perdida de sello: producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente, movimiento relativo excesivo entre losas aledañas, poca consistencia del material de sello.
- Extrusión del material de sello: exceso de sello, producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente, incremento severo de temperatura que provoca el movimiento de las losas y el ablandamiento del material, puesta en servicio de la vía antes del fraguado del sello.
- Incrustación de material incomprensible: ocasionada por la cercanía de bermas no pavimentadas o la caída de materiales de vehículos que transitan por la vía.

Niveles de severidad: ¹³

- **Baja:** Longitud con deficiencias de sellado menor al 5% de la longitud de la junta y no existe riesgo de entrada de agua y/o material incomprensible.
- **Media:** Longitud con deficiencias de sellado entre 5% y el 25% de la longitud de la junta, y el resto del material sellante se encuentra en condición regular.
- **Alta:** Longitud con deficiencias de sellado mayor al 25% de la longitud de la junta, entrada de agua y/o material incomprensible, el cambio y el resellado debe ser inmediato.

Medición del deterioro:

Se tomará la longitud en metros de la junta afectada por placa especificando el nivel de severidad del daño. Se anotará la presencia de material incomprensible vegetación o entrada de agua.

Evolución probable:

El deterioro más probable a ocurrir debido a la evolución de la falla del sello es el desportillamiento y el bombeo.

Reparación:

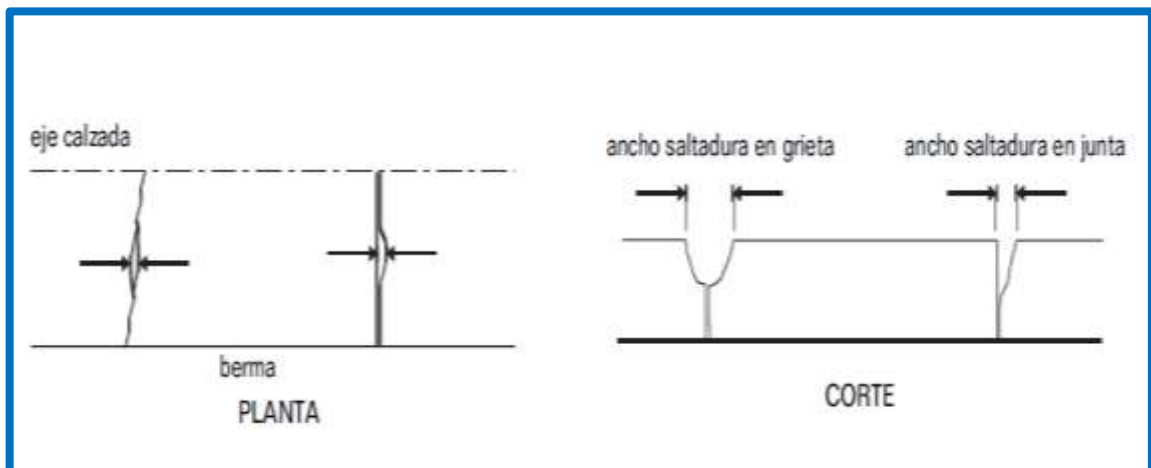
¹³ MINISTERIO DE TRANSPORTE-INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS- Manual de Inspección Visual para Pavimentos Rígidos- (Pág.15) Bogotá Octubre de 2006

- Retirar todo vestigio del antiguo sello, limpiar cuidadosamente la caja, imprimir con el material adecuado, cuando corresponda, colocar cordón de respaldo y vaciar la cantidad exacta de sellante, todo en conformidad con lo dispuesto en la operación de sellado de juntas y grietas.

2.5.2.2.3. Juntas saltadas

Desintegración de las aristas de una junta, longitudinal o transversal o una grieta, con pérdida de trozos y que puede afectar hasta unos 500 mm dentro de la losa, medidos como se indica en la Figura 2.18:

Figura 2.18: Esquema de las juntas saltadas



Fuente: Catálogo de deterioros de Pavimentos Rígidos

Figura 2.19: Vista típica de las juntas saltadas



Fuente: Catálogo de deterioros de Pavimentos Rígidos

Posibles causas:

- Debilitamiento de los bordes de la junta debido a un acabado excesivo u otro defecto de construcción.
- Penetración de partículas incomprensibles dentro de la caja de una junta u dentro de una grieta activa.

Niveles de severidad: ¹⁴

- **Baja:** Ancho de saltadura < 50 mm, medido al centro de la junta o grieta, con pérdida de material o saltaduras, sin pérdidas de material y no parchadas.
- **Media:** Ancho de saltadura mayor a 50mm y menor a 150 mm, medido al centro de la junta o grieta y con pérdida de material.
- **Alta:** Ancho de saltadura >150 mm, medido al centro de la junta o grieta y con pérdida de material.

Medición del deterioro:

Establecer para cada nivel de severidad la longitud (m) de juntas y grietas que presentan saltaduras.

¹⁴ CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERO E IBEROAMERICANA- Catalogo de Deterioros de Pavimentos Rígidos (Pág. 6.) Volumen N°12-2002

Evolución probable:

El deterioro más probable a ocurrir debido a la evolución de la falla del sello es el desportillamiento y el bombeo.

Reparación:

- Retirar todo vestigio del antiguo sello, limpiar cuidadosamente la caja, imprimir con el material adecuado, cuando corresponda, colocar cordón de respaldo y vaciar la cantidad exacta de sellante, todo en conformidad con lo dispuesto en la operación de sellado de juntas y grietas.

2.6. MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS

Las actividades de mantenimiento desempeñan un papel muy importante, para mantener en muy buen estado las carreteras de nuestro país, pero el objetivo de hacer énfasis en ellas en el desarrollo de este capítulo, es que estas al ser ejecutadas correctamente se obtienen excelentes resultados en el pavimento, que es el fin que se persigue con la ejecución de estas actividades.

Las técnicas de mantenimiento caen dentro de dos categorías generales: actividades correctivas y actividades preventivas. Las actividades correctivas reparan una falla dada y mejoran la serviciabilidad del pavimento. La reparación de espesor completo y reparación de espesor parcial son actividades correctivas. Las actividades preventivas son actividades que retardan o previenen la aparición de una falla con el fin de mantener una buena serviciabilidad. Resello de juntas y grietas, nivelación de bermas, instalación de drenes, son técnicas preventivas. El cepillado, la colocación de barras de traspaso de cargas, la estabilización de losas, pueden actuar como técnicas correctivas, como así también preventivas.

2.6.1. Clasificación del mantenimiento

Generalmente las actividades de mantenimiento de pavimentos se agrupan en dos categorías, preventivas y correctivas. El mantenimiento preventivo incluye aquellas actividades realizadas para proteger el pavimento y reducir su tasa de deterioro.

Por su parte el mantenimiento correctivo consiste en aquellas actividades ejecutadas para corregir fallas específicas del pavimento o áreas deterioradas.

Tabla 2.1: Tipos de mantenimiento

Tipo de mantenimiento	Características de las acciones	
	Alcance	Objetivo
Menor	Localizado	Preventivo
	(puntual)	Correctivo
Mayor	Toda el área	Efectivo
Fuente: Manual de Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos		Correctivo

A continuación, veremos el procedimiento de trabajo de las distintas técnicas de reparación en los pavimentos flexibles y rígidos.

2.6.1.1. Mantenimiento menor

El mantenimiento menor incluye acciones que se aplican a pequeñas áreas del pavimento para corregir fallas localizadas, mejorar su condición y/o controlar la tasa de deterioro.¹⁵

Dentro del mantenimiento menor se contemplan acciones aplicadas localmente, entre las cuales se pueden mencionar:

- Sellado de fisuras y grietas
- Bacheo
- Sello asfáltico localizado

¹⁵ JUGO B. AUGUSTO. Manual de Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos. (Pag.9). Acciones Básicas – Versión Revisada 2005

- Nivelación localizada
- Fresado y texturización localizada

El mantenimiento menor preventivo consiste en aquellas acciones que se ejecutan para proteger el pavimento y corregir fallas incipientes en su estado inicial de evolución. El mantenimiento correctivo se refiere a acciones ejecutadas para corregir o reparar fallas que afectan el nivel de servicio del pavimento, o presentan peligro para los usuarios. Si la condición del pavimento alcanza un alto grado de deterioro, las acciones de mantenimiento menor se hacen costosas y poco efectivas, difícilmente pueden mejorar la condición integral de la vía, y solo se logra mantenerla en una condición deficiente a un altísimo costo.

Estos dos aspectos, tanto el nivel de calidad; como el costo del mantenimiento menor son indicadores de falla y de que el pavimento requiere acciones de mantenimiento mayor.

2.6.1.2. Mantenimiento mayor

Las acciones de mantenimiento mayor son aplicadas a un tramo de vía, o al menos a una sección importante de la misma. Son actividades programadas y ejecutadas para el mejoramiento sustancial del pavimento.

Dentro de las acciones de mantenimiento mayor se han considerado las siguientes:

- Tratamientos superficiales
- Capas asfálticas
- Remoción por fresado
- Reciclado

Este tipo de mantenimiento se ha clasificado en: efectivo y correctivo, este último se aplica cuando el nivel de servicio de una vía está por debajo del mínimo aceptable desde el punto de vista funcional, o presenta importante debilitamiento estructural. En

estos casos, se requieren acciones de mantenimiento mayor para corregir integralmente el problema. Este tipo de acciones se aplican al pavimento clasificado como "malo".

2.6.2. Mantenimiento menor de pavimentos flexibles

En este punto se hará referencia sobre la actividad objeto de análisis del presente proyecto, que es el sellado de fisuras en pavimento flexible, siendo esta una de las actividades de mantenimiento menor en pavimentos.

2.6.2.1. Sellado de fisuras en pavimentos flexibles

Empezaremos con la definición de lo que es una fisura que por lo general se define como una abertura con un ancho igual o menor a 3 mm. Sin embargo de acuerdo al Manual de Carreteras y Conservación vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, este tipo de falla a tratar también se clasifica de acuerdo a su ancho de la siguiente manera:¹⁶

- **Fisura fina:** Son hendiduras o rajaduras delgadas que también se denomina micro fisuras, de varios orígenes, con un ancho igual o menor a 1mm.
- **Fisura media:** Son hendiduras o rajaduras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material, de varios orígenes, con un ancho mayor a 1mm y menor o igual a 3mm.
- **Fisura gruesa (grietas):** Son hendiduras o rajaduras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material denominada también grietas, de varios orígenes, con un ancho mayor a 3mm.

Considerando dicha clasificación de lo que es una fisura, en este punto se tratará lo que es el sellado de fisuras medias en función de la aplicación de esta actividad de mantenimiento al pavimento flexible.

2.6.2.1.1. Descripción

¹⁶ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES-Manual de Carreteras y Conservación Vial (Pag.13). Perú, 2013

Este trabajo consiste en la ejecución de las labores necesarias para el sellado de fisuras de abertura menor o igual a 3 mm, aparecidas en la superficie del pavimento, mediante el sellado en frío o caliente, con un sellante adecuado.

El sello de fisuras en una superficie de carpeta asfáltica, es una actividad de mantenimiento preventivo y se debe realizar cuando estas se han reflejado claramente en el pavimento.

Figura 2.20: Sellado de fisuras

La actividad de sellado de fisuras debe ser realizada en el menor tiempo posible después de que ellas se han desarrollado y han hecho su aparición visible en el pavimento.

La determinación del nivel de deterioro y el tipo de intervención, será según la metodología de evaluación que lo determine, como referencia, se deben considerar los siguientes aspectos para

justificar las intervenciones que se proponen en esta sección:

Fuente: Consejos prácticos- Insumos viales S.A.

Considerar anchos de fisura ≤ 3 mm, para los siguientes tipos de fisuramiento:

- **Fisura longitudinal:** Fisura paralela a la línea de centro de la carretera.
- **Fisura transversal:** Fisura transversal a la línea de centro de la carretera.
- **En borde:** Las fisuras de borde son paralelas al borde y usualmente separadas de 0,3 a 0,6m del borde externo del pavimento.
- **En bloque:** Las fisuras en bloque son fisuras interconectadas que dividen el pavimento en piezas aproximadamente rectangulares, los bloques van generalmente de 0,3m x 0,3m a 3m x 3m.



2.6.2.1.2. Objetivo y alcance

El objetivo del sellado de fisuras es impedir la entrada de agua y de materiales incompresibles (piedras, metales, entre otros) en la superficie de ruedo asfáltico, de esta manera, minimizar y retardar la formación de deterioros más severos como los de piel de cocodrilo (falla estructural) y la posterior aparición de huecos; lo que permite mejorar las condiciones de servicio. Por otra parte, se busca impedir que el agua penetre a las capas subyacentes de la capa de ruedo, la cual podría saturar los materiales existentes y causar pérdida de capacidad de soporte.

Esta actividad consiste en la limpieza total (extracción y remoción), recolección y acarreo de todo material extraño que se encuentre dentro de las fisuras.

2.6.2.1.3. Materiales

Previamente y dependiendo del espesor y el tipo de fisuramiento, se seleccionará el tipo de material más apropiado, los cuales podrán ser cemento asfáltico, asfalto rebajado (los cuales poseen poca flexibilidad y muy susceptibles a cambios de temperatura), asfaltos modificados con polímeros, con caucho (mejora su resistencia y elasticidad) o sellantes epóxicos o poliuretánicos.

Especificaciones técnicas a cumplir: requerimiento de ASTM D 6690 Tipo I “selladores para juntas y grietas aplicados en caliente para pavimentos de concreto y asfálticos”.

Los materiales sellantes a emplear pueden ser:

De aplicación en frío: Asfaltos líquidos, emulsiones y cut-back, solos o modificados con polímeros.

De aplicación en caliente: cemento asfáltico, cemento asfáltico con rellenos minerales, asfaltos con caucho y asfaltos modificados con polímeros o sellantes elastómeros.

La arena es utilizada para evitar que el sellador sea retirado por el paso de los vehículos, esta podrá ser triturada o natural, los granos serán densos, limpios y duros, libres de terrones de arcilla y de cualquier material que pueda impedir la adhesión de estos con el asfalto.

La arena se ajustará a alguna de las granulometrías que se indican en la tabla siguiente:

Tabla 2.2: Granulometría para la arena

TAMIZ mm (ASTM)	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA		
	A	B	C
12.5 (1/2")	---		100
10 (3/8")	100	100	85-100
5 (N°4)	85-100	85-100	55-85
2.5 (N°8)	80-90	65-90	35-65
0.63 (N°30)	55-80	30-50	15-35
0.16 (N°100)	5-15	5-15	2-10

Fuente: Manual de Carreteras y Conservación Vial. Perú, 2013

En caso de utilizar mezclas asfálticas en caliente, se empleará cemento asfáltico tipo CA 60 - 80 o CA 85 - 100, y un árido que se ajuste a una de las bandas granulométricas de la tabla anterior.

2.6.2.1.4. Equipos y herramientas

Los equipos y herramientas necesarios para la ejecución de esta actividad en general son: herramientas manuales: lampas, carretillas, escobillas metálicas, varilla de acero y espátulas y equipos: camión volquete, compresor móvil para la limpieza con aire a presión, esparcidor de riego de liga, esparcidor de arena, camión distribuidor de asfalto, mezcladora de trompo, rodillo de compactación manual, ruteador y sellador fundidor, dependiendo de la técnica a emplear.

2.6.2.1.5. Procedimiento de ejecución

- Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. Se debe contar con la suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos.
- El personal debe contar con los uniformes, cascos, chalecos reflectivos y todos los elementos de seguridad de acuerdo con las normas establecidas.
- Identificar las zonas de fisuras a sellar, procediendo a marcarlas directamente sobre el pavimento con yeso, tiza u otro material de color visible (preferiblemente blanco).

- Previamente y dependiendo del espesor y el tipo de fisuramiento, se seleccionará el tipo de material más apropiado, los cuales podrán ser cemento asfáltico, asfalto rebajado (los cuales poseen poca flexibilidad y muy susceptibles a cambios de temperatura), asfaltos modificados con polímeros, con caucho (mejora su resistencia y elasticidad) o sellantes epóxicos o poliuretánicos.
- Realizar la limpieza de la superficie objeto de trabajo utilizando escobillado y un chorro de aire a presión, limpio y seco (sin aceite ni humedad), generado por un compresor móvil. Tanto el espacio formado por la fisura, como el área adyacente a la misma, debe estar libre de polvo, humedad, arcilla o de cualquier otro material suelto, previo a continuar con la siguiente operación.
- Aplicar el material sellante tomando especial cuidado de producir una adherencia efectiva del sellante con las paredes de la fisura. Para este cometido se deberá tener muy en cuenta la temperatura tanto de calentado como de aplicación del sellante, sea este de base asfáltica, epóxica o poliuretánica.
- Al tender el sellante sobre la grieta, no debe permitirse la formación de charcos o exceso de material sellante sobre la misma o que fluya por la superficie circundante, debido principalmente a que afecta negativamente la estética de la vía y ocasiona un leve impacto negativo en la comodidad y en la seguridad al disminuir la resistencia al deslizamiento.
- El mezclado o preparación de las mezclas deberá realizarse por medio de equipos mecánicos adecuados que aseguren productos homogéneos y que sean muy maniobrables ya que es un trabajo que debe hacerse bastante rápido en la carretera.
- El trabajo de sellado sólo se debe realizar cuando la temperatura ambiente sea superior a 5° C e inferior a 30 °C.

2.6.3. Mantenimiento menor de pavimentos rígidos

En este punto se hará referencia sobre la actividad objeto de análisis del presente proyecto, que es el sellado de grietas y juntas en pavimento rígido, siendo esta una de las actividades de mantenimiento menor en pavimentos.

2.6.3.1. Sellado de grietas y juntas en pavimentos rígidos

Grietas: Aberturas cuyo ancho por lo general es mayor a los 3 mm. Son fallas que se extienden a la superficie de la losa de concreto y tienen mucha incidencia en el comportamiento del pavimento. Las grietas en general se relacionan con la integridad de la superficie de rodamiento y su evolución en el mediano plazo.

Juntas: Separaciones establecidas entre dos partes contiguas de una obra, para permitir su expansión o retracción por causa de las temperaturas ambientes.

Debido a los cambios volumétricos que por su naturaleza experimenta el concreto y a los sistemas constructivos de los pavimentos rígidos, se hace necesaria la construcción de juntas y/o uniones entre losas de un pavimento, cuya función consiste en mantener las tensiones que se desarrollan en la estructura de un pavimento dentro de los valores admisibles del concreto o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas.

2.6.3.1.1. Descripción

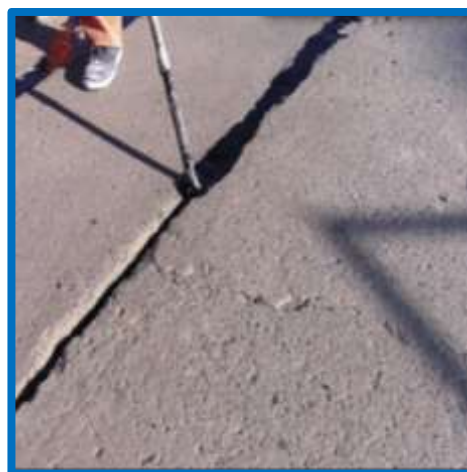
Esta actividad consiste en el sellado de las grietas y juntas que son fundamentales para alcanzar la vida útil esperada para el pavimento. Sin embargo, para que un sellado cumpla su objetivo para el cual se coloca, es necesario que las grietas y juntas, no experimenten desplazamientos verticales significativos entre sí, ya que los desplazamientos se originan porque no existe un traspaso adecuado de las cargas entre las losas, el que se puede detectar, si no se cuenta con las herramientas para ese objetivo, por las mañanas, antes que el sol caliente la superficie del pavimento. En ese momento las caras se encuentran con su máxima separación, a veces sin tocarse, lo que se puede determinar introduciendo una delgada lámina de acero, y/o porque presentan los bordes saltados.

Figura 2.21: Sellado de grietas

Figura 2.22: Sellado de juntas



Fuente: Insumos viales S.A.



Fuente: Insumos viales S.A.

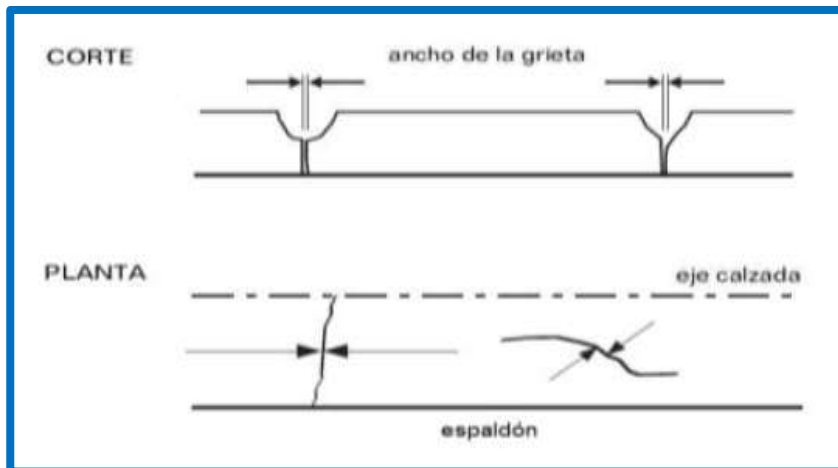
Para los efectos de esta operación, las grietas y juntas se agrupan en función de su ancho promedio, forma y ubicación, de acuerdo a lo siguiente:¹⁷

- Grietas Tipo 1: espesor entre 3 mm y 10 mm
- Grietas Tipo 2: espesor superior a 10 mm
- Juntas de ancho entre 10 mm y 20 mm
- Juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm
- Juntas de ancho superior a 30 mm

El espesor de las juntas se mide con la abertura a nivel de superficie. Sin embargo, el espesor de las grietas se debe medir como se ilustra en la Figura 2.23.

Figura 2.23: Medición del ancho de grietas

¹⁷ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES-Manual de Carreteras y Conservación Vial (Pág. 526). Perú, 2013



Fuente: Catálogo de Deterioros para Pavimentos Rígidos. Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002

2.6.3.1.2. Objetivo y alcance

El objetivo de esta actividad es impedir la entrada de agua y de materiales incompresibles (piedras, metales, entre otros), en la superficie de ruedo en concreto hidráulico, de esta manera, minimizar o retardar la formación de agrietamientos más severos y la posterior aparición de huecos; lo que permite mejorar las condiciones de servicio. Por otra parte, se busca impedir que el agua penetre a las capas subyacentes de la capa de ruedo, la cual podría saturar los materiales existentes y causar pérdida de capacidad de soporte.

2.6.3.1.3. Materiales

Los materiales a utilizar para la ejecución de esta actividad dependerán de las características de las grietas y juntas que se ha decidido sellar.

- **Juntas de ancho entre 10 mm y 20 mm.** Se sellarán con productos del tipo termoplástico aplicados en caliente, que tengan una deformación admisible entre el 10% y el 20% y que cumplan con lo estipulado por las normas ASTM D 1190-74, ASTM D 3405-78 y ASTM D 3406-78, según corresponda, de acuerdo con la composición del sellante.

- **Juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm y grietas entre 3 mm y 10 mm de ancho y grietas longitudinales.** Se sellarán con un producto tipo mástico asfáltico modificado con polímero que cumpla con lo siguiente:

Tabla 2.3: Especificaciones de material sellante

• Penetración, 25°C, 100g, 5 ^s , 10 ⁻¹ mm	:	máx. 60, según normas ASTM C 670, ASTM D 36, ASTM E1 y ASTM E77
• Ductilidad, 0°C, mm	:	min. 20, según AASHTO T51
• Filler, porcentaje en peso	:	máx. 25
• Punto Ablandamiento, °C	:	min. 58, según norma ASTM D 36-76

Fuente: Manual de Carreteras y Conservación Vial. Perú, 2013

- **Juntas y grietas de ancho superior a 30 mm.** Se sellarán con una mezcla de arena-emulsión asfáltica con una dosis mínima de 18% de emulsión. La arena deberá ajustarse a alguna de las granulometrías que se indican en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Granulometría para la arena

TAMIZ mm (ASTM)	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA		
	A	B	C
12.5 (1/2")	---		100
10 (3/8")	100	100	85-100
5 (N°4)	85-100	85-100	55-85
2.5 (N°8)	80-90	65-90	35-65
0.63 (N°30)	55-80	30-50	15-35
0.16 (N°100)	5-15	5-15	2-10

Fuente: Manual de Carreteras y Conservación Vial. Perú, 2013

2.6.3.1.4. Equipos y herramientas

Los equipos y herramientas necesarios para la adecuada ejecución de esta actividad son al menos:

Palas, carretillos, escobas metálicas, varilla de acero, espátulas, sierras para corte, compresor móvil para la limpieza con aire a presión, equipo de aplicación de sello, esparcidor de arena, calentador térmico, cámara fotográfica, entre otras. Lo anterior, para usar con cuadrillas balanceadas que permitan una ejecución de labores con óptimo rendimiento. De igual forma, se debe considerar el equipo de protección personal y otros elementos de seguridad ocupacional necesarios y suficientes para el personal.

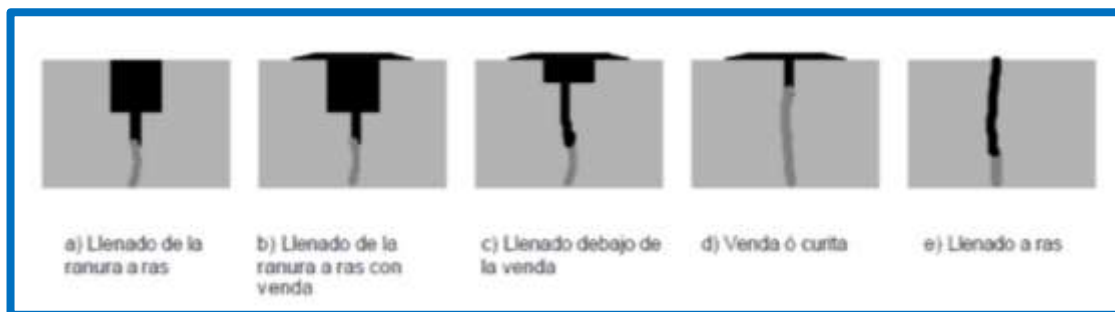
2.6.3.1.5. Procedimiento de ejecución

- Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. Se debe contar con la suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos.
- El personal debe contar con los uniformes, cascos, chalecos reflectivos y todos los elementos de seguridad industrial de acuerdo con las normas establecidas.
- Previo a la ejecución del trabajo y en función a la profundidad, ancho y tipo de junta o grieta a reparar, se determinará el material de sellado óptimo, debiendo definirse el tipo de configuración y la forma de sellado más adecuada.
- Eliminar todo residuo de polvo, grasas u otros materiales contaminantes que alteren la adherencia del concreto con el sellador, con un inyector de aire caliente comprimido, limpio y seco (sin aceite ni humedad). Si es necesario, primero se aplicará agua a presión y posteriormente aire caliente a presión, debiéndose garantizar que la grieta o junta se encuentra, completamente limpia y seca.
- El sello deberá ser de bajo módulo de elasticidad que permita la elongación del sello, sin deformarse ni romperse; deben ser resistentes a carburantes, presentar muy buena adherencia, resistencia a la intemperie y capaz de absorber los movimientos de la junta en la cual está siendo aplicada. El material para sello y cordón de respaldo deberá cumplir mínimamente con lo establecido por norma.
- Aplicar el material sellante dentro de las juntas y/o grietas siguiendo las instrucciones del fabricante. El equipo para sellar grietas o juntas podrá ser manual o bien equipos de inyección a presión.

En la Figura se muestra la configuración de los sellos, que podrán emplearse:

- a) Llenado de la ranura a ras
- b) Llenado de la ranura a ras con venda
- c) Llenado debajo de la venda
- d) Venda o curita
- e) Llenado a ras

Figura 2.24: Configuración de sellos



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras SIECA, 2004

Ampliar el ancho de la grieta provee una mayor superficie para que el sello ingrese y se adhiera al pavimento, y a su vez impide el desprendimiento rápido de la superficie.

Para los casos a), b) y c) en los que se realizara un perfilado de la grieta en un espesor máximo de 13 milímetros con una contorneadora rotativa mecánica de impacto o una contorneadora de eje vertical, es recomendable evaluar este trabajo en las grietas, debido a que se genera una fractura de los agregados del pavimento, aumentando el ancho de la sección a una pulgada o más, la cual consume más material de sellado y en algunos casos permite el desprendimiento del material de sellado, para lo cual, de observarse esta situación, deberá omitirse este proceso de la actividad de sellado.

Cuando las condiciones del perfilado sean dañinas al pavimento, se recomienda realizar un sello de grietas tipo d) o e), debido principalmente a que no se provoca daño al pavimento existente durante la ejecución de este trabajo y el material posee

suficiente adherencia e impermeabilidad para evitar el paso del agua a las capas adyacentes del pavimento.

- Colocar solamente la cantidad de material indispensable para rellenar la junta o grieta y evitar que se derrame sobre las superficies expuestas del concreto. Cuando se utilicen selladores en caliente, se debe añadir una cantidad adicional de sellador para llenar la abertura y dejarla a nivel con la superficie. Esto, debido a que el material puede encogerse al enfriarse. También se debe tener un dispositivo controlado de temperatura para mantener la temperatura de aplicación dentro del rango de tolerancia indicado por el fabricante.
- La aplicación del sello debe ejecutarse cuando la abertura de la junta este en su ancho medio respecto a los movimientos de contracción y expansión.
- En la aplicación, deben seguirse las recomendaciones del fabricante en cuanto a temperatura y configuraciones para cada tipo de sello.
- Si se establece el uso de cinta de respaldo o material de relleno preformado, este debe ser compatible con el material sellador y debe seguirse las recomendaciones del fabricante para su aplicación.
- Retirar cualquier material sobrante que esté presente en la superficie del pavimento y depositarlo en sitios previstos para el efecto y limpiar la superficie.
- Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.

2.7. MATERIALES SELLANTES

Los sellos, no importando los componentes químicos que lo conforman, se encuentran formulados especialmente para sellar juntas y grietas en pavimentos de hormigón o en pavimentos asfálticos. El objetivo del producto sellante es que una vez colocado forme un compuesto elástico y adhesivo, resistente a los cambios climáticos y las diversas solicitaciones a las que estará sometido durante su vida útil, conservando sus cualidades de adherencia, flexibilidad, consistencia e impermeabilidad. En la tabla 2.5 se

consignan las descripciones y especificaciones de algunos de los materiales disponibles en el mercado.

Tabla 2.5: Descripción y especificaciones para materiales sellantes

Tipo de sellador	Especificación(es)	Propiedades
Selladores vaciados en caliente		
A base de asfaltos poliméricos	ASTM D 3405	Autonivelante
	ASTM D 1190	Autonivelante
	ASSTHO MO 183	Autonivelante
	SS-S-1401 C	Autonivelante
Polímeros de bajo modulo	ASTM D 3405	Autonivelante
Elastoméricos PVC Alquitrán de hulla	ASTM D 3405	Autonivelante
	SS-S-1614	Autonivelante
Elásticos	ASTM D 1854	Resistente al combustible de avión
Elastoméricos PVC Alquitrán de hulla	ASTM D 3569	Resistente al combustible de avión
	ASTM D 3581	
Selladores de un solo componente vaciados en frio		
Silicón	N.D.	No se comba, trabajable, bajo modulo
Silicón	N.D.	Autonivelante (sin herramienta), bajo modulo
Silicón	N.D.	Autonivelante (sin herramienta), muy bajo modulo
Sellador de goma de nitrilo	N.D	Autonivelante (trabajable), no se comba
Polisulfido	N.D	Autonivelante (sin herramienta), bajo modulo
Polímeros de bajo modulo	N.D	Autonivelante (sin herramienta), bajo modulo
Selladores de dos componentes vaciados en frio		

Fuente: ICPC

Polímeros Elastoméricos	SS-S-200	Resistente al combustible de avión
Policloropreno elastomérico preformado (sellos que se aplican comprimidos)		
Sellos preformados	ASTM D 2628	Resistente al combustible de avión
	Lubricante, adhesivo	ASTM D 2835
Rellenos de juntas de expansión preformados		
Rellenos preformados	ASTM D 1751	Asfáltico, no extruido, elástico
	AASTHO M 213	
Rellenos preformados	ASTM D 1752	Esponja de goma, corcho
	AASTHO M 153	
Rellenos preformados	ASTM D 994	Asfáltico
	AASTHO M 33	

2.7.1. Tipos de sellantes

Existen múltiples tipos de materiales sellantes que pueden ser utilizados en el tratamiento de grietas y juntas en pavimentos, estos dependen de la calidad, tipos de materiales empleados en su fabricación, componentes utilizados, forma de aplicación.

El mercado ofrece una vasta gama de materiales sellantes, tanto moldeados en campo, sello líquido, como preformados, por compresión.

El éxito de los selladores líquidos, depende de que la adherencia a las paredes de las juntas se mantenga por largo plazo y el de los selladores preformados depende del rechazo lateral a largo plazo.

2.7.1.1. Sellantes líquidos

El sellante líquido se clasifica en termoplástico y termoestable. Los termoplásticos como el asfalto, se endurecen al perder el calor inicial que los mantuvo en el inicio en estado líquido o semilíquido; teniendo la desventaja de que, con el tiempo y los cambios de temperatura, se cristaliza, perdiendo las características elásticas necesarias.

Los sellos de fraguado térmico y curado químico, como el alquitrán de hulla con polisulfuros o poliuretanos, el metano y bicomponentes del epóxico, son catalizadores, que con el calor inicial dentro del material lo endurecen, auxiliados posteriormente por la humedad ambiente. Estos son de costos más elevados, pero más durables y más resistentes a la penetración, que permite mayores movimientos entre las grietas o juntas. El sellante líquido se puede verter en frío o caliente y estos se describen a continuación:

2.7.1.1.1. Sellante vertido en frío

Entre los selladores vertidos en frío está el silicón, de un componente simple que no requiere de mezcla ni calentamiento y que, al ser aplicado cura en 30 min, complementándose con la humedad del aire, aunque también este proceso se ve afectado por las condiciones ambientales y especificaciones del fabricante.

Estos selladores son adecuados para climas con grandes diferencias de temperatura. La mayoría tiene un módulo elástico bajo, que permite una buena recuperación de las deformaciones de tracción y compresión; pudiendo soportar, por lo menos, un 100% de extensión y un 50% de compresión sin sufrir daños.

2.7.1.1.2. Sellante vertido en caliente

Estos sellantes requieren una temperatura de calentamiento entre 175 a 200°C para su aplicación. Los fabricantes recomiendan derretir el material en calderas de tanque doble, equipado en su interior con un agitador, para la distribución uniforme de la temperatura, y el exterior lleno de aceite para evitar pérdidas de calor.

Para el calentamiento se utiliza gas y no combustibles fósiles como madera, carbón, etc.; además, la caldera no debe tener contacto directo con el suelo.

Para no perder la temperatura entre la caldera y la boquilla de eyección, se utilizan mangueras con aislamiento térmico.

2.7.1.2. Sellantes preformados

Estos selladores son solo aplicados a juntas recién construidas, vienen listos para su instalación; por lo que no necesitan calentarse, mezclarse, ni curarse en el terreno, poseen la capacidad de sellar cuando hay presente mucha humedad y proveen una efectiva reducción en astillamientos de las juntas de concreto y alta resistencia al combustible de los aviones de propulsión a chorro.

Estos selladores están en compresión durante toda su vida útil. El neopreno es el componente principal, caucho sintético, que tiene la capacidad de presión, resiliente bajo compresión.

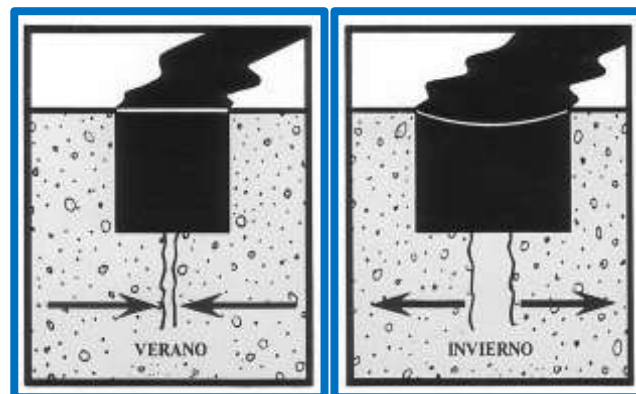
El sello consiste en un perfil hueco de celdas múltiples que se puedan encoger en dirección perpendicular a su eje, a manera de fuelle, que genera la fuerza expansiva que mantiene al sellador contra las paredes de la caja de la junta.

2.7.2. Propiedades de los sellantes

Las propiedades del sellante dependen de su aplicación y de las condiciones climáticas durante su instalación. Entre las propiedades a considerar incluyen:

- **Sellar** efectivamente las **juntas, fisuras y grietas** contra la infiltración de humedad y agua de lluvia a lo largo de sucesivos ciclos de expansión y contracción.

Figura 2.25: Propiedad elástica de los sellos



Fuente: Elaboración propia

- Excelente **adherencia** y **compatibilidad** con superficies de hormigón o asfalto.
- **Alta resistencia** a los cambios climáticos, conservando sus cualidades de adherencia, flexibilidad, consistencia a altas y bajas temperaturas.
- No fluir desde la junta ni ser arrancado por neumáticos de los vehículos.

Un mal material sellante provocaría la infiltración de agua, lo cual ablandaría la subrasante o la subbase, perdiendo apoyo estructural el pavimento. Además, provocaría el ingreso de materiales incompresibles, provocando el descascaramiento del pavimento y en caso extremo producir roturas en la losa.

Para una buena elección de selladores es necesario considerar factores importantes como su elasticidad, adherencia y compatibilidad con los otros elementos constructivos.

2.7.3. Control de calidad del material sellante

Ya que el material sellante tiene mucha importancia para el período de vida del pavimento, es necesario llevar el control de calidad del mismo, por lo que aquí se presentan los métodos de ensayos necesarios a los que han de ser sometidos los sellantes para evaluar sus propiedades físicas, evaluaciones establecidas por la American Society for Testing and Materials, ASTM.

Los sellantes al ser vertidos en el pavimento pueden ser aplicados en frío o en caliente. Entre los sellantes aplicados en frío a ensayar está el silicón, evaluado bajo la norma ASTM D 5893 - 96, y entre los sellantes aplicados en caliente está el sellante tipo elástico y el sellante tipo elastomérico. El primero de éstos se evalúa bajo la norma ASTM D 1190 - 97 y el segundo bajo la norma ASTM D 3405 - 95.

- **Aplicación en frío para sellantes de un solo componente, silicón químicamente curado (ASTM D 5893 – 96)**

El sellante de silicón debe tener una consistencia apropiada para poderlo aplicar en la junta, ya sea a presión o calafateado a mano. Su curado se lleva a cabo por la reacción química de los componentes que lo forman.

- **Sellantes tipo elástico, aplicado en caliente (ASTM D 1190-97)**

El sellante tipo elástico, aplicado en caliente, debe tener una consistencia de vaciado uniforme para ser vertido en la grieta o junta, evitando que se hagan burbujas o discontinuidades que provocarían daño al material.

- **Sellantes tipo elastomérico, aplicado en caliente (ASTM D 3405-95)**

El sellante tipo elastomérico antes de colocarse en el pavimento, se calienta a la temperatura de seguridad, por espacio de seis horas. Una vez colocado, éste debe estar libre de vacíos internos ocasionados en su colocación o vacíos que se desarrollen posteriormente en servicio.

2.7.3.1. Ensayos y especificaciones del material sellante aplicado en caliente

La ASTM International es líder en establecer estándares de prueba y calidad, especialmente en la industria de la construcción. Algunas normas de la ASTM relacionadas con el sellante de grietas y juntas están relacionadas con procedimientos o pruebas especificados en la misma. Una breve descripción de estos está en la Tabla 2.6, que se muestra a continuación:¹⁸

Tabla 2.6: Ensayos para el material sellante

Ensayo de	Norma	Descripción
Penetración	ASTM D 5329	Cuanta más alta sea la prueba de penetración, más "blando" será el sellador de grietas.
Resilencia	ASTM D 5329	La resilencia es similar a la velocidad con que se recupera el sellador de grietas después de que un objeto extraño se desprende de él. Cuanto mayor sea el número, más se habrá recuperado el material.

¹⁸ Understanding ASTM crack sealant specifications – P&T Products Inc. 2014

Flujo	ASTM D 5329	La prueba de flujo mide la probabilidad de que el sellador fluya dentro de la grieta a 140 F (60°C). Cuanto mayor sea la medida, más será el movimiento.
Punto de ablandamiento	ASTM D 36	La temperatura determinada como de reblandecimiento, representa aquella a la cual el material alcanzara un determinado estado de fluidez, existiendo consecuentemente una pérdida de consistencia del mismo. Materiales con un alto punto de reblandecimiento puede tardar más tiempo en derretirse
Tensión adhesión	ASTM D 5329	Las pruebas de adhesión miden la cohesión y la adhesión del relleno de grietas a bajas temperaturas. La adhesión a la tracción prueba estas propiedades a temperatura ambiente
Flexibilidad a baja temperatura	ASTM D 3111	En climas fríos, es importante usar un producto con una flexibilidad de baja temperatura de al menos 0 ° F (-17°C). Elegir un material sin flexibilidad a baja temperatura en climas fríos puede provocar el agrietamiento del sellador de grietas
Viscosidad	ASTM D 4402 ASTM D 2669	La viscosidad es una medida del espesor en el estado líquido. Cuanto mayor es el número, más grueso es el material. En un lugar de trabajo, es difícil usar un producto de viscosidad en grietas más delgadas.

Fuente: ASTM Crack Sealant Specifications

Otras normas de la ASTM están orientadas a la calidad o al resultado, como es el caso de ASTM D 6690.

En el 2000, la ASTM suspendió las especificaciones D 3405 y la D 1190 y fueron reemplazadas con la D 6690 “Especificación estándar para selladores de juntas y grietas aplicados en caliente para pavimentos de hormigón y asfalto”. Aunque la D3405 y la D1190 son formalmente discontinuadas, todavía se las está recomendando. El estándar actual de especificaciones, contenida en la ASTM D 6690, clasifica estos materiales en cuatro tipos que son:¹⁹

¹⁹ ALONZO HERNANDEZ, FLORES LOPEZ, SANCHEZ BELTRAN. Manual de Mantenimiento en Vías Urbanas, Utilizando Mezcla Asfáltica en Caliente, Tibia y en frío. (Pag.175). San Salvador 2012

- **Tipo I:** Un sellador de juntas y grietas capaz de mantener un sellado efectivo en climas moderados. El rendimiento del material a bajas temperaturas es probado a -18°C, usando una extensión de 50% (anteriormente la Especificación D 1190).
- **Tipo II:** Un sellador de juntas y grietas capaz de mantener un sellado efectivo en la mayoría de climas. El rendimiento del material a bajas temperaturas es probado a -29°C, usando una extensión de 50% (anteriormente la Especificación D 3405).
- **Tipo III:** Un sellador de juntas y grietas capaz de mantener un sellado efectivo en la mayoría de climas. El rendimiento del material a bajas temperaturas es probado a -29°C, usando una extensión de 50%. Se incluyen pruebas especiales (anteriormente la Especificación Federal SS-S-1401C).
- **Tipo IV:** Un sellador de juntas y grietas capaz de mantener un sellado efectivo en climas con temperaturas extremadamente frías. El rendimiento del material a bajas temperaturas es probado a -29°C usando una extensión de 200%

Las especificaciones, contenidas en la ASTM D 6690 para estos 4 tipos de sellantes se describen en la Tabla 2.7.²⁰

Tabla 2.7: Especificaciones ASTM D 6690

	Tipo I	Tipo II – Tipo III	Tipo IV
Especificador anterior	1190	3405	3405 modificado
Clima recomendado	moderado	moderado a frio	frio
Penetración	90 Máx.	90 Máx.	90 - 150 Máx.
Resilencia	-----	60% Min	60% Min
Flujo	5.0 mm Máx.	3.0 mm Máx.	3.0 mm Máx.

²⁰ Understanding ASTM crack sealant specifications – P&T Products Inc. 2014

Fuente: ASTM D6690

Punto de ablandamiento	176° F (80°C)	176° F (80°C)	176° F (80°C)
-------------------------------	---------------	---------------	---------------

2.7.3.2. El asfalto como material sellante

El asfalto es un material aglomerante de color oscuro, constituido por mezclas complejas de hidrocarburos no volátiles de alto peso molecular, originarios del petróleo crudo, en el cual están disueltos, pueden obtenerse por evaporación natural de depósitos localizados en la superficie terrestre, denominados asfaltos naturales, o por medio de procesos de destilación industrial cuyo componente predominante es el bitumen. Los asfaltos destilados del petróleo son producidos ya sea por destilación por vapor o sopladados. La destilación por vapor produce un excelente asfalto para pavimentos, mientras que el producto de destilación por aire o soplado tiene una escasa aplicación en pavimentación.

Los asfaltos para pavimentos se subdividen en:

- Cementos asfálticos
- Asfaltos cortados
- Emulsiones asfálticas

a) Cementos asfálticos

Los cementos asfálticos, son preparados especialmente para pavimentación. Es un material ideal para la construcción de pavimentos ya que:

- Es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, impermeable y duradero.
- Es consistente y puro.
- Es termoplástico, es decir, se licua a medida que se va calentando.
- Es resistente a los ácidos, sales y álcalis.

Se denominan por las letras **CA**, y se clasifican según su grado de dureza, el que mide según el ensayo de penetración.

Podemos distinguir CA 40 – 50, CA 60 – 70, 85 - 100; CA indica que es un cemento asfáltico y los números el rango de penetración.

Para su aplicación debe estar libre de agua y con características homogéneas.

b) Asfaltos líquidos

Los asfaltos cortados, llamados también diluidos, cortados o Cut-Backs, son asfaltos líquidos que resultan de la dilución de cemento asfáltico con destilados del petróleo. Se presenta como un líquido de color negro, de viscosidad variable.

Los solventes usados actúan como vehículos, proporcionando productos menos viscosos que pueden ser aplicados a bajas temperaturas, estos solventes se evaporan después de su aplicación.

Se clasifican según su velocidad de curado en:

- **RC:** Asfalto líquido de curado rápido (Rapid Curing), se producen al mezclar CA con destilados ligeros del tipo Nafta o Bencina.
- **MC:** Asfalto líquido de curado medio (Médium Curing), cuyo solvente es la parafina o kerosene, lo que da trabajabilidad a temperatura relativamente baja.
- **SC:** Asfaltos cortados de curado lento (Slow Curing), los aceites son los que le dan cierta fluidez. Este tipo de asfalto ya no se utiliza.

b) Emulsiones asfálticas

Son de cemento asfáltico en una fase acuosa, con estabilidad variable. El tiempo de quiebre y la viscosidad de las emulsiones, dependen entre otros factores, de la calidad y la cantidad de los agentes emulsificantes. La cantidad de emulsificantes y aditivo químico utilizados varía generalmente de 0.2 % a 5 %, y la cantidad de asfalto en el orden de 60 % a 70 %.

El color de emulsiones asfálticas antes del quiebre es marrón y después del quiebre negro, constituyéndole en un elemento auxiliar para la inspección visual.

Las emulsiones asfálticas se clasifican de acuerdo a la carga de la partícula en: catiónica y aniónica.

Debido a sus propiedades el asfalto se convierte en uno de los materiales más comunes y más utilizado para este tipo de tratamiento a grietas y juntas en pavimentos.

2.7.3.3. Criterios de diseño normalizado

Para el diseño de sellos para juntas y grietas basados en mezclas asfálticas aplicadas en caliente, los materiales componentes deben cumplir con la caracterización mediante ensayos establecidos por las normas AASHTO y ASTM, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 2.8: Ensayos de laboratorio normalizados para agregados

Ensayo de laboratorio para agregados	Norma	Propósito
Granulometría	AASHTO T 27 ASTM C 136	La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de la carpeta asfáltica es de primordial importancia porque en función de ellas se conoce de antemano que clase de textura tendrá la carpeta.
Desgaste	AASHTO T 96 ASTM C131	El objeto es conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste, ya sea por el grado de alteración del agregado, o por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste Esta característica es esencial cuando el agregado va a estar sujeto a desgaste por abrasión como en el caso de los pavimentos. Es la medida de dureza de los agregados y nos da una idea de la forma en la que se comportarán los agregados, bajo los efectos de la abrasión causada por el tráfico además de la idea del grado de intemperismo que poseen los agregados.
Sanidad usando sulfato de sodio	AASHTO T104 ASTM CSS	Permite obtener la información de estabilidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables) resultan evidentemente insatisfactorios como agregados para mezcla en rodadura en pavimentos, especialmente cuando éstos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos.

Equivalente de arena	AASHTO T176 ASTM D 2419	Descubre el exceso de arcilla en los agregados, ya que es un medio rápido para separar las partículas más finas (arcillosas) de los granos más gruesos o de la arena.
Cubicidad de partículas	ASTM D 692	Se utiliza para determinar valores como el índice de laja y la cubicidad de las partículas que componen el material pétreo. Las partículas de los agregados, deben ser limpias, duras, resistentes y durables por lo que debe evitarse partículas débiles quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales.
Gravedad específica y absorción del agregados gruesos y finos	AASHTO T 84 AASHTO T 85 ASTM C-127 ASTM C-128	La gravedad específica aparente se refiere a la densidad relativa del material sólido de las partículas constituyente, no se incluye aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas los cuales son accesibles al agua. El valor de absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con la condición seca cuando se evalúa el comportamiento del agregado con el agua durante un periodo largo tal. que se logre alcanzar el valor potencial de absorción del mismo.
Peso unitario y vacío	AASHTO T19 ASTM C29M	En la práctica el valor de peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto asfáltico. La dosificación óptima de mezclas de agregados para mezclas de superficie en pavimentos puede realizarse utilizando el método de pesos unitarios, el cual consiste en elaborar una gráfica (parecida a la del Próctor) en la cual se grafica las proporciones de los agregados en las abscisas y los pesos unitarios en las ordenadas.

Tabla 2.9: Ensayos de laboratorio normalizados para asfaltos

Ensayo de laboratorio para asfaltos	Norma	Propósito
Viscosidad	AASHTO T201 ASTM D 2170	En el diseño de mezclas asfálticas las temperaturas de mezclado y compactación se definen en función de la viscosidad que posee el cemento asfáltico, ya que la trabajabilidad de una mezcla asfáltica, se ve influenciada por la trabajabilidad que el asfalto tenga dentro de esta misma a una temperatura determinada de trabajo. Este ensayo se usa para clasificar los cementos asfálticos a viscosidad 60°. Mide la consistencia de los cementos asfálticos.
Penetración	AASHTO T 49 ASTM D 5	Clasifica los asfaltos en grados según su dureza o consistencia medida en decimas de milímetros. Valores altos de penetración indicaran consistencias suaves.
Punto de inflamación	AASHTO T 48 ASTM D 92	Tiene por propósito, identificar la temperatura a la cual el asfalto puede ser manejado y almacenado sin peligro que se inflame. El punto de inflamación se mide por el ensayo en copa abierta de Cleveland.

Ductilidad	AASHTO T 51 ASTM D 113	Provee de una medida de las propiedades al estiramiento de los cementos asfálticos y el valor resultante puede ser usado como criterio de aceptación del material asfáltico ensayado. Se considera la ductilidad como la capacidad que tiene el asfalto de resistir esfuerzos de estiramiento bajo condiciones de velocidad y temperatura especificada.
Punto de reblandecimiento	AASHTO T53. ASTM D 36	La temperatura determinada como de reblandecimiento, representa aquella a la cual un cemento asfáltico alcanzara un determinado estado de fluidez, existiendo consecuentemente una pérdida de consistencia del mismo. El punto de reblandecimiento es una prueba de resistencia a la deformación del cemento asfáltico y además es también una prueba de la viscosidad.
Ensayo de flotación	AASHTO T 50 ASTM D 139	Esta prueba caracteriza el comportamiento al flujo o consistencia de ciertos materiales bituminosos, que por su bajo grado de dureza no pueden ser ensayados utilizando el método de penetración. Este ensayo es utilizado para medir la consistencia del residuo de destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento.
Peso específico	AASHTO T228 AASHTO T85	El peso específico de un cemento asfáltico no se indica normalmente en las especificaciones de la obra, pero existen dos razones por las cuales se debe conocer su valor y son: <ul style="list-style-type: none"> ❖ Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura – volumen. ❖ Es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado. Se determina normalmente por el método del picnómetro.
Endurecimiento o y envejecimiento	AASHTO T51 ASTM D113	Tiene por propósito exponer una o varias muestras a condiciones similares ocurridas durante las operaciones de planta de mezclado en caliente.

Fuente: The Asphalt Institute

Para la preparación de un sello a base de ligante bituminoso por normativa exige que deba cumplir con ciertas especificaciones que son de mucha importancia al momento de emplear este tipo de sellos.

El sello más común a ser empleado es el de un ligante bituminoso y arena, para lo cual la normativa ASTM tiene las siguientes especificaciones para ambos tipos de materiales utilizados para preparar el sello:

Tabla 2.10: Especificaciones para cementos asfálticos clasificados por su grado de penetración

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	GRADO DE PENETRACIÓN									
			40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
			Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	---	D-5	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta	°C	D-92	232	---	232	---	232	---	218	---	177	---
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min	cm	D-113	100	---	100	---	100	---	100	---	100 ^A	---
Solubilidad en tricloroetileno	%	D-2042	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---
Penetración retenida después de la prueba de horno sobre película delgada	%	D-5 Después de realizar D-1754	55+	---	52+	---	47+	---	42+	---	37+	---
Ductilidad 25°C, 5 cm/min, después de prueba de horno sobre película delgada	cm	D-113 Después de realizar D-1754	---	---	50	---	75	---	100	---	100 ^A	---

Fuente: Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.01.22:047)

La arena se ajustará a alguna de las granulometrías que se indican en la Tabla 2.11:

Tabla 2.11: Granulometría para la arena

TAMIZ mm (ASTM)	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA		
	A	B	C
12.5 (1/2")	---		100
10 (3/8")	100	100	85-100
5 (N°4)	85-100	85-100	55-85
2.5 (N°8)	80-90	65-90	35-65
0.63 (N°30)	55-80	30-50	15-35
0.16 (N°100)	5-15	5-15	2-10

Fuente: Principios de construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales

El material sellante obtenido debe estar apegado a la Norma ASTM D 6690, algunos de los requisitos que este debe cumplir según la referida norma son los siguientes:²¹

- El sellador deberá estar compuesto de una mezcla de materiales que forme un compuesto elástico y adhesivo, capaz de sellar efectivamente juntas y grietas en pavimentos asfálticos y de concreto, contra la filtración de humedad y materiales extraños, a través de ciclos repetitivos de expansión y contracción por cambios de temperatura.
- Que, a temperaturas ambiente, no fluya hacia fuera de la junta, ni sea recogida por las llantas de un vehículo.
- El material debe ser capaz de llevarse a una consistencia uniforme para espaciarse apropiadamente de manera que llene completamente las juntas sin dejar burbujas de aire grandes y discontinuidades y sin dañar el material.
- Debe permanecer relativamente sin cambios en sus características de aplicación por lo menos por 6 horas a la temperatura recomendada de aplicación en la obra.
- La temperatura de aplicación debe de ser la misma que la temperatura máxima de calentamiento.
- La temperatura máxima de calentamiento debe ser por lo menos 11°C (20°F) más alta que la temperatura mínima de aplicación.

De la misma manera que a los componentes, se debe de realizar la verificación de las especificaciones del sellador con respecto a los requisitos establecidos por la norma ASTM D 6690 indicados en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12: Condiciones que debe cumplir el material sellante

²¹ ALONZO HERNANDEZ, FLORES LOPEZ, SANCHEZ BELTRAN. Manual de Mantenimiento en Vías Urbanas, Utilizando Mezcla Asfáltica en Caliente, Tibia y en frío. (Pag.86). San Salvador 2012

Penetración de cono a 25°C	Tipo I Max.90	Tipo II Max.90	Tipo III Max. 90	Tipo IV 90 - 150
Flujo a 60°C, mm Adherencia, sin inmersión	5.0 Max. Dos de tres muestras de 25.4mm pasan 5 ciclos con extensión de 50% a -18°C	3.0 Max Tres muestras de 12.7 mm pasan 3 ciclos con ext. de 50% a -29°C	3.0 Max Tres muestras de 12.7 mm pasan 3 ciclos con ext. de 50% a -29°C	3.0 Max Tres muestras de 12.7 mm pasan 3 ciclos con ext. de 200% a -29°C
Adherencia, inmersión	-	-	Tres muestras de 12.7 mm pasan 3 ciclos con ext. de 50% a -29°C	-
Elasticidad,%	-	60 min.	60 min.	60 min.
Elasticidad con degeneración en horno,%	-	-	60 min.	
Compatibilidad con el asfalto	pasar	pasar	Pasar	pasar

Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM). Norma ASTM D 6690-09.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA DE SELLOS EN FISURAS, GRIETAS Y JUNTAS EN PAVIMENTOS

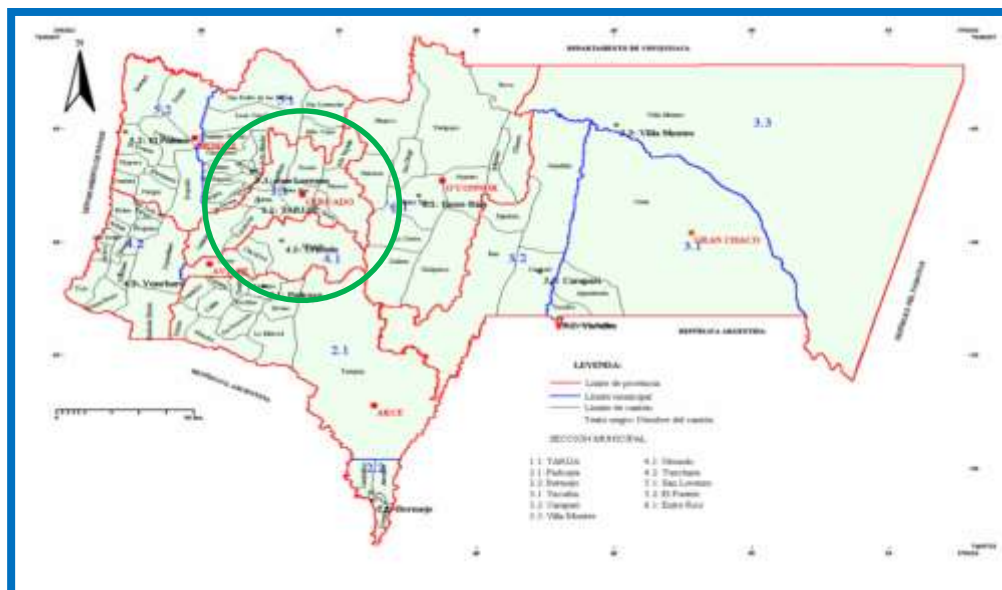
3.1. UBICACIÓN DE LOS TRAMOS EN ESTUDIO

El área correspondiente a los tramos de estudio del presente proyecto, se encuentra ubicada en la Provincia Cercado del Departamento de Tarija. Las vías urbanas en estudio corresponden a 10 tramos pavimentados dentro del área urbana de la ciudad de Tarija.

La provincia Cercado es una de las seis provincias que conforman el Departamento de Tarija, está se encuentra ubicada en el centro-oeste del departamento y limita al noroeste con la Provincia Méndez, al este con la Provincia de Burdet O'Connor, al sur con la Provincia Arce y al suroeste con la Provincia Avilés. Tarija es la capital de todo el Departamento.

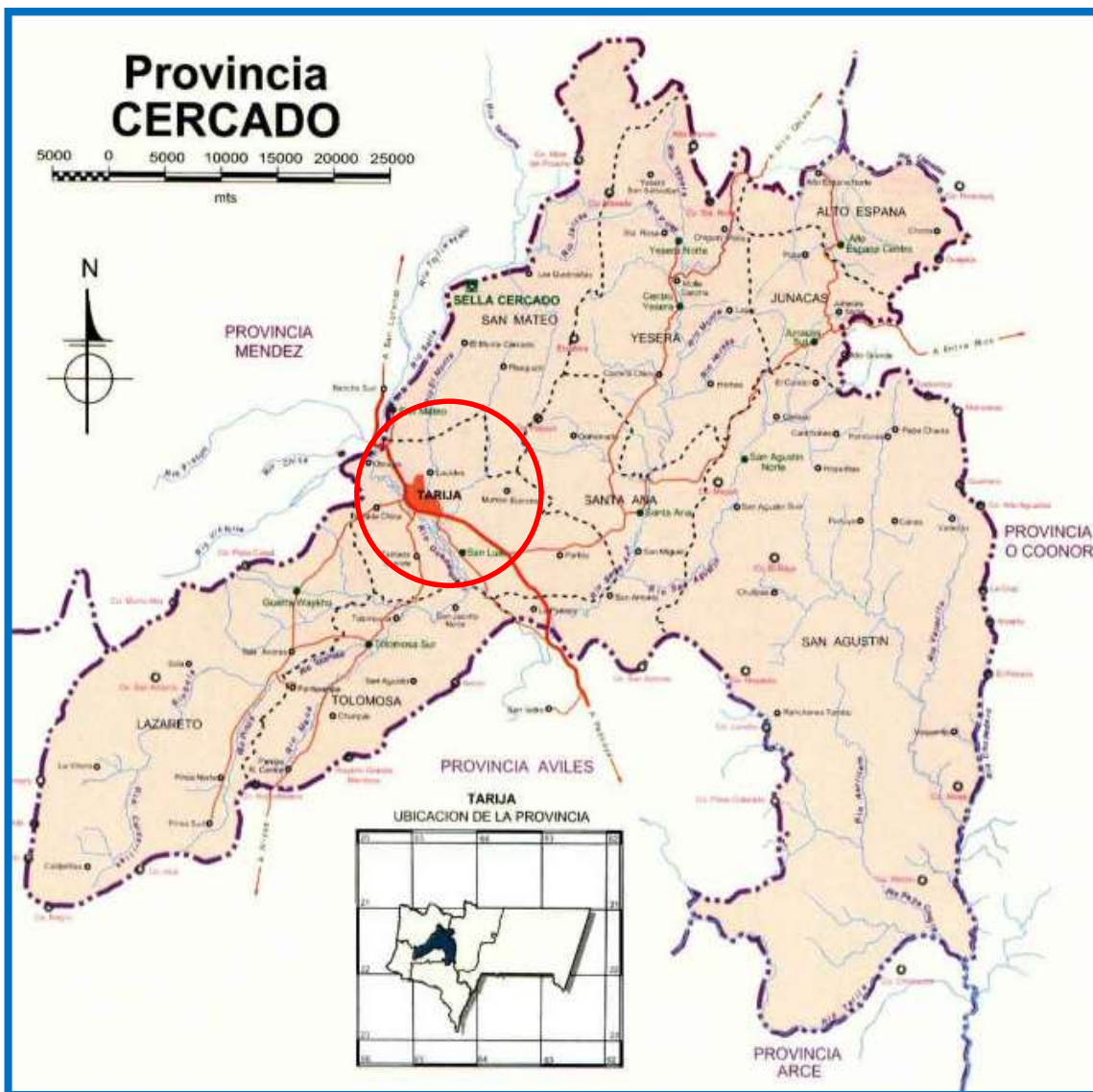
La ciudad de Tarija tiene un clima templado con una temperatura promedio de 25 °C.

Figura 3.1: Plano de ubicación regional



Fuente: Atlas de Bolivia

Figura 3.2: Plano de ubicación regional del área del proyecto



Fuente: Atlas de Bolivia

Figura 3.3: Imagen satelital de la ubicación de los tramos de pavimento flexible en estudio



Fuente: Imagen Google Earth

Elaboración Trazo: propia

Figura 3.4: Imagen satelital de la ubicación de los tramos de pavimento rígido en estudio



Fuente: Imagen Google Earth

Elaboración Trazo: propia

Tabla 3.1: Tramos de pavimento flexible

N°	Nombre del tramo	Coordenadas geográficas				Longitud (m)
		Desde		Hasta		
		Latitud "S"	Longitud "W"	Latitud "S"	Longitud "W"	
1	Avenida Integración	21°30'43,78"	64°44'56,20"	21°30'01,09"	64°45'03,82"	583
2	Avenida Costanera	21°33'12,21"	64°43'08,27"	21°32'59,83"	64°43'21,40"	537
3	Avenida La Banda	21°32'08,31"	64°44'30,16"	21°32'23,38"	64°44'12,91"	675
4	Avenida Mario Cossío	21°34'05,42"	64°43'23,41"	21°33'48,84"	64°43'18,41"	586
5	Avenida Jaime Paz Zamora (zona Nueva Terminal)	21°33'49,29"	64°40'32,45"	21°33'58,36"	64°40'17,62"	515

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2: Tramos de pavimento rígido

- Ubicación de los tramos de pavimento flexible

N°	Nombre del tramo	Coordenadas geográficas				Longitud (m)
		Desde		Hasta		
		Latitud "S"	Longitud "W"	Latitud "S"	Longitud "W"	
1	Calle Padilla	21°32'26,08"	64°43'37,10"	21°32'14,22"	64°43'31,10"	406
2	Calle Junín	21°31'56,99"	64°43'36,76"	21°31'42,93"	64°43'34,28"	541
3	Avenida Circunvalación	21°30'40,01"	64°44'46,87"	21°30'45,51"	64°44'27,62"	579
4	Avenida de ingreso al Hotel Los Parrales	21°31'16,46"	64°45'36,36"	21°31'24,55"	64°45'37,72"	556
5	Avenida Jaime Paz Zamora (zona Ex terminal)	21°32'28,52"	64°43'33,29"	21°32'28,52"	64°43'19,97"	612

Fuente: Elaboración propia **Figura 3.5:** Ubicación tramo 1: Avenida Integración



Fuente: Imagen Google Earth
Elaboración Trazo: propia

Figura 3.6: Ubicación tramo 2: Avenida Costanera



Fuente: Imagen Google Earth
Elaboración Trazo: propia

Figura 3.7: Ubicación tramo 3: Avenida La Banda



Fuente: Imagen Google Earth
Elaboración Trazo: propia

Figura 3.8: Ubicación tramo 4: Avenida Mario Cossío



Fuente: Imagen Google Earth
Elaboración Trazo: propia

Figura 3.9: Ubicación tramo 5: Av. Jaime Paz Zamora (Zona Nueva Terminal)



Fuente: Imagen Google Earth
 Elaboración Trazo: propia

- **Ubicación de los tramos de pavimento rígido**

Figura 3.10: Ubicación tramo 1: Calle Padilla



Fuente: Imagen Google Earth
 Elaboración Trazo: propia

Figura 3.11: Ubicación tramo 2: Calle Junín



Fuente: Imagen Google Earth
Elaboración Trazo: propia

Figura 3.12: Ubicación tramo 3: Avenida Circunvalación



Fuente: Imagen Google Earth
Elaboración Trazo: propia

Figura 3.13: Ubicación tramo 4: Avenida de ingreso al Hotel Los Parrales



Fuente: Imagen Google Earth
 Elaboración Trazo: propia

Figura 3.14: Ubicación tramo 5: Avenida Jaime Paz Zamora (Zona Ex terminal)



Fuente: Imagen Google Earth
 Elaboración Trazo: propia

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está comprendida por 10 tramos pavimentados que se encuentran en diferentes zonas urbanas de la ciudad de Tarija, de los cuales 5 pertenecen a vías de pavimento flexible y 5 a vías de pavimento rígido, cuyas características se describen a continuación:

3.2.1 Características de los tramos en estudio de pavimento flexible

- **Tramo 1: Avenida Integración**

Figura 3.15: Avenida Integración



Fuente: Elaboración propia

Este tramo tiene como punto de inicio la Avenida Galilea hasta la Avenida Emaus con una longitud de 583 m, pertenece a una vía urbana de pavimento flexible, comprendida por una doble vía de doble carril para cada sentido; por donde circulan vehículos de tipo liviano, medio y pesado de uso particular y público. Su ancho de calzada es de 8 m.

- **Tramo 2: Avenida Costanera**

Figura 3.16: Avenida Costanera



Fuente: Elaboración propia

Este tramo tiene como punto de inicio la Calle Gerónimo Velázquez hasta el puente que ingresa al barrio San Jerónimo, dicho tramo tiene una longitud de 537 m, pertenece a una vía urbana de pavimento flexible comprendida por una doble vía de doble carril para cada sentido; por donde circulan vehículos de tipo liviano y medio de uso particular y público. Su ancho de calzada es de 7,00 m.

- **Tramo 3: Avenida La Banda**

Figura 3.17: Avenida La Banda



Fuente: Elaboración propia

Este tramo tiene como punto de inicio la rotonda del Puente Bicentenario hasta el final de la Avenida Los Molles, con una longitud de 675 m, pertenece a una vía urbana de pavimento flexible comprendida por una sola vía de doble carril, uno para cada sentido; por donde circulan vehículos de tipo liviano, medio y pesado de uso particular y público. Su ancho de calzada es de 7m.

- **Tramo 4: Avenida Mario Cossío**

Figura 3.18: Avenida Mario Cossío



Fuente: Elaboración propia

Este tramo tiene como punto de inicio el cruce con la avenida principal hasta la Avenida San Blas, con una longitud de 586 m, pertenece a una vía urbana de pavimento flexible, comprendida por una sola vía de doble carril, uno para cada sentido; por donde circulan vehículos de tipo liviano, medio y pesado de uso particular y público. Su ancho de calzada es de 8 m.

- **Tramo 5: Avenida Jaime Paz Zamora (Zona de la Nueva Terminal)**

Figura 3.19: Avenida Jaime Paz Zamora



Fuente: Elaboración propia

Este tramo tiene como punto de inicio la entrada a la Nueva Terminal de Buses de Tarija, con una longitud de 515 m en dirección a lo que sería la tranca del Portillo, el tramo pertenece a una vía urbana de pavimento flexible comprendida por una sola vía de doble carril, uno para cada sentido; por donde circulan vehículos de tipo liviano, medio y pesado de uso particular y público. Su ancho de calzada es de 7 m.

3.2.2 Características de los tramos en estudio de pavimento rígido

- **Tramo 1: Calle Padilla**

Figura 3.20: Calle Padilla



Fuente: Elaboración propia

Este tramo tiene como punto de inicio la Avenida Jaime Paz Zamora hasta la Avenida Belgrano con una longitud de 406 m; pertenece a una vía urbana de pavimento rígido, comprendido por una sola vía de doble carril, uno para cada sentido.

En el tramo se presenta una alta transitabilidad de vehículos de tipo liviano y mediano de uso particular y público. Su ancho de calzada es de 9,50 m, sus losas de hormigón tienen dimensiones de 4,00 x 3,00 m; y sus juntas transversales y longitudinales tienen un ancho de 3 cm.

- **Tramo 2: Calle Junín**

Figura 3.21: Calle Junín



Fuente: Elaboración propia

Este tramo tiene como punto de inicio la Avenida Potosí hasta la Calle Coronel Delgadillo, con una longitud de 541 m; pertenece a una vía urbana de pavimento rígido, comprendido por una sola vía de doble carril, uno para cada sentido, por donde circulan vehículos de tipo medio y liviano de uso particular y público. Su ancho de calzada es de 6 m, sus losas de hormigón tienen dimensiones de 3,00 x 2,75 m y sus juntas transversales y longitudinales tienen un ancho de 3 cm.

- **Tramo 3: Avenida Circunvalación**

Figura 3.22: Avenida Circunvalación



Fuente: Elaboración propia

Este tramo tiene como punto de inicio la Avenida Jorge Majluf pasando la torre Petrolera ubicada en la rotonda de la Avenida Froilán Tejerina hasta la salida a la Avenida Panamericana. El tramo tiene una longitud de 579 m; pertenece a una vía urbana de pavimento rígido, comprendido por dos vías de doble carril para cada sentido, donde se presenta una alta transitabilidad de vehículos de tipo liviano, mediano y pesado, de uso particular y público. Su ancho de calzada es de 7,50 m, sus losas de hormigón tienen dimensiones de 4.00 x 3.75 m; sus juntas transversales tienen un ancho de 1 cm y las longitudinales de 2 cm.

- **Tramo 4: Avenida de ingreso al Hotel Los Parrales**

Figura 3.23: Avenida de ingreso al Hotel Los Parrales



Fuente: Elaboración propia

Este tramo se encuentra ubicado en la parte alta de la ciudad de Tarija siendo la avenida principal de entrada al Hotel Los Parrales. El tramo tiene una longitud de 556 m, pertenece a una vía urbana de pavimento rígido, comprendido por una sola vía de doble carril, uno para cada sentido; por donde circulan vehículos de tipo liviano y medio, en su mayoría de uso particular. Su ancho de calzada es de 8,10 m, sus losas de hormigón tienen dimensiones de 2,60 x 4,00 m; sus juntas transversales tienen un ancho de 1cm y las juntas longitudinales de 2cm.

- **Tramo 5: Avenida Jaime Paz Zamora (Zona de la Ex Terminal)**

Figura 3.24: Avenida Jaime Paz Zamora



Fuente: Elaboración propia

Este tramo tiene como punto de inicio la Calle España hasta la Calle Napoleón Raña con una longitud de 612 m, pertenece a una vía urbana de pavimento rígido de doble carril para un solo sentido, donde se presenta una alta transitabilidad de vehículos de tipo liviano de uso particular y público, como así también de tipo mediano y pesado en pequeña proporción. Su ancho de calzada es de 9 m, sus losas de hormigón tienen dimensiones de 4 x 3 m; y sus juntas transversales y longitudinales tienen un ancho de 3 cm.

3.3. CARACTERIZACIÓN DE PAVIMENTOS EXISTENTES

Para la caracterización del pavimento existente perteneciente a cada tramo de estudio tanto de pavimento flexible como rígido, se optó por la extracción de testigos de los mismos, para que, a través de los ensayos necesarios realizados a dichas muestras de pavimento, se pueda obtener las características de los mismos.

- **Extracción de testigos**

La extracción de testigos tiene como principal objetivo verificar que los diferentes parámetros de diseño (densidad, espesor, resistencia, etc.), cumplan con las especificaciones de la obra. También en muchas ocasiones sirven para determinar adicionalmente, el contenido porcentual de asfalto, por medio del ensayo de centrifugación.

En el presente trabajo la extracción de testigos se realizó para analizar la superficie o carpeta asfáltica existente, para determinar el contenido de asfalto, las propiedades de este y la granulometría del agregado, como así también se procedió a extraer la cantidad necesaria de muestras de las zonas donde se realizó anteriormente el sellado para evaluar en laboratorio el sello aplicado en dichas áreas de estudio.

Figura 3.25: Equipo extractor



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26: Extracción de testigos



Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Caracterización de los pavimentos flexibles existentes

Para conocer las características de dichos tramos de pavimento flexible existente, es necesario separar el contenido de asfalto de los agregados en una muestra representativa de carpeta asfáltica extraída.

El asfalto es extraído acorde a la norma ASTM D 2172, “Extracción cuantitativa de bitumen de una mezcla de pavimento bituminoso”.

Las siguientes propiedades son entonces determinadas:

- a) **Gradación de agregados:** La gradación de los agregados una vez separado del asfalto es establecida por el análisis del tamizado, ASTM C 136 “Análisis de tamizado de agregados finos y gruesos”.

- b) **Contenido de asfalto:** El contenido de asfalto de un pavimento asfáltico recuperado es determinado en base al peso relativo del asfalto extraído y los agregados.

- **Ensayo de extracción de asfalto por centrifugación**

El ensayo de extracción es el método para determinar el contenido de asfalto por centrifugación. El método que será realizado según normas ASTM D 2172 y AASHTO T 164.

El propósito de dicho ensayo, es la separación cuantitativa del agregado y del asfalto, contenidos en una muestra representativa de pavimento asfáltico. Dicha extracción se realiza utilizando un aparato llamado extractor centrífugo, el cual separa los agregados pétreos del asfalto con solvente que en nuestro caso es la gasolina.

El procedimiento y descripción de la práctica se verá en el ANEXO 2

Figura 3.27: Extracción de asfalto

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.28: Muestra sin asfalto

Fuente: Elaboración propia

- **Análisis granulométrico del agregado pétreo**

El análisis granulométrico de los agregados pétreos será realizado según normas (ASTM C 117 y C 136), (AASHTO T 11 y T 27).

Al finalizar la prueba de extracción del cemento asfáltico, éste ensayo nos permite determinar la distribución de las partículas de agregados gruesos y finos extraídos de muestras asfálticas y para verificar el cumplimiento de granulometría con la banda de trabajo y además entregar antecedentes para el control de calidad de las mezclas asfálticas.

Figura 3.29: Serie de tamices



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.30: Muestra retenida en cada tamiz



Fuente: Elaboración propia

- **Contenido de asfalto en muestras del pavimento**

El contenido de asfalto en el pavimento asfáltico, tiene por objetivo determinar el contenido de residuo o cemento asfáltico en las mezclas, expresándolo como porcentaje en peso respecto al del material pétreo seco.

Características del tramo 1: Avenida Integración

- Espesor de carpeta asfáltica: 6.50 cm
- Tamaño máximo del agregado: $\frac{3}{4}$ " = 19 mm
- Tamaño máximo nominal del agregado: $\frac{1}{2}$ " = 12,5 mm

Tabla 3.3: Contenido de cemento asfáltico

Contenido de asfalto %	5,40 %
-------------------------------	---------------

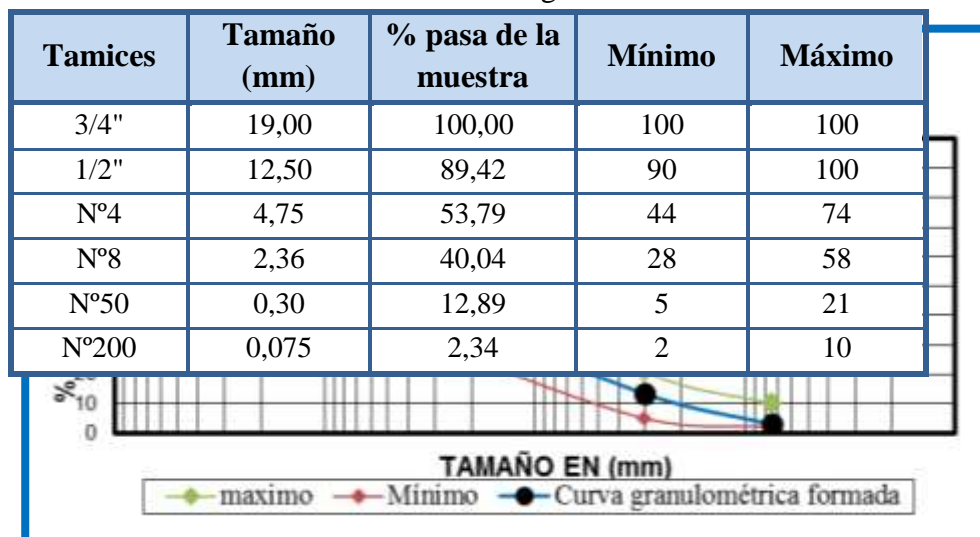
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4: Granulometría del agregado pétreo

Tamices	Tamaño (mm)	% Pasa de muestra	Mínimo	Máximo
3/4"	19,00	100,00	100	100
1/2"	12,50	88,11	90	100
Nº4	4,75	55,38	44	74
Nº8	2,36	39,85	28	58
Nº50	0,30	13,37	5	21
Nº200	0,075	2,95	2	10

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.1: Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Características del tramo 2: Avenida Costanera

- Espesor de carpeta asfáltica: 7,0 cm
- Tamaño máximo del agregado: $\frac{3}{4}$ " = 19 mm
- Tamaño máximo nominal del agregado: $\frac{1}{2}$ " = 12,5 mm

Tabla 3.5: Contenido de cemento asfáltico

Contenido de asfalto %	6,00 %
-------------------------------	---------------

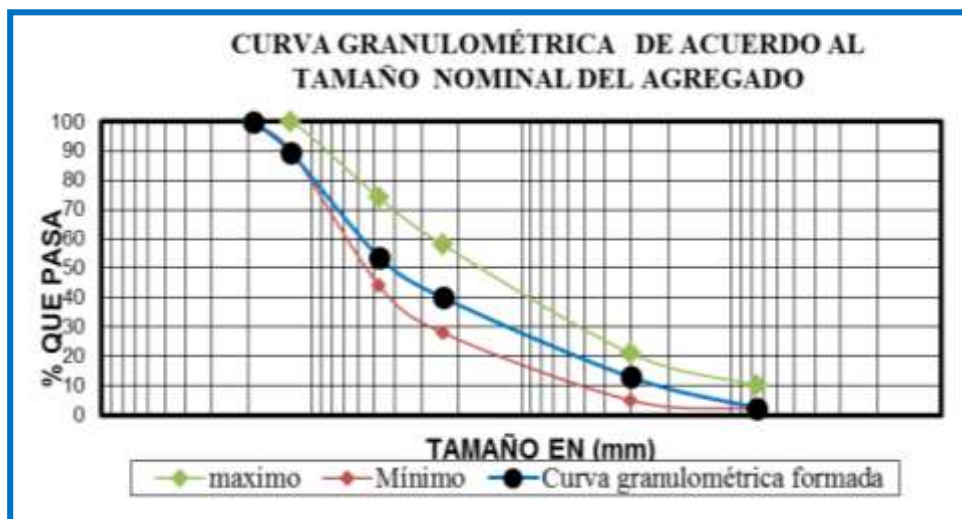
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6: Granulometría del agregado pétreo

Tamices	Tamaño (mm)	% Pasa de muestra	Mínimo	Máximo
3/4"	19,00	100,00	100	100
1/2"	12,50	89,42	90	100
N°4	4,75	53,79	44	74
N°8	2,36	40,04	28	58
N°50	0,30	12,89	5	21
N°200	0,075	2,34	2	10

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.2: Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Características del tramo 3: Avenida La Banda

- Espesor de carpeta asfáltica: 6,0 cm
- Tamaño máximo del agregado: 1" = 25 mm
- Tamaño máximo nominal del agregado: ¾" = 19 mm

Tabla 3.7: Contenido de cemento asfáltico

Contenido de asfalto %	4,60 %
-------------------------------	---------------

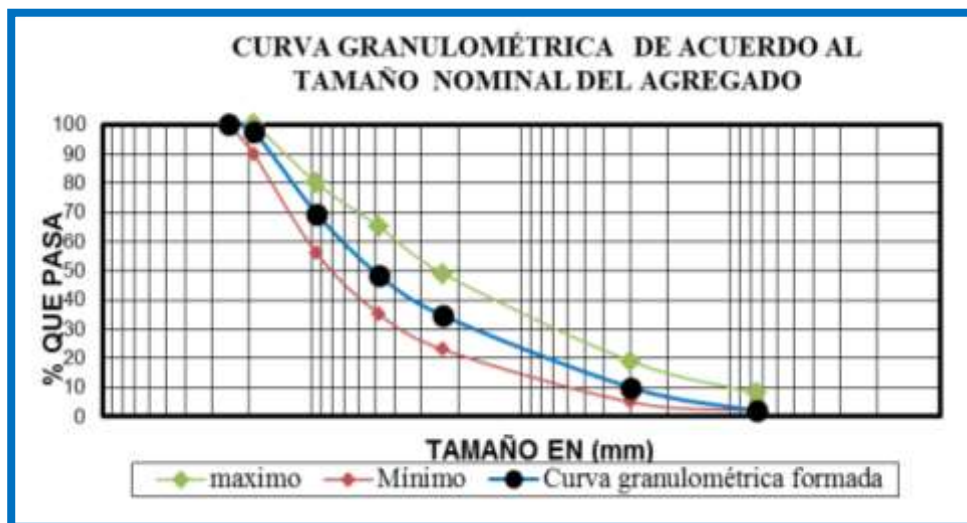
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8: Granulometría del agregado pétreo

Tamices	Tamaño (mm)	% Pasa de muestra	Mínimo	Máximo
1"	25,00	100,00	100	100
¾"	19,00	97,66	90	100
⅜"	9,50	69,56	56	80
Nº4	4,75	48,26	35	65
Nº8	2,36	34,61	23	49
Nº50	0,30	10,01	5	19
Nº200	0,075	1,92	2	8

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.3: Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Características del tramo 4: Avenida Mario Cossío

- Espesor de carpeta asfáltica: 4,0 cm
- Tamaño máximo del agregado: 1" = 25 mm
- Tamaño máximo nominal del agregado: ¾" = 19 mm

Tabla 3.9: Contenido de cemento asfáltico

Contenido de asfalto %	6,03 %
-------------------------------	---------------

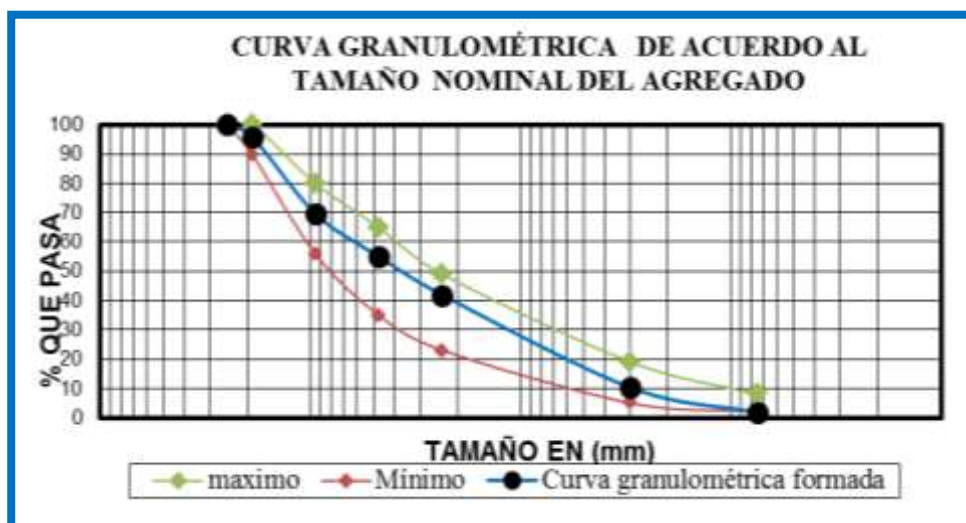
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10: Granulometría del agregado pétreo

Tamices	Tamaño (mm)	% Pasa de muestra	Mínimo	Máximo
1"	25,00	100,00	100	100
¾"	19,00	95,96	90	100
⅜"	9,50	69,72	56	80
Nº4	4,75	55,07	35	65
Nº8	2,36	41,90	23	49
Nº50	0,30	10,28	5	19
Nº200	0,075	1,78	2	8

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.4: Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Características del tramo 5: Avenida Jaime Paz Zamora (Zona Nueva Terminal)

- Espesor de carpeta asfáltica: 8,0 cm
- Tamaño máximo del agregado: 1" = 25 mm
- Tamaño máximo nominal del agregado: ¾" = 19 mm

Tabla 3.11: Contenido de cemento asfáltico

Contenido de asfalto %	6,01 %
-------------------------------	---------------

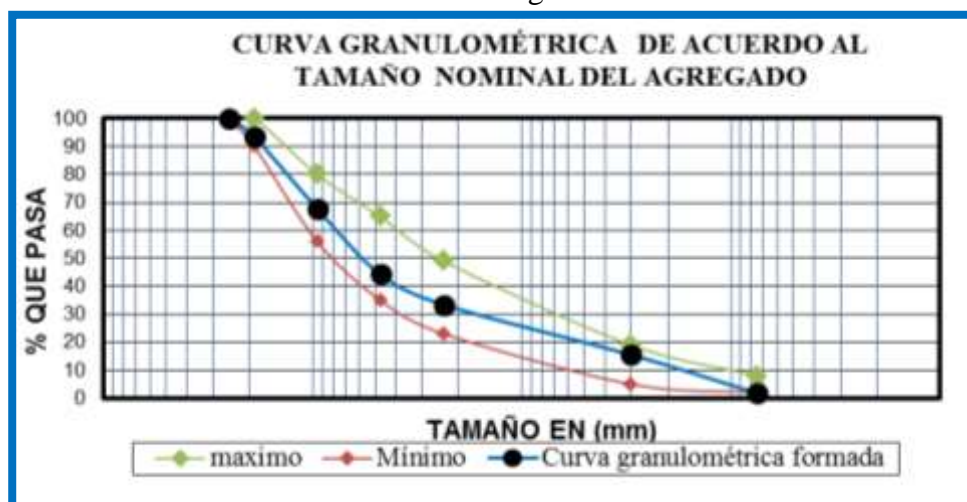
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12: Granulometría del agregado pétreo

Tamices	Tamaño (mm)	% Pasa de muestra	Mínimo	Máximo
1"	25,00	100,00	100	100
¾"	19,00	93,49	90	100
⅜"	9,50	67,71	56	80
Nº4	4,75	44,26	35	65
Nº8	2,36	33,41	23	49
Nº50	0,30	15,46	5	19
Nº200	0,075	1,78	2	8

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.5: Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Caracterización de los pavimentos rígidos existentes

La caracterización de los pavimentos existentes de los tramos en estudio correspondientes al pavimento rígido, se la realizó partiendo de una extracción de núcleos para sacar a través de ello algunas de sus características que sí fueron posibles determinarlas, como son el espesor de la losa y la resistencia a compresión del concreto. Además, se pudo obtener más información de las características de los mismos, gracias a una tesis de investigación de donde se realizó una caracterización minuciosa y confiable de éstos tramos de pavimentos en estudio. Tesis: Análisis y comparación del esfuerzo – desplazamiento en pavimento rígido con el diseño original aplicando el programa computacional EVERFE 2.24” UAJMS 2016.

Características del tramo 1: Calle Padilla

Tabla 3.13: Características del pavimento de la Calle Padilla

Tramo 1 : Calle Padilla		
Espesor de Losa =	22	cm
Dimensiones de Losa =	4,00*3,00	m
Resistencia a la Compresión del Concreto (fc) =	428	kg/cm ²
CBR Capa Sub Rasante Terreno Natural =	3,7	%
CBR Capa sub Rasante Mejorada =	18	%
CBR Capa Sub Base =	45	%
Espesor de la Capa Sub Base =	27	cm
Espesor de la Capa Sub Rasante Mejorada =	34	cm
Densidad de la losa =	2400	kg/m ³

Fuente: Tesis: Análisis y comparación del esfuerzo – desplazamiento en pavimento rígido con el diseño original aplicando el programa computacional everfe” UAJMS 2016

Características del tramo 2: Calle Junín

Tabla 3.14: Características del pavimento de la Calle Junín

Tramo 2 : Calle Junín		
Espesor de Losa =	20	cm
Dimensiones de Losa =	4,00*2,75	m
Resistencia a la Compresión del Concreto (fc) =	370	kg/cm ²
CBR Capa Sub Rasante Terreno Natural =	3,7	%
CBR Capa sub Rasante Mejorada =	18	%
CBR Capa Sub Base =	45	%
Espesor de la Capa Sub Base =	27	cm
Espesor de la Capa Sub Rasante Mejorada =	34	cm
Densidad de la losa =	2400	kg/m ³

Fuente: Tesis: Análisis y comparación del esfuerzo – desplazamiento en pavimento rígido con el diseño original aplicando el programa computacional everfe” UAJMS 2016

Características del tramo 3: Avenida Circunvalación

Tabla 3.15: Características del pavimento de la Avenida Circunvalación

Tramo 3 : Avenida Circunvalación		
Espesor de Losa =	21	cm
Dimensiones de Losa =	4,15*3,75	m
Resistencia a la Compresión del Concreto (fc) =	428	kg/cm ²
CBR Capa Sub Rasante Terreno Natural =	3,7	%
CBR Capa sub Rasante Mejorada =	18	%
CBR Capa Sub Base =	45	%
Espesor de la Capa Sub Base =	27	cm
Espesor de la Capa Sub Rasante Mejorada =	34	cm
Densidad de la losa =	2400	kg/m ³

Fuente: Tesis: Análisis y comparación del esfuerzo – desplazamiento en pavimento rígido con el diseño original aplicando el programa computacional everfe” UAJMS 2016

Características tramo 4: Avenida de ingreso al Hotel Los Parrales

Tabla 3.16: Características del pavimento de la Av. Ingreso al Hotel Los Parrales

Tramo 4: Avenida de ingreso al Hotel Los Parrales		
Espesor de Losa =	18	cm
Dimensiones de Losa =	4,00*2,60	m
Resistencia a la Compresión del Concreto (fc) =	360	kg/cm ²
CBR Capa Sub Rasante Terreno Natural =	3	%
CBR Capa sub Rasante Mejorada =	19	%
CBR Capa Sub Base =	40	%
Espesor de la Capa Sub Base =	35	cm
Espesor de la Capa Sub Rasante Mejorada =	22	cm
Densidad de la losa =	2400	kg/m ³

Fuente: Tesis: Análisis y comparación del esfuerzo – desplazamiento en pavimento rígido con el diseño original aplicando el programa computacional everfe” UAJMS 2016

Características del tramo 5: Avenida Jaime Paz Zamora (Zona ex terminal)

Tabla 3.17: Características del pavimento de la Av. Jaime Paz Zamora

Tramo 5: Avenida Jaime Paz Zamora zona de la ex terminal		
Espesor de Losa =	22	cm
Dimensiones de Losa =	4,0*3,3	m
Resistencia a la Compresión del Concreto (fc) =	370	kg/cm ²
CBR Capa Sub Rasante Terreno Natural =	3	%
CBR Capa sub Rasante Mejorada =	16	%
CBR Capa Sub Base =	40	%
Espesor de la Capa Sub Base =	32	cm
Espesor de la Capa Sub Rasante Mejorada =	19	cm
Densidad de la losa =	2400	kg/m ³

Fuente: Tesis: Análisis y comparación del esfuerzo – desplazamiento en pavimento rígido con el diseño original aplicando el programa computacional everfe” UAJMS 2016

3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PARA SELLOS

Los sellos a utilizar en la aplicación para el análisis del presente proyecto son de 3 diferentes materiales, dos de ellos son sellos líquidos aplicados en caliente y el tercero es un sellante plástico aplicado en frío, estos materiales sellantes son:

- Mástic asfáltico
- Alquitrán
- Sikaflex pro-3

En el caso del mástic asfáltico se trata de un sello aplicado en caliente bajo especificación de norma ASTM D6690, al tratarse de un sello a preparar, en esta etapa se realizaron las pruebas de caracterización de los materiales utilizados en la preparación de dicho sello, como son la arena fina y el ligante asfáltico que en este caso es el cemento asfáltico 85/100. En el caso del sello de alquitrán y del sellador Sikaflex PRO-3 se conocerán sus características gracias a las especificaciones proporcionadas por el proveedor de ambos materiales.

3.4.1. Mástic asfáltico

El mástic asfáltico es una mezcla que no trabaja por rozamiento interno y su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla.

Las proporciones de asfalto son altas debido a la gran superficie específica de la materia mineral. Dada la sensibilidad a los cambios de temperatura que presenta una estructura de este tipo, es necesario rigidizar la masilla y disminuir su susceptibilidad térmica mediante el empleo de asfaltos duros, cuidando la calidad del polvo mineral. El mástic asfáltico tiene muchas ventajas como son:

- Forma un revestimiento impermeable.
- Protege contra la formación de moho.
- Llena los pequeños poros y grietas de la base.
- No se agrieta en condiciones de frío.
- Tiene una buena adhesión a cualquier material de base.
- Con el tiempo no pierde su elasticidad resistente.

Materiales de aporte

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes; además de tenerlos a nuestro alcance y disponibilidad.

El material pétreo empleado, fue obtenido del centro de acopio de agregados de la Posta Municipal de la ciudad de Tarija, el cual es proveniente de una chancadora que se encuentra en la comunidad de La Pintada, la cual provisiona de material a la Alcaldía del Municipio de Tarija de la Provincia Cercado.

Figura 3.31: Centro de acopio de material



Fuente: Elaboración propia

El cemento asfáltico a emplear es el C.A. 85-100 con nombre Betunel de procedencia brasilera, fué también proporcionado por la misma institución. Ambos materiales serán analizados en Laboratorio de Suelos, Hormigones y Asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para su respectiva caracterización y empleo.

3.4.1.1. Caracterización del cemento asfáltico

Para poder caracterizar el cemento asfáltico se procedió a realizar los siguientes ensayos descritos a continuación, los mismos que fueron realizados en el Laboratorio de Asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

El procedimiento de cada ensayo realizado se verá en el ANEXO 3.

3.4.1.1.1. Ensayo de penetración (AASHTO: T49-97) (ASTM: D 5)

El ensayo de penetración permite determinar la dureza o consistencia de los cementos asfálticos, así como de los residuos por destilación de las emulsiones y asfaltos rebajados, mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de prueba de dichos materiales bajo condiciones establecidas de masa, tiempo y temperatura.

Resumen del método de ensayo:

El ensayo consiste en calentar un recipiente con cemento asfáltico hasta la temperatura de referencia, 25°C (77°F), en un baño de agua a temperatura controlada. Se apoya una aguja normalizada, de 100g de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0,1mm.

Figura 3.32: Ensayo de penetración



Fuente: Elaboración propia

Resultados:**Tabla 3.18:** Resultados del ensayo de penetración

Promedio	Unidad	Especificaciones	
		Mínimo	Máximo
96	mm	85	100

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1.2. Ensayo de ductilidad (AASHTO: T51-00) (ASTM: D113)

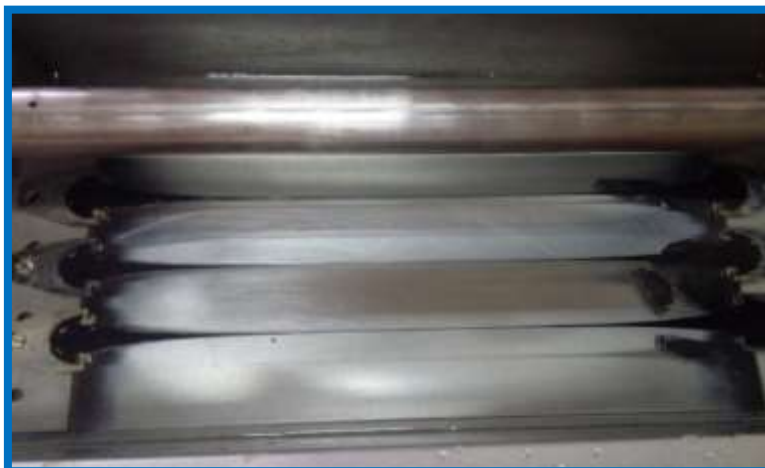
El ensayo de ductilidad permite determinar la capacidad para deformarse sin romperse, de los cementos asfálticos, del residuo de la prueba de película delgada y de los residuos asfálticos obtenidos por destilación de emulsiones.

La presencia o ausencia de ductilidad es importante porque mide la capacidad del asfalto a la elongación antes de romperse, bajo condiciones controladas. Los asfaltos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes. Por otra parte, asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura y por lo tanto a la deformación.

Resumen del método de ensayo:

La prueba consiste en medir la máxima distancia a la cual una briqueta de dichos materiales, de geometría y bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformación específicas, puede ser estirada sin romperse.

La ductilidad de un material bituminoso es medida por la distancia en centímetros a la cual se alargará antes de romperse cuando se tiran dos extremos de un espécimen de la briqueta del material, estos extremos son separados a una velocidad específica y a una temperatura específica. A menos que por otra parte se especifique, el ensayo se hará a una temperatura de $25 \pm 0^\circ\text{C}$ y con una velocidad de 50 mm por minuto ± 2.5 mm por minuto.

Figura 3.33: Ensayo de ductilidad

Fuente: Elaboración propia

Resultados:

Tabla 3.19: Resultados del ensayo de ductilidad

Promedio	Unidad	Especificaciones	
		Mínimo	Máximo
102	cm	100	----

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1.3. Punto de inflamación por el Vaso Abierto de Cleveland (AASTHO: T79-96) (ASTM: D1310-01)

El ensayo de punto de inflamación permite determinar la temperatura mínima a la que el asfalto produce flamas instantáneas al estar en contacto con el fuego directo, así como aquella en que inicia su combustión.

La prueba de punto de inflamación es un parámetro muy importante como consideración de almacenaje y transporte, ya que indica la temperatura mínima a la cual el asfalto empieza a generar vapores potencialmente inflamables, generando así riesgos de fuego.

Resumen del método de ensayo:

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.

La prueba consiste en colocar una muestra de asfalto en una copa abierta de Cleveland, hasta un nivel especificado; en donde su temperatura se incrementa paulatinamente. La temperatura inicial de la muestra se aumenta rápidamente y luego en proporción lenta y constante, a medida que el punto de combustión se aproxima.

A intervalos de tiempo especificados se pasa una pequeña llama a través de la copa hasta lograr que al pasar una llama por la superficie de la muestra se produzca en ella llamas instantáneas, la temperatura correspondiente se denomina punto de inflamación. Si se continúa elevando la temperatura de la muestra se llega al punto en que se inicia la combustión del material, la temperatura correspondiente se denomina punto de combustión.

Figura 3.34: Ensayo de punto de inflamación



Fuente: Elaboración propia

Resultados:**Tabla 3.20:** Resultados del ensayo de punto de inflamación por el Vaso Abierto de Cleveland

Promedio	Unidad	Especificaciones	
		Mínimo	Máximo
>290	°C	>232	----

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1.4. Punto de ablandamiento (Aparato de anillo y esfera) (AASHTO: T 53-96) (ASTM: D 36)

El ensayo de punto de ablandamiento nos permite determinar la temperatura a la cual el material asfáltico se ve afectado por la susceptibilidad térmica, es decir, que a esa temperatura la viscosidad cambia bruscamente y el material va tomando la tendencia de entrar en estado de fluencia o empieza a fluir; es decir, la temperatura en la que el material se comporta con una viscosidad absoluta.

Este método para determinar dicha temperatura es llevado a cabo por medio del ensayo del anillo y la bola.

Resumen del método de ensayo:

Este ensayo consiste en llenar de asfalto fundido dos anillos de bronce de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero para cada uno de los anillos, de dimensiones y peso especificados.

El punto de ablandamiento se considera como el valor promedio de las temperaturas, a las cuales los dos discos se ablandan lo suficiente, para permitir que cada bola envuelta en material bituminoso caiga desde una distancia de 25mm (1") hasta tocar el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama punto de reblandecimiento del asfalto.

Figura 3.35: Ensayo de punto de ablandamiento

Fuente: Elaboración propia

Resultados:

Tabla 3.21: Resultados del ensayo de punto de ablandamiento

Promedio	Unidad	Especificaciones	
		Mínimo	Máximo
47	°C	42	53

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1.5. Ensayo de peso específico (AASHTO: T 228-93) (ASTM: D 70-76)

El ensayo de peso específico tiene como finalidad determinar el peso específico de materiales bituminosos semisólidos, cementos asfálticos y alquitranes blandos, mediante el uso de un picnómetro.

El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Los valores de peso específico son usados para convertir volúmenes a unidades de masa y para corregir volúmenes medidos de una temperatura específica a una temperatura Standard usando la práctica ASTM D 4311.

Resumen del método de ensayo:

Este ensayo consiste en colocar la muestra de cemento asfáltico en un picnómetro calibrado. El picnómetro y la mezcla son pesados y el volumen remanente es llenado con agua.

El picnómetro lleno es estabilizado a la temperatura de ensayo (25°C) y posteriormente pesado de nuevo. La gravedad específica de la muestra es calculada para esta masa y la masa de agua desplazada por la muestra cuando se llenó el picnómetro.

Figura 3.36: Ensayo de peso específico



Fuente: Elaboración propia

Resultados:

Tabla 3.22: Resultados del ensayo de peso específico

Promedio	Unidad	Especificaciones	
		Mínimo	Máximo
1,004	grs/cm ³	1	1,05

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1.6. Ensayo de viscosidad cinemática (AASHTO: T 201-01) (ASTM: D 2170)

Este método abarca los procedimientos para determinar la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos, aceites para carreteras y residuos de destilaciones del asfalto líquido todos a los 60 °C, y de cemento asfáltico a 135 °C.

Los resultados de este método pueden ser usados para calcular la viscosidad cuando la densidad del material que se ensaye y la temperatura son conocidos o pueden determinarse.

Resumen del método de ensayo:

Se mide el tiempo requerido para que un volumen fijo de líquido fluya, por capilaridad, a través del capilar de vidrio calibrado del viscosímetro, bajo una temperatura controlada. La viscosidad cinemática se calcula multiplicando el tiempo de flujo en segundos por el factor de calibración del viscosímetro.

La viscosidad de un cemento asfáltico a las temperaturas usadas en el mezclado (normalmente 135°C) se mide con viscosímetros capilares de flujo inverso.

La viscosidad cinemática se mide, normalmente, con viscosímetros de tubo capilar de cristal. Este ensayo permite una mayor comodidad y exactitud en los ensayos. La base de este ensayo es la medida del tiempo necesario para que fluya un volumen constante de material bajo condiciones de ensayo, como temperatura y altura del líquido, rígidamente controladas.

Mediante el tiempo medido, en segundos y la constante de calibración del viscosímetro, es posible calcular la viscosidad cinemática del material en la unidad fundamental, centiStokes.

Figura 3.37: Ensayo de viscosidad cinemática



Fuente: Elaboración propia

Resultados:

Tabla 3.23: Resultados del ensayo de viscosidad cinemática

Promedio	Unidad	Especificaciones	
		Mínimo	Máximo
324	mm ² /s	250	---

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24: Especificaciones para cementos asfálticos

Tabla N° 2 Especificaciones para cementos asfálticos. Clasificados por su grado de penetración.

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	GRADO DE PENETRACIÓN									
			40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
			Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	---	D-5	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta	°C	D-92	232	---	232	---	232	---	218	---	177	---
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min	cm	D-113	100	---	100	---	100	---	100	---	100 ^A	---
Solubilidad en tricloroetileno	%	D-2042	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---
Penetración retenida después de la prueba de horno sobre película delgada	%	D-5 Después de realizar D-1754	55+	---	52+	---	47+	---	42+	---	37+	---
Ductilidad 25°C, 5 cm/min, después de prueba de horno sobre película delgada	cm	D-113 Después de realizar D-1754	---	---	50	---	75	---	100	---	100 ^A	---

A Si la ductilidad a 25°C es menor que 100 cm se puede aceptar el material si la ductilidad a 15.5°C es mínimo 100 cm a una tasa de 5 cm/min

Fuente: Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano

3.4.1.2. Caracterización del agregado fino

Para poder caracterizar el agregado fino (arena) se procedió a realizar los siguientes ensayos descritos a continuación, los mismos que fueron realizados en el Laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Figura 3.38: Centro de acopio para la provisión del material



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.39: Material pétreo a utilizar



Fuente: Elaboración propia

El procedimiento de cada ensayo realizado se verá en el ANEXO 2

3.4.1.2.1. Análisis granulométrico de los agregados (AASHTO T27) (ASTM C136)

Se denomina granulometría, a la distribución en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido. Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos.

Lo que se hace es obtener el porcentaje de material que pasa cada tamiz de la serie de tamices estándar y graficar la curva granulométrica para establecer la distribución de los materiales de los granos presentes en una masa de suelo, que debe estar dentro de las especificaciones establecidas.

Figura 3.40: Juego de tamices



Figura 3.41: Tamizado del agregado



Fuente: Elaboración propia

Resultados:

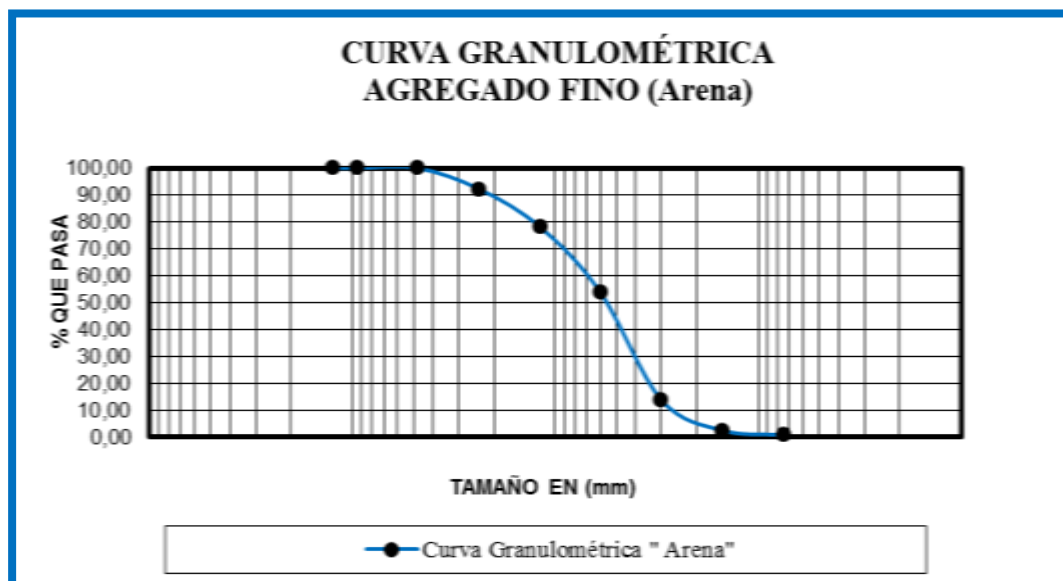
GRANULOMETRÍA - AGREGADO FINO (Arena)

Tabla 3.25: Resultados de granulometría de la arena

Tamices	Tamaño (mm)	% Que pasa del total
1/2	12,5	100,00
3/8	9,50	100,00
N°4	4,75	99,95
N°8	2,36	92,13
N°16	1,18	77,91
N°30	0,60	53,84
N°50	0,30	13,83
N°100	0,15	2,55
N°200	0,075	0,79
BASE	-	0,05

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.6: Curva granulométrica de la arena



Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2.2. Método para determinar el equivalente de arena (ASTM: D-2419) (AASHTO T 176)

El equivalente de arena está definido como el porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculantes, partículas arcillosas.

Este método cuantifica el volumen total de material no plástico deseable en la muestra, fracción gruesa, denominando su proporción volumétrica como equivalente de arena.

Establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por el tamiz de 4.75 mm (Nº4).

Tiene como objetivo determinar la calidad que tiene un suelo que se va emplear en las capas de un pavimento; esta calidad es desde el punto de vista de su contenido de finos indeseables de naturaleza plástica.

Figura 3.42: Determinación del equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia

Resultados:

$$E. A. = \frac{H_1}{H_2} * 100$$

Tabla 3.26: Resultados de equivalente de arena

Equivalente de arena (%)	Norma
92,57	> 50%

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2.3. Peso específico y absorción del agregado fino (AASHTO: T 84 – 00) (ASTM: C 128 – 97)

El peso específico es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto de cemento Portland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen.

El objetivo de este ensayo es determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

Figura 3.43: Muestra sumergida

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.45: Matraz + muestra + agua

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.44: Secado superficial

Fuente: Elaboración propia

Resultados:**Tabla 3.27:** Resultados de peso específico de la arena

P.E. a granel (gr/cm ³)	P.E. Saturado con superficie seca (gr/cm ³)	P.E. Aparente (gr/cm ³)	Porcentaje de Absorción %
2,25	2,29	2,34	1,75

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2.4. Peso unitario del agregado fino (ASTM: C 29M) (AASHTO T 19)

El peso volumétrico, también llamado peso unitario o densidad en masa; de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado.

El peso unitario de los agregados fino y grueso tiene como objetivo describir el peso unitario de la medida de agregados a la temperatura ambiente.

El peso unitario es el peso de la unidad de volumen de material a granel en las condiciones de compactación y humedad en que se efectúa el ensayo.

Figura 3.46: Compactado de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.47: Enrazado de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.48: Muestra Compactada



Fuente: Elaboración propia

Resultados:**Tabla 3.28:** Resultados de peso unitario del agregado fino

Peso unitario compactado (gr/cm³)	
1	1,640
2	1,642
3	1,645
Prom.	1,642

Fuente: Elaboración propia

Peso unitario suelto (gr/cm³)	
1	1,481
2	1,484
3	1,478
Prom.	1,481

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Alquitrán

El alquitrán es un producto bituminoso negro, viscoso, semisólido, obtenido como residuo de la destilación

Sus propiedades más características son: viscosidad, cohesión, adherencia, secatividad, durabilidad, susceptibilidad.

El alquitrán utilizado en el presente proyecto es de procedencia venezolana, se trata de cinducoat, que es un asfalto oxidado con características especiales de resistencia y flexibilidad su aplicación es en caliente y alternándolo con refuerzo de fibra de vidrio o polyester funciona para la impermeabilización de techos, muros y fundaciones se clasifican como tipo III y tipo IV.

El que se utilizó fué el de tipo IV que es un asfalto sólido de alta calidad para aplicación en caliente fabricado bajo normas de control según especificaciones ASTM D-312 cuyas características se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3.29: Características del alquitrán

Propiedades	Métodos		Especificaciones
	Cov	ID en	
Punto de ablandamiento, °C	419	122	85-96
Penetración a 25°C, dmm	---	122	15-35
Penetración a 0°C, dmm	---	122	6 mín.
Penetración a 46°C, dmm	---	122	90 máx.
Punto de inflamación, °C	372	---	246 mín.
Solubilidad en tricloro etileno, %	---	214	99 mín.
Ductilidad a 25°C	1123	---	2,5 mín.

Fuente: CINDU

Figura 3.49: Alquitrán en su estado sólido

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Sikaflex® PRO-3

Sellador elástico de poliuretano monocomponente de altas prestaciones para pavimentos y aplicaciones en ingeniería civil.

Descripción del Producto

Figura 3.50: Sikaflex® PRO-3



Fuente: Elaboración propia

Sikaflex® PRO-3 es un sellante elástico de poliuretano monocomponente, con altas resistencias mecánicas, que cura con la humedad ambiental. Adecuado para utilizarlo en interiores y exteriores.

Datos del Producto

Forma

Apariencia/Color	Gris hormigón
Presentación	Salchichones de 600 ml
Condiciones de almacenamiento/ Conservación	15 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar seco y fresco, entre +5°C y +25°C. Proteger de la acción directa del sol.

Fuente: SIKA GUIA 2016-2017

Tabla 3.30: Especificaciones técnicas del Sikaflex® PRO-3

Composición Química	Poliuretano de tecnología I-Cure®	
Densidad	~ 1,35 kg/l aprox.	(CQP ¹) 006-4, ISO 1183-1)
Formación de Piel	~ 60 minutos (+23°C / 50% hr.)	(CQP 019-1)
Tiempo de alisado	~ 50 minutos (+23°C / 50% hr.)	(CQP 019-2)
Velocidad de Polimerización	~ 3,5 mm /24h (+23°C / 50% hr.)	(CQP 049-2)
Capacidad de Movimiento	±25%	(ISO 9047)
	±35%	(ASTM C 719)
Descuelgue	0 mm, (perfil 20 mm, 50°C)	(CQP 061-4, ISO 7390)
Temperatura de Servicio	De -40°C a +70°C	
Resistencia a la propagación del desgarro	~ 8 N/mm (+23°C / 50% h.r.)	(CQP 045-1, ISO 34)
Dureza Shore A	~ 37 después de 28 días (+23°C/ 50% h.r.)	(CQP 023-1, ISO 868)
Módulo - E	~ 0,6 N/mm ² a 100% elongación (+23°C/ 50% h.r.)	(CQP 020-1, ISO 8339)
	~ 1,1 N/mm ² a 100% elongación (-20°C)	
Alargamiento a la Rotura	~ 600% (+23°C/ 50% h.r.)	(CQP 036-1, ISO 37)
Recuperación elástica	>90% (+23°C / 50% h.r.)	(CQP 018-1, ISO 7389)
Temperatura de aplicación	De +5°C a +40°C, min. 3°C por encima de la temperatura del punto de rocío	
Resistencias químicas	Sikaflex® PRO-3 es resistente al agua, agua de mar, álcalis diluidos, cemento y detergentes en dispersión acuosa. Sikaflex® PRO-3 es resistente a corto plazo (≤ 72 horas) diésel y combustible para aviones según las directrices DIBT. Sikaflex® PRO-3 no es resistente a alcoholes, ácidos orgánicos, álcalis y ácidos concentrados y otros hidrocarburos distintos a los mencionados anteriormente.	

Fuente: SIKA GUIA 2016-2017

3.5. EVALUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

Para poder realizar una evaluación del área de estudio en cuanto al deterioro superficial que presenta, se realizó una inspección visual de toda el área que comprenden los tramos de estudio.

Esta inspección visual tiene por objeto la identificación de los deterioros y fallas superficiales presentes en lo que es la rodadura del pavimento. Se optó por este tipo de evaluación debido a que, para la aplicación de esta técnica de tratamiento de fisuras, grietas y juntas de pavimentos, no se consideran todos los tipos de deterioros como por ejemplo la piel de cocodrilo que es algo que no puede repararse con este tipo de tratamiento de sellado.

3.5.1. Inspección visual de los tramos de pavimento flexible

La inspección visual realizada en los tramos en estudio correspondiente a este tipo de pavimento, se basa en observaciones y mediciones realizadas en dichos tramos, donde se pudo identificar los tipos de deterioros existentes, como así también el grado de severidad que estos presentan. Debido al tipo de tratamiento que corresponde el sellado, se considerará en el pavimento flexible solo el tipo de deterioro correspondiente a fisuras, ya que este tipo de deterioros presentes en este pavimento son los que pueden ser tratados con este tipo de tratamiento.

3.5.1.1. Descripción de fallas presentes en los tramos de pavimento flexible

Es así que de manera general se determinarán en los tramos de pavimento flexible en estudio los deterioros que se presentan como: fisuras longitudinales, fisuras transversales, fisuras de borde y fisuras en bloque; que son detallados a continuación:

3.5.1.1.1. Fisuras longitudinales

Figura 3.51: Fisura longitudinal



Este tipo de fisuras corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado. En la evaluación visual se pudo verificar que junto a las fisuras transversales este tipo de fallas son las más comunes en nuestros tramos, su nivel de severidad es de bajo a medio, donde las fisuras presentan un ancho de 1 a 3 mm, sin presentar desportillamientos en sus bordes.

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.1.2. Fisuras transversales

Figura 3.52: Fisura transversal



Este tipo de fisuras corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la dirección transversal del tránsito. En nuestra evaluación visual se pudo verificar que este tipo de falla es una de las más comunes en nuestros tramos, su nivel de severidad es sobre todo bajo y en algunos casos medio, donde las fisuras presentan un ancho por lo general de 2 y 3mm. Las cuales pueden ser tratadas con este tipo de tratamiento como es el sellado de las mismas, de manera recomendable.

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.1.3. Fisuras de borde

Figura 3.53: Fisura de borde



Este tipo de fallas 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.

En nuestra evaluación visual se pudo verificar la presencia de muy poca frecuencia de este tipo de fisura en nuestros tramos, y en el que sí se encontró, presentaba una severidad media donde la abertura de la fisura era de 3 mm.

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.1.4. Fisuras en bloque

Figura 3.54: Fisura en bloque



Este tipo de daño se presentó en un solo tramo donde la superficie del asfalto se encuentra dividida en bloques de forma aproximadamente rectangular. Los bloques tienen lado promedio mayor que 0.50 m, el nivel de severidad es medio porque las fisuras presentan una abertura como máximo de 3 mm de ancho. Se debe de aclarar que esta falla no es igual que la piel de cocodrilo porque los bloques en los que se divide son de mayor tamaño y si es aplicable la reparación por sellado.

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Inspección visual de los tramos de pavimento rígido

Esta inspección visual tiene por objeto la identificación de los deterioros o fallas superficiales presentes en lo que es la rodadura del pavimento. Se optó por éste tipo de evaluación, debido a que la aplicación de esta técnica de mantenimiento de grietas y juntas en pavimentos rígidos, no es aplicable a todo tipo de deterioro en dicho pavimento, por lo que solo se consideró las fallas superficiales correspondientes a grietas y a juntas, las cuales si pueden ser tratadas con este tipo de actividad.

3.5.2.1. Descripción de fallas presentes en los tramos de pavimento rígido

De la misma manera que en los tramos de pavimento flexible, a continuación, se describen las fallas superficiales identificadas en los tramos de pavimento rígido.

3.5.2.1.1. Grietas longitudinales

Figura 3.55: Grieta longitudinal



Este tipo de grietas que son predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, son las que se presentan en mayor incidencia en los tramos evaluados, donde se pudo verificar que la mayoría de los casos estas grietas tienen niveles de severidad de bajo a medio, donde tienen una abertura de 3 a 10 mm y si es posible la aplicación de este tipo de tratamiento a través del sellado de las mismas.

3.5.2.1.2. Grietas transversales

Figura 3.56: Grieta transversal



Grietas que se presentan perpendiculares al eje de la calzada. Pueden extenderse desde una junta transversal hasta la junta longitudinal. Se pudo verificar que la mayoría de los casos estas grietas en los tramos, tienen niveles de severidad de bajo a medio, donde tienen una abertura de 3 a 10 mm y si es posible la aplicación de este tipo de tratamiento a través del sellado de las mismas.

3.5.2.1.3. Grietas de esquina

Figura 3.57: Grieta de esquina

Este tipo de deterioro genera un bloque triangular en la losa; se presenta generalmente



al interceptar las juntas transversal y longitudinal, describiendo un ángulo mayor a 45° , con respecto a la dirección del tránsito. Se pudo verificar que este tipo de grietas en los tramos no es muy frecuente y en los que sí se pudo visualizar tienen niveles de severidad de bajo a medio, con una abertura de 3 a 8 mm y si es posible la aplicación de este tipo de tratamiento a través del sellado de las mismas.

3.5.2.1.4. Separación de junta longitudinal

Este tipo de deterioro corresponde a una abertura de la junta longitudinal del pavimento. Este tipo de daño se presenta casi todos los tramos de pavimentos rígidos evaluados, donde en algunos casos llegan a separarse hasta el doble de su abertura original, presentando además un leve desportillamiento en los bordes. Su nivel de severidad más frecuente en los tramos es el bajo y también el medio. Este tipo de deterioro no solo se da en la junta longitudinal sino también en las juntas transversales.



original, presentando además un leve desportillamiento en los bordes. Su nivel de severidad más frecuente en los tramos es el bajo y también el medio. Este tipo de deterioro no solo se da en la junta longitudinal sino también en las juntas transversales.

3.5.2.1.5. Deterioro del sello

El deterioro del sello de las juntas permite la entrada de materiales incompresibles como piedras, arenas, etc. y/o la infiltración Este tipo de deterioro se considera la extrusión del sello, endurecimiento, pérdida de adherencia entre el sello y la losa, pérdida parcial o total del sello e incrustación de materiales ajenos y crecimiento de vegetación. Se



verificó en los tramos casos hasta con un alto grado de severidad, donde a pesar de ello con un adecuado tratamiento se puede aplicar el sellado de las mismas.

3.5.2.1.6. Junta saltada

Fuente: Figura 3.60 Junta saltada

Este tipo de falla consiste en la desintegración de las aristas de una junta, longitudinal o transversal o una grieta, con pérdida de trozos y que puede afectar hasta unos 500 mm dentro de la losa. De acuerdo a la evaluación visual realizada se pudo verificar la existencia

de este tipo de falla en los tramos con poca frecuencia visto solo en algunos de ellos, con un nivel de severidad bajo a medio, donde su ancho de saltadura es de 5 a 15 cm.

Fuente: Elaboración propia

3.6. SELLADO DE FISURAS, GRIETAS Y JUNTAS EN PAVIMENTOS

El sellado de fisuras, grietas y juntas en los pavimentos, debido a daños superficiales, es una técnica de mantenimiento menor, que tiene como principal objetivo impedir el acceso del agua producto de la precipitación a las capas subyacentes del pavimento, con la consecuente pérdida de soporte. Se aplica a pavimentos con fisuras y grietas aisladas de tipo funcional o levemente ramificadas. No es aconsejable para daños tipo piel de cocodrilo (falla estructural).

Resumen del proceso de ejecución:

El presente trabajo de análisis sobre el sello de fisuras, grietas y juntas en pavimentos flexibles y rígidos de la ciudad de Tarija, define los métodos y acciones aplicables para

el sellado de fisuras y grietas existentes en la superficie del pavimento mediante la preparación de la superficie e incorporación de material sellante, con el objeto de evitar su propagación y que la humedad llegue a las capas adyacentes de la estructura del pavimento, produciendo su deterioro, también evitar la penetración de partículas extrañas, para ello se emplearan tres tipos de sellos diferentes, los cuales serán aplicados y analizados de acuerdo a sus especificaciones técnicas y requerimientos establecidos por norma.

3.6.1. Materiales para el sellado

En nuestro medio esta actividad se la realiza empleando como material sellante generalmente el asfalto puro con recubrimiento de arena, sin embargo, existen otros materiales que se pueden aplicar para este fin, siendo el objetivo central analizar estos tipos de sellos, en función a especificaciones y a información en cuanto a los tipos de sellos que se pueden emplear para este tipo de actividad. En función a ello, se eligieron 3 materiales para la aplicación y análisis comparativo de los mismos. Dos de esto materiales son sellos líquidos aplicados en caliente como es el mástic asfáltico y el alquitrán, y el tercero es un sello de poliuretano aplicado en frío. Con el presente análisis lo que se busca es tener una respuesta y una conclusión en base al comportamiento de estos sellos aplicados a fisuras en pavimentos flexibles y grietas y juntas en pavimentos rígidos, analizando su comportamiento de manera específica para cada tipo de falla.

Estos materiales serán empleados de acuerdo a especificaciones según normativa y a continuación se describirán las características, especificaciones y criterios para su utilización en la actividad de sellado de fisuras, grietas y juntas en pavimentos.

3.6.1.1. Mástic asfáltico

El mástic asfáltico es un sellante muy común referido a una mezcla asfáltica en caliente, el cual debe estar apegado a la Norma ASTM D 6690, ya que se trata de un sellante para grietas y juntas en pavimentos aplicado en caliente, el cual de acuerdo a la clasificación según norma se trataría de un sello Tipo I, para lo cual debe llegar a

cumplir con los requisitos que según la norma lo especifica, y la cual exige ciertas exigencias y características que dicho material debe cumplir como:

- **Sellar** efectivamente las **fisuras, grietas y juntas** contra la infiltración de humedad y agua de lluvia a lo largo de sucesivos ciclos de expansión y contracción.
- Excelente **adherencia y compatibilidad** con superficies de hormigón o asfalto.
- **Alta resistencia** a los cambios climáticos, conservando sus cualidades de adherencia, flexibilidad, consistencia a altas y bajas temperaturas.
- **No fluir** desde la junta ni ser arrancado por neumáticos de los vehículos.

3.6.1.1.1. Componentes

El mástic asfáltico que se empleará estará compuesto por cemento asfáltico 85-100 y arena fina, materiales de los que las a continuación indicamos sus características y especificaciones que deben de cumplir según normativa.

- **Material bituminoso.** - Se empleará cemento asfáltico 85-100 cuya fluidez garantice su adecuada penetración en la fisura y que cumpla con los requisitos establecidos en el siguiente cuadro:

Tabla 3.31: Especificaciones para cementos asfálticos

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	GRADO DE PENETRACIÓN									
			40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
			Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	---	D-5	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta	°C	D-92	232	---	232	---	232	---	218	---	177	---
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min	cm	D-113	100	---	100	---	100	---	100	---	100 ^A	---
Solubilidad en tricloroetileno	%	D-2042	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---
Penetración retenida después de la prueba de horno sobre película delgada	%	D-5 Después de realizar D-1754	55+	---	52+	---	47+	---	42+	---	37+	---
Ductilidad 25°C, 5 cm/min, después de prueba de horno sobre película delgada	cm	D-113 Después de realizar D-1754	---	---	50	---	75	---	100	---	100 ^A	---

Fuente: Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano

- **Arena.** - Según especificaciones técnicas la arena a emplear para preparar el sello será la porción de agregado pétreo seco, de granulometría que pase el tamiz N°4. La arena podrá ser natural o de trituración, los granos serán densos, limpios y duros libre de terrones de arcilla y de cualquier material que pueda impedir la adhesión de estos con el material bituminoso. Además, se recomienda que tenga una granulometría de acuerdo a una de estos tres tipos de distribución.

Tabla 3.32: Granulometría para la Arena

TAMIZ mm (ASTM)	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA		
	A	B	C
12.5 (1/2")	---		100
10 (3/8")	100	100	85-100
5 (N°4)	85-100	85-100	55-85
2.5 (N°8)	80-90	65-90	35-65
0.63 (N°30)	55-80	30-50	15-35
0.16 (N°100)	5-15	5-15	2-10

Fuente: Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano

En el caso de nuestro trabajo se usará arena fina de tamaño máximo N°16 (1,18 mm), que de acuerdo a la caracterización de nuestro agregado cumple con la granulometría de la franja de tipo A, pero solo se utilizó la que pasó el tamiz N°16.

3.6.1.1.2. Dosificación

Se considerará la misma dosificación en la preparación del sellante tanto para tratar fisuras en pavimento flexible, como así también grietas y juntas en pavimento rígido, esta dosificación debe cumplir con las especificaciones de la norma ASTM D 6690 TIPO 1, que es un producto de base asfáltica aplicado en caliente que está diseñado para sellar grietas y juntas en pavimentos de asfalto o de hormigón en climas moderados.

Para lograr obtener el material sellante adecuado, se eligieron 3 dosificaciones diferentes para evaluar cuál de ellas alcanza los requisitos que son exigidos por norma para cumplir como material sellante de fisuras, grietas y juntas en pavimentos, el sellante obtenido debe cumplir con las especificaciones de la tabla mostrada a continuación:

Tabla 3.33: Especificaciones para material sellante aplicado en caliente

Ensayos	Norma	Especificación ASTM D6690 Tipo I
Penetración de Cono, 25°C ,150gr.5s, dmm	ASTM D-217 / D-5329	Máx. 90
Punto de ablandamiento, °C	ASTM D 36	Mín. 80 °C
Resiliencia, 25 °C	ASTM D-5329	-
Resiliencia después del envejecimiento, %	ASTM D-5329	-
Compatibilidad Asfáltica	ASTM D5329	Pasa

Fuente: ASTM D 6690

Considerando que la mezcla debe contener más ligante asfáltico que arena se determinaron 3 dosificaciones a evaluar que son:

- **Dosificación 90/10:** 90% Cemento asfáltico 10% arena
- **Dosificación 80/20:** 80% Cemento asfáltico 20% arena
- **Dosificación 70/30:** 70% Cemento asfáltico 30% arena.

Estas tres dosificaciones serán evaluadas por el ensayo de penetración y el de punto de ablandamiento que son los ensayos más importantes que la norma exige.

Primeramente, se determinarán las cantidades de materiales por mezclar según el tipo de dosificación, este cálculo estará en función de las densidades tanto del cemento asfáltico como de la arena para obtener las cantidades necesarias en gramos.

Los datos a utilizar para el siguiente cálculo son las densidades del cemento asfáltico que es de 1,004 gr/cm³ y de la arena es de 2,34 gr/cm³.

Dosificación 90/10: 90% cemento asfáltico - 10% arena

Cantidad de sellante en litros:

Cálculo para la obtención de 0,5 litros de sellante:

0,5 lts -----100%

x -----90% Cemento Asfáltico



$$x = \frac{0,5 \cdot 90}{100} = 0,45 \text{ lts}$$

0,5 lts -----100%

x -----10% Arena



$$x = \frac{0,5 \cdot 10}{100} = 0,05 \text{ lts}$$

% de cemento asfáltico = 90% = 0,45 lts

% de Arena = 10% = 0,05 lts

Cantidad de sellante en gramos:• **Cantidad de cemento asfáltico en gramos:**Densidad del cemento asfáltico = 1,004 gr/cm³

1,004 gr ----- 0,001 lts

x ----- 0,45 lts



$$x = \frac{0,45 \cdot 1,004}{0,001} = 451,8 \text{ grs}$$

• **Cantidad de arena en gramos:**Densidad de la arena = 2,34 gr/cm³

2,34 gr ----- 0,001 lts

x ----- 0,05 lts



$$x = \frac{0,05 \cdot 2,34}{0,001} = 117 \text{ grs.}$$

Dosificación 80/20: 80% cemento asfáltico - 20% arena

Cantidad de sellante en litros:

Cálculo para la obtención de 0,5 litros de sellante:

0,5 lts -----100%

x -----80% Cemento Asfáltico



$$x = \frac{0,5 \cdot 80}{100} = 0.40 \text{ lts.}$$

0,5 lts -----100%

x -----20% Arena



$$x = \frac{0,5 \cdot 20}{100} = 0.10 \text{ lts.}$$

% de cemento asfáltico = 90% = 0,40 lts

% de Arena = 37% = 0,10 lts

Cantidad de sellante en gramos:• **Cantidad de cemento asfáltico en gramos:**Densidad del cemento asfáltico = 1,004 gr/cm³

1,004 gr ----- 0,001 lts

x ----- 0,40 lts



$$x = \frac{0,40 \cdot 1,004}{0,001} = 401,6 \text{ grs.}$$

• **Cantidad de arena en gramos:**Densidad de la arena = 2,34 gr/cm³

2,34 gr ----- 0,001 lts

x ----- 0,10 lts



$$x = \frac{0,10 \cdot 2,34}{0,001} = 234 \text{ grs.}$$

Dosificación 70/30: 70% cemento asfáltico - 30% arena

Cantidad de sellante en litros:

Cálculo para la obtención de 0,5 litros de sellante:

0,5 lts -----100%

x -----70% Cemento Asfáltico



$$x = \frac{0,5 \cdot 70}{100} = 0,35 \text{ lts.}$$

0,5 lts -----100%

x -----30% Arena



$$x = \frac{0,5 \cdot 30}{100} = 0,15 \text{ lts.}$$

% de cemento asfáltico = 90% = 0,35 lts

% de Arena = 37% = 0,15 lts

Cantidad de sellante en gramos:• **Cantidad de cemento asfáltico en gramos:**Densidad del cemento asfáltico = 1,004 gr/cm³

1,004 gr ----- 0,001 lts

x ----- 0,35 lts



$$x = \frac{0,35 \cdot 1,004}{0,001} = 351,4 \text{ grs.}$$

• **Cantidad de arena en gramos:**Densidad de la arena = 2,34 gr/cm³

2,34 gr ----- 0,001 lts

x ----- 0,15 lts



$$x = \frac{0,15 \cdot 2,34}{0,001} = 351 \text{ grs.}$$

Una vez obtenidas las cantidades de materiales componentes de la mezcla se procedió al preparado de las mismas con las 3 dosificaciones diferentes.

Posteriormente se procedió a la evaluación de las mismas en función a las especificaciones según norma ASTM D 6690 para sellante Tipo I, para lo cual se realizaron los ensayos de penetración y punto de ablandamiento de las cuales se obtuvo la siguiente tabla de resultados:

Tabla 3.34: Tabla de resultados de los ensayos realizados al sellante

Ensayo	Norma	Dosificación			Especificación ASTM D6690
		90/10	80/20	70/30	
Penetración	D5329	81	72	60	90 Máx.
Punto de ablandamiento	D36	55	63	85	80°C Mín.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos la mezcla de dosificación 70/30 es la que mejor cumple con las especificaciones exigidas por norma, por lo que será la dosificación del mástic asfáltico a emplear en el presente proyecto para el sellado de fisuras, grietas y juntas en pavimentos.

Dosificación 70/30: 70% Cemento asfáltico 30% arena.

Análisis de resultados:

Penetración: El objetivo de este ensayo es determinar el grado de dureza del material sellante. Cuanta más alta sea la penetración, más blando será el sellador de grietas.

Punto de ablandamiento: El objetivo de este ensayo es determinar la temperatura a la cual fluye el material. Un alto punto de ablandamiento puede tardar más tiempo en derretirse.

Analizando los resultados del ensayo de penetración vemos que las tres dosificaciones cumplen con la especificación según norma ASTM D 6690 Tipo I, pero en el ensayo de punto de ablandamiento solo la dosificación 70/30 cumple con dichas especificaciones. Realizando un análisis a los resultados obtenidos se puede verificar que de acuerdo a norma el material sellante debe tener una penetración máxima de 90 dmm, lo que se interpretaría que a mayor cantidad de cemento asfáltico, el sello es más blando y con una penetración mayor, en cuanto al punto de ablandamiento se puede definir que la temperatura a la cual el material sellante empieza a fluir es mínimamente 80°C, lo que indicaría que si esta temperatura sería menor el material tardaría menos tiempo en derretirse y fluir a través de la grieta o la junta y sería un material demasiado blando, es decir a mayor cantidad de cemento asfáltico esta temperatura sería menor y la deformación del sello sería en más corto tiempo.

Figura 3.61: Material para preparación del sello



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.62: Mástic asfáltico preparado



Fuente: Elaboración propia

3.6.1.2. Alquitrán

El alquitrán es un material bituminoso viscoso, fluido, obtenido por la destilación del petróleo. Este tipo de material sellante es un sellante líquido aplicado en caliente el empleo de este material para sellar las fisuras, grietas y juntas de los pavimentos, se lo realizó de manera directa luego de ser sometido a calentamiento para lograr su estado

de fluidez para su óptima aplicación, ya que en su estado natural se encuentra solidificado a temperatura ambiente.

Figura 3.63: Estado sólido del alquitrán



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.64: Estado fluido del alquitrán



Fuente: Elaboración propia

3.6.1.3. Sikaflex PRO - 3

Este producto es un sellante elástico de poliuretano monocomponente, con altas resistencias mecánicas, que cura con la humedad ambiental, este sellante es suministrado listo para su aplicación, la cual se la realiza a través de un aplicador de calafateo para su correcta aplicación.

Figura 3. 65: Pistola de calafateo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.66: Sikaflex® PRO-3



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las especificaciones del producto otorgadas por el fabricante, éste cumple todos los requisitos y especificaciones como material sellante que exige la normativa bajo la cual fue diseñado, este sellante es recomendado sobre todo en la aplicación de juntas, pero en el presente análisis se realizará también su aplicación en fisuras y en grietas, esto debido a que de acuerdo a norma también se recomienda el uso de polímeros monocomponentes como el poliuretano que es el compuesto de este material sellante; en el sellado de fisuras. De esa manera se hará un análisis de su comportamiento en el sellado de dichos deterioros en ambos tipos de pavimentos.

Tabla 3.35: Especificaciones técnicas del sello Sikaflex PRO-3

Composición Química	Poliuretano de tecnología I-Cure®	
Densidad	~ 1,35 kg/l aprox.	(CQP ¹) 006-4, ISO 1183-1)
Formación de Piel	~ 60 minutos (+23°C / 50% hr.)	(CQP 019-1)
Tiempo de alisado	~ 50 minutos (+23°C / 50% hr.)	(CQP 019-2)
Velocidad de Polimerización	~ 3,5 mm /24h (+23°C / 50% hr.)	(CQP 049-2)
Capacidad de Movimiento	±25% ±35%	(ISO 9047) (ASTM C 719)
Descuelgue	0 mm, (perfil 20 mm, 50°C)	(CQP 061-4, ISO 7390)
Temperatura de Servicio	De -40°C a +70°C	
Resistencia a la propagación del desgarro	~ 8 N/mm (+23°C / 50% h.r.)	(CQP 045-1, ISO 34)
Dureza Shore A	~ 37 después de 28 días (+23°C/ 50% h.r.)	(CQP 023-1, ISO 868)
Módulo - E	~ 0,6 N/mm ² a 100% elongación (+23°C/ 50% h.r.) ~ 1,1 N/mm ² a 100% elongación (-20°C)	(CQP 020-1, ISO 8339)
Alargamiento a la Rotura	~ 600% (+23°C/ 50% h.r.)	(CQP 036-1, ISO 37)
Recuperación elástica	>90% (+23°C / 50% h.r.)	(CQP 018-1, ISO 7389)
Temperatura de aplicación	De +5°C a +40°C, min. 3°C por encima de la temperatura del punto de rocío	
Resistencias químicas	Sikaflex® PRO-3 es resistente al agua, agua de mar, álcalis diluidos, cemento y detergentes en dispersión acuosa. Sikaflex® PRO-3 es resistente a corto plazo (≤ 72 horas) diésel y combustible para aviones según las directrices DIBT. Sikaflex® PRO-3 no es resistente a alcoholes, ácidos orgánicos, álcalis y ácidos concentrados y otros hidrocarburos distintos a los mencionados anteriormente.	

Fuente: SIKA GUIA 2016-2017

3.6.2. Sellado de fisuras en pavimentos flexibles

Fisura:

Aquellas aberturas finas, cuyo ancho sea igual o menor a los 3 mm.

Definición:

Se define como sellado de fisuras en pavimentos flexibles, a la aplicación de un producto de sellado sobre o dentro de fisuras objeto del tratamiento.

El criterio general que hay que adoptar es no sellar fisuras en carpetas asfálticas agotadas estructuralmente, ni cuya capa de rodadura esté rota o muy deformada. Por lo tanto, en sentido amplio, el sellado de fisuras debe tener tanto un carácter preventivo, en los primeros años de puesta de servicio de un pavimento flexible, como un carácter correctivo, transcurridos unos años desde su puesta en servicio.

Propósito

Evitar la infiltración de agua dentro de las capas inferiores del pavimento, prevenir la introducción de partículas extrañas que restrinjan los movimientos de dilatación y contracción debidos a cambios de temperaturas, retardar la formación de agrietamientos más severos como los de piel de cocodrilo y la posterior aparición de baches.

Esta actividad deberá ser ejecutada en el menor tiempo posible después de que se ha identificado la presencia de fisuras superficiales en el pavimento, preferentemente antes de la época de lluvias.

3.6.2.1. Materiales para el sellado

Los materiales de sellado a emplear son los 3 materiales indicados en el punto 3.6.1 del presente capítulo.

Dos sellos líquidos aplicados en caliente y un sello de poliuretano aplicado en frío, estos son: mástic asfáltico con dosificación 70/30 controlada bajo norma ASTM D 6690 Tipo I, alquitrán y Sikaflex PRO-3. Las características de cada material fueron descritas en el punto 3.6.1.

3.6.2.2. Criterios de aplicación

La aplicación de los materiales sellantes analizados a fisuras existentes en pavimentos flexibles estará bajo ciertos criterios de aplicación.

Primeramente, en empezaremos con la definición de lo que es una fisura, que es el deterioro que se tratara con este tipo de actividad, por lo general se define como una abertura con un ancho igual o menor a 3 mm. Sin embargo, de acuerdo al Manual de Carreteras y Conservación vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, este tipo de falla a tratar también se clasifica de acuerdo a su ancho de la siguiente manera:

- **Fisura fina:** Son hendiduras o rajaduras delgadas que también se denomina micro fisuras, de varios orígenes, con un ancho igual o menor a 1mm.
- **Fisura media:** Son hendiduras o rajaduras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material, de varios orígenes, con un ancho mayor a 1mm y menor o igual a 3mm.
- **Fisura gruesa (grietas):** Son hendiduras o rajaduras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material denominada también grietas, de varios orígenes, con un ancho mayor a 3mm.

Considerando dicha clasificación de lo que es una fisura, se debe aclarar que el sellado para tratar las mismas en pavimento flexible, se lo realiza a lo que son las fisuras medias, y no así a las finas (microfisuras), ni a las gruesas (grietas).

Las microfisuras son demasiado finas, las cuales en su mayoría no requieren de un tratamiento especial o sellado, especialmente debido a que no permiten la penetración de una cantidad significativa de agua a la subestructura del pavimento., como tampoco de un material sellante para su tratamiento ya que son demasiado finas, en caso de que existan demasiadas en una determinada área del pavimento, el tratamiento que se hace es un riego de liga con asfalto líquido o emulsión asfáltica a toda el área afectada, siendo este otro tipo de tratamiento.

Las fisuras gruesas conocidas como grietas en pavimento flexible se consideran como una falla que afecta en si a la estructura del pavimento, por lo que no se aplica el sellado de las mismas porque ya requieren de un tratamiento mayor.

Las fisuras que si son tratadas con este tipo de tratamiento son las fisuras medias, donde de acuerdo a su ancho si es posible aplicar un material sellante en las mismas, siendo esta una falla superficial y no así estructural.

Es por esta razón que se optó por generar fisuras de 3 mm en las muestras de laboratorio, para su sellado y posterior análisis en cuanto al comportamiento de los sellos aplicados en las mismas.

3.6.2.3. Procedimiento de sellado

Para un mejor análisis del presente trabajo se realizó el sellado en muestras fabricadas en laboratorio, como así también se realizó el sellado en los tramos de pavimento en estudio, para así de esa manera hacer un seguimiento real al comportamiento de los sellos aplicados.

A continuación, se describe el procedimiento de aplicación de los tres materiales sellantes en las muestras fabricadas en laboratorio y posteriormente se describirá el procedimiento de aplicación en los tramos de estudio.

3.6.2.3.1. Sellado de fisuras en muestras de pavimento preparadas en laboratorio

- **Preparación de las muestras de pavimento flexible a sellar**

Las muestras de pavimento flexible que se utilizaron en laboratorio para la aplicación de los materiales sellantes, pertenecen a una carpeta asfáltica existente, es decir, estas no se fabricaron en laboratorio, debido a que no es aplicable este tipo de tratamiento a una carpeta asfáltica recién hecha, por lo que se optó buscar un tramo de pavimento real urbano de la ciudad donde se estaría haciendo recapado; y de esa carpeta asfáltica removida extraer los testigos necesarios para nuestra aplicación de los sellos, de esa manera se extrajeron núcleos cilíndricos de 10 cm de diámetro y una altura de 6 cm, asimismo se cortaron muestras prismáticas de 16 cm de largo y un área transversal de 6x6 cm. A ambos tipos de muestras se les generó una fisura de 3 mm de ancho, esto en

función a lo observado en campo en cuanto a los deterioros existentes que en su mayoría son fisuras con un ancho entre 1 y 3mm (fisuras medias), también se consideró que, de acuerdo a este tipo de pavimento, el deterioro al cual se puede aplicar este tipo de tratamiento como es el sellado, son las fisuras que tienen como máximo 3 mm de ancho.

Posteriormente a la aplicación de los sellos, se realizará una evaluación a las muestras en cuanto al comportamiento de los sellos aplicados, las cuales estarán sometidas a un mismo tipo de esfuerzo, que en este caso serán cargas de compresión y flexión.

Figura 3.67: Carpeta asfáltica de donde se extrajeron las muestras



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.68: Extracción de muestras de carpeta asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.69: Muestra cilíndrica

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.70: Muestra prismática

Fuente: Elaboración propia

- **Preparación de la superficie a sellar**

Una vez teniendo listas las muestras se procede a la limpieza del área objeto de trabajo. Esta limpieza deberá hacerse con mayor esmero y detalle a todo el largo de la fisura a sellar, utilizando para ello, en nuestro caso, una brocha que limpie tanto el espacio formado por la fisura, como el área adyacente a la misma, la cual debe estar libre de polvo, humedad, arcilla o de cualquier otro material contaminante.

- **Imprimación de la superficie a sellar**

Al haberse terminado la fase de limpieza de la fisura a sellar, se aplicará sobre la misma un asfalto diluido de curado medio, esto para asegurar la adherencia entre la superficie del pavimento y el sellador a emplear. El riego deberá ser muy delgado y deberá cubrir uniformemente la totalidad del área a ser sellada.

En nuestro caso se empleará un asfalto líquido de curado medio MC-70, el cual está compuesto por cemento asfáltico diluido por un solvente, que en este caso es el kerosene. Esto en una proporción de 63% de cemento asfáltico y 37% de kerosene.

Las cantidades de cemento asfáltico y solvente empleados en la fabricación de los asfaltos diluidos varían de acuerdo con las características de los componentes, teniendo como referencia una medida aproximada en volumen, las siguientes:

Tabla 3.36: Dosificación de asfalto diluido

Tipo	Asfalto (º/o)	Solvente (º/o)
30	52	48
70	63	37
250	70	30
800	82	18
3000	86	14

Fuente: Asfaltos Chilenos S.A.

En función a la tabla de referencia, a continuación, se muestra el cálculo de las cantidades de cemento asfáltico y kerosene para la preparación de MC-70.

Cantidad de riego de liga en litros para imprimación de las muestras:

Dosaje para 0,5 litros de MC-70 (curación media)

0,5 lts -----100%

x -----63% Cemento Asfáltico

$$x = \frac{0,5 * 63}{100} = 0,315 \text{ lts}$$

0,5 lts -----100%

x -----37% Kerosene

$$x = \frac{0,5 * 37}{100} = 0,185 \text{ lts}$$

% de cemento asfáltico = 63% del riego de liga = 0,315 lts

% de solvente = 37% del riego de liga = 0,185 lts

- **Cantidad de cemento asfáltico en gramos:**

Densidad del cemento asfáltico = 1,004 gr/cm³

1,004 gr ----- 0,001 lts

x ----- 0,315 lts

$$x = \frac{1,004 * 0,315}{0,001} = 316,26 \text{ gr}$$

- **Cantidad de Kerosene en gramos:**

Densidad del Kerosene = 0,80 gr/cm³

0,80 gr ----- 0,001 lts

x ----- 0,185 lts

$$x = \frac{0,80 * 0,185}{0,001} = 148 \text{ gr}$$

En función a nuestros cálculos realizados se obtuvo que para 0,5 litros de MC-70 se deben utilizar las siguientes cantidades:

Tabla 3.37: Cantidad de material para preparar MC-70

Componentes	%	Peso (grs)
Cemento asfáltico	63	316,26
Kerosene	37	148,00

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.71: Preparación de MC-70

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.72: MC-70 preparado

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.73: Imprimación de la muestra asfáltica

Fuente: Elaboración propia

Se debe lograr que el MC-70 moje e impregne de forma homogénea la superficie a sellar, asegurando que este penetre profundamente y adecuadamente en las fisuras.

Es importante resaltar que también se debe impregnar las áreas adyacentes a las superficies en reparación garantizando así un sellado e impermeabilizado de dichas superficies adyacentes, previniendo así el futuro ingreso de agua y actuando como liga para recibir la mezcla asfáltica en caliente aplicada en la siguiente fase.

- **Preparación del material sellante**

Mástic asfáltico:

Se calentó el cemento asfáltico a 135°C y la arena fina en las proporciones adecuadas según su dosificación 70/30 previamente medida. Seguidamente se fué agregando lentamente la arena al cemento asfáltico mientras se mezclaba uniformemente hasta obtener el sellante adecuado para la aplicación. **Figura 3.75:** Mezclado de materiales

Figura 3.74: Calentado de materiales



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Alquitrán:

Se calentó el alquitrán q se encontraba en su estado solidificado hasta que el mismo adquiriera la fluidez necesaria para su directa aplicación en el sellado.

Figura 3.76 Alquitrán a usar para sellado

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.77: Calentado del alquitrán

Fuente: Elaboración propia

- **Sikaflex PRO-3:**

Para la aplicación de este sellador solo se necesita colocarlo al aplicador y directamente se procede a su para el sellado.

Figura 3.78: sellador Sikaflex PRO-3

Fuente: Elaboración propia

- **Aplicación del material sellante**

Ejecutada la preparación de la superficie, se procederá a llenar la fisura con el material sellante, cuya fluidez durante la aplicación garantiza la penetración adecuada en la fisura, para ello es muy importante tener muy en cuenta la temperatura de aplicación

del material, utilizando para su vertido medios mecánicos o un recipiente de volumen fácilmente maniobrable que posea una boca de salida del tamaño y forma que permita fluir en forma homogénea y en línea fina la emulsión sobre la fisura.

Figura 3.79: Aplicación de los sellos a muestras de pavimento



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

- **Acabado:**

Al tender sellante sobre la fisura, no debe permitirse la formación de charcos o exceso de material sellante sobre la misma o que fluya por la superficie circundante por lo que se enrazó el material vertido que quedo en exceso sobre la fisura sellada.

Figura 3.80: Muestras de pavimento flexible selladas



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Resumen esquemático del procedimiento de sellado en laboratorio



Preparación de la muestra con la fisura generada en superficie a sellar.



Proceso de aplicación del sello a las fisuras generadas en las muestras de laboratorio



Muestra de pavimento cuya fisura generada en su superficie se encuentra totalmente sellada dando como resultado una superficie satisfactoria.

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.3.2. Sellado de fisuras en los tramos de pavimento en estudio

- **Identificación de las fisuras en la zona a intervenir**

Se identificó las fisuras a tratar en los tramos de pavimento flexible en estudio.

Figura 3.81: Fisura en pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

- **Limpieza de la zona por intervenir**

Esta limpieza se la realizó a detalle a todo lo largo de las fisuras a sellar, como así también al área adyacente, utilizando para ello escoba y cepillos de tanto metálico como plástico lo que ayudó mucho en la limpieza.

Figura 3.82: Limpieza de fisura a sellar



Fuente: Elaboración propia

- **Preparación del material sellante**

Figura 3.83: Calentado de componentes



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.84: Mezclado del sellante



Fuente: Elaboración propia

- **Aplicación del material sellante**

Ejecutada la preparación de la superficie, y de los materiales que se utilizarán para el respectivo sellado, se procedió al sellado de las fisuras a tratar. Considerando que el sellado sólo se debe realizar cuando la temperatura ambiente sea superior a 5° C e inferior a 30 °C, el sellado se realizó a una temperatura de 21°C.

Figura 3.85: Aplicación de los sellos en caliente



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.86: Aplicación del sello Sikaflex® PRO-3



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

- **Acabado**

Terminado el tiempo de curado, se procede a limpiar y barrer todo el material suelto de la zona tratada.

Figura 3.87: Fisuras selladas en los tramos



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Resumen esquemático del procedimiento de sellado en los tramos de estudio



Área afectada en la vía pavimentada, donde se presenta una fisura longitudinal, la cual será reparada a través del sellado de la misma.



Proceso de aplicación del material sellante en la fisura tratada a través de esta actividad de sellado de fisuras y grietas en pavimentos.



Área de trabajo totalmente reparada a través del sellado de fisuras.

Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Sellado de grietas y juntas en pavimentos rígidos

Primeramente, se definirá el concepto de los deterioros a tratar con este tipo de actividad, es de gran importancia tener bien en claro lo que es una grieta y una junta en pavimento rígido, conceptos que se describen a continuación.

- **Grietas:** Aberturas cuyo ancho por lo general es mayor a los 3 mm. Son fallas que se extienden a la superficie de la losa de concreto y tienen mucha incidencia en el comportamiento del pavimento.
- **Juntas:** Separaciones establecidas entre dos partes contiguas de una obra, para permitir su expansión o retracción por causa de las temperaturas ambientes. Debido a los cambios volumétricos que por su naturaleza experimenta el concreto y a los sistemas constructivos de los pavimentos rígidos, se hace necesaria la construcción de juntas y/o uniones entre losas de un pavimento, cuya función consiste en mantener las tensiones que se desarrollan en la estructura de un pavimento dentro de los valores admisibles del concreto o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas.

Definición:

Esta actividad consiste en realizar el sello de las grietas y juntas en carpetas de concreto hidráulico, con el propósito de evitar el ingreso de material fino entre las losas, así como de prevenir la infiltración del agua hacia las capas inferiores que integran la estructura del pavimento, proveniente de escurrimientos superficiales.

Propósito

Es lograr que las juntas funcionen adecuadamente y que las grietas sean selladas para evitar la entrada del agua o la introducción de materiales extraños no compresibles, evitando su consecuente pérdida de resistencia, así como la degradación o deterioro de la grieta o junta en sí, debido a la concentración de esfuerzos.

3.6.3.1. Materiales para el sellado

Los materiales de sellado a emplear son los 3 materiales indicados en el punto 3.6.1 del presente capítulo.

Dos sellos líquidos aplicados en caliente y un sello de poliuretano aplicado en frío, estos son: Mástic asfáltico con dosificación 70/30 controlada bajo norma ASTM D6690 Tipo I, alquitrán y Sikaflex PRO-3. Las características de cada material fueron descritas en el punto 3.6.1.

3.6.3.2. Criterios de aplicación

La aplicación de los materiales sellantes analizados a grietas y juntas en pavimentos rígidos, estará bajo ciertos criterios de aplicación.

Primeramente, en empezaremos definiendo porque el sellado en pavimento rígido no se realiza a fisuras, esto es debido a que la mayoría de las fisuras no requieren de un tratamiento especial o sellado, especialmente debido a que no permiten la penetración de una cantidad significativa de agua a la subestructura del pavimento. Algunas fisuras, en especial las de contracción plástica, son muy angostas y no se extienden a través de toda la profundidad de la losa.

Caso contrario a las fisuras, las grietas y las juntas si se necesitan sellar para evitar la infiltración de humedad y de materiales incompresibles. La orientación y tipo de grieta determina la necesidad del sellado.

En función a los tipos de deterioros y a las severidades en las que estos se clasifican se consideraron dos tipos de grietas y 3 tipos de juntas a tratar de acuerdo a su ancho

- Grietas Tipo 1: ancho entre 3 mm y 10 mm → Severidad media²²
- Grietas Tipo 2: ancho superior a 10 mm → Severidad alta

²² CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMERICA. Catálogo de deterioros de Pavimentos Rígidos. Volumen N°12.2002

Las grietas del tipo 1 son consideradas de severidad media y si es aplicable el sellado para su tratamiento, porque son consideradas fallas superficiales.

Las grietas del tipo 2 son consideradas de severidad alta y a este tipo de grietas no es aplicable este tipo de tratamiento porque ya es considerada una falla estructural y necesita una reparación en todo el espesor de la losa.

En función a estas consideraciones y siguiendo las recomendaciones del Manual de Carreteras y Conservación Vial. Perú, 2013, se tomaron como criterios para la aplicación de los sellos en las grietas hasta el ancho de 10mm, el uso de sellantes termoplásticos aplicados en caliente, que cumplan con lo estipulado por las normas ASTM D 6690.

- Juntas de ancho entre 10 mm y 20 mm
- Juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm
- Juntas de ancho superior a 30 mm

En función a estos anchos de juntas siguiendo las recomendaciones del Manual de Carreteras y Conservación Vial. Perú, 2013, se tomaron como criterios para la aplicación de los sellos en las juntas hasta el ancho de 10 hasta 30 mm, el uso de sellantes termoplásticos aplicados en caliente, que cumplan con lo estipulado por las normas ASTM D6690, y para las juntas que pasan los 30mm se utiliza otro tipo de mezcla arena-emulsión asfáltica con una dosificación más densa, donde se aplica una dosis mínima del 18% de emulsión.

Debido a todo lo expuesto fue que se optó por generar grietas de 8 mm y juntas de 20 mm en las muestras de laboratorio, para su sellado y posterior análisis en cuanto al comportamiento de los sellos aplicados en las mismas

3.6.3.3. Procedimiento de sellado

Al igual que en el análisis del sello de fisuras en pavimentos flexibles, se procedió de la misma manera para el análisis de grietas y juntas en pavimentos rígidos, es decir, que se realizó el sellado en muestras fabricadas en laboratorio, como así también en los tramos de pavimento en estudio, para así de esa manera hacer un seguimiento real al comportamiento de los sellos aplicados.

A continuación, se describe el procedimiento de aplicación de los tres materiales sellantes en laboratorio a las muestras fabricadas en el mismo y posteriormente se describirá el procedimiento de aplicación en los tramos de estudio.

3.6.3.3.1. Sellado de grietas y juntas en muestras de pavimento preparadas en laboratorio

- **Preparación de las muestras de pavimento a sellar**

Las muestras de pavimento rígido que se utilizaron en laboratorio para la aplicación de los materiales sellantes, fueron preparadas en el mismo laboratorio, donde se fabricaron probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y una altura de 30 cm; como así también vigas de hormigón de 53 cm de largo y un área transversal de 15 x 15 cm.

A ambos tipos de muestras se les generó grietas de 8 mm y juntas de 20 mm de ancho donde se aplicarán los sellos correspondientes para su respectiva evaluación. Se optó por estos anchos en cuanto a grietas y juntas, en función a lo observado en campo, en cuanto a los deterioros existentes, que en su mayoría son grietas con un ancho entre 5 y 10 mm, y juntas con anchos entre 10 y 30 mm, por lo que en ambos casos se consideró un valor medio para el análisis de aplicación de los sellos, además de las consideraciones expuestas en los criterios de aplicación. Posteriormente a ello, se realizará una evaluación a las muestras en cuanto al comportamiento de los sellos aplicados, las cuales estarán sometidas a un mismo tipo de esfuerzo, que en este caso serán cargas de compresión y flexión.

Figura 3.88: Preparación del hormigón



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.89: Vaciado de muestras



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.90: Vigas para el sellado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.91: Probetas para sellado



Fuente: Elaboración propia

- **Preparación de la superficie a sellar**

Una vez teniendo listas las muestras se procede a la limpieza del área objeto de trabajo. Esta limpieza debe eliminar todo residuo de polvo, grasas u otros materiales contaminantes que alteren la adherencia del concreto con el sellador, por lo que se debe garantizar que la grieta o junta se encuentra, completamente limpia y seca. Para esta operación se utilizó una brocha con la que se pudo limpiar toda la superficie a sellar, tanto la grieta o junta, como así también el área adyacente a las mismas.

Figura 3.92: Limpieza de la superficie a sellar



Fuente: Elaboración propia

- **Imprimación de la superficie a sellar**

Al igual que para las muestras de pavimento flexible se aplicará en las grietas y juntas un asfalto diluido de curado medio, esto para asegurar la adherencia entre la superficie del pavimento y el sellador a emplear. El riego deberá ser muy delgado y deberá cubrir uniformemente la totalidad del área a ser sellada.

En nuestro caso se empleará el asfalto líquido de curado medio MC-70 el cual está compuesto por cemento asfáltico el cual es diluido por un solvente que en este caso es el kerosene. Esto en una proporción de 63% de cemento asfáltico y 30% de kerosene.

Se aplicará la misma dosificación y cantidad de componentes que lo preparado para las muestras de pavimento flexible. Es decir, que para 0,5 lts de asfalto diluido de curado medio MC-70, se mezclará 316,26 grs de cemento asfáltico, correspondiente al 63% de la mezcla y 148 grs de kerosene, correspondiente al 37% restante.

Figura 3.93: Imprimación de la superficie a sellar



Fuente: Elaboración propia

- **Preparación del material sellante**

La preparación de los materiales sellantes se la realizó de la misma manera que para el sellado de las muestras de pavimento flexible, descritas en el punto 3.6.3.2.1.

- **Aplicación del material sellante**

Ejecutada la preparación de la superficie, se procederá a llenar la grieta o junta con el material sellante seleccionado, cuya fluidez durante la aplicación garantice la penetración adecuada, utilizando para ello medios mecánicos o un recipiente de volumen fácilmente maniobrable que posea una boca de salida del tamaño y forma que permita fluir en forma homogénea y en línea fina el sellante sobre la grieta o junta.

Figura 3.94: Aplicación de los sellos a grietas y juntas en las muestras de pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.95: Aplicación de los sellos a muestras de pavimento



Fuente: Elaboración propia

❖ **Acabado:**

Figura 3.96: Grietas y juntas selladas en las muestras de pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

Resumen esquemático del procedimiento de sellado en laboratorio



Preparación y limpieza de las grietas o juntas generadas en las muestras a sellar.



Proceso de aplicación del sello a las grietas o juntas generadas en las muestras de laboratorio



Muestra de pavimento cuya grieta o junta generada en su superficie se encuentra totalmente sellada dando como resultado una superficie satisfactoria.

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.3.2. Sellado de grietas y juntas en los tramos de pavimento rígido en estudio

- **Identificación de las grietas y juntas dañadas en la zona a intervenir**

Se identificó las grietas y juntas dañadas a tratar en los tramos de pavimento rígido.

Figura 3.97: Grieta en pavimento rígido

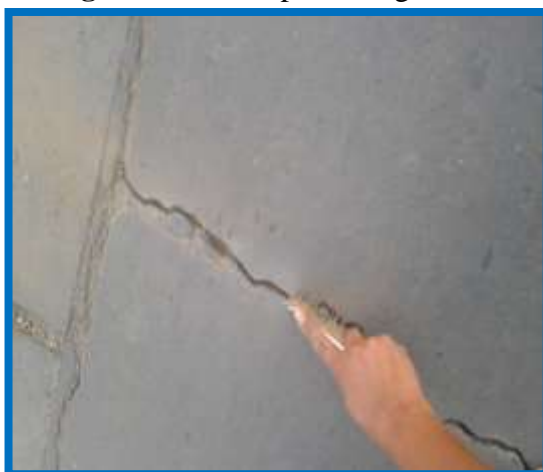


Fuente: Elaboración propia

- **Limpieza de la zona por intervenir**

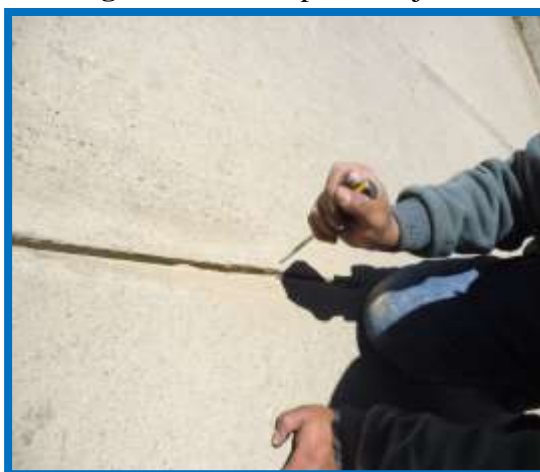
Esta limpieza se la realizó a detalle a todo lo largo de las grietas y las juntas a sellar, como así también al área adyacente a las mismas, utilizando para ello escoba y cepillos tanto metálico como plástico lo que ayudó mucho en la limpieza.

Figura 3.98: Limpieza de grietas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.99: Limpieza de juntas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.100: Limpieza del área a sellar



Fuente: Elaboración propia

- **Imprimación de la superficie a sellar**

Para la imprimación de la superficie a sellar en campo se aplicará en las grietas y juntas un asfalto diluido de curado rápido RC-70, el cual está compuesto por cemento asfáltico diluido por un solvente que en este caso es la gasolina. Esto en una proporción de 63% de cemento asfáltico y 37% de gasolina.

Se aplicará la misma dosificación y cantidad de componentes que lo preparado para las muestras de pavimento flexible. Es decir, que para 0,5 lts de asfalto diluido de curado rápido RC-70, se mezclará 316,26 grs de cemento asfáltico, correspondiente al 63% de la mezcla y 148 grs de gasolina, correspondiente al 37% restante. Esto aplicado a una temperatura de 80°C.

Figura 3.101: Imprimación del área a sellar



Fuente: Elaboración propia

- **Preparación del material sellante**

La preparación de los materiales sellantes a emplear en los tramos, consiste en el calentado en el sitio de los materiales a temperatura requerida para lograr su fluidez y poder ser aplicados en caliente, es decir a 135°C el cemento asfáltico para la preparación del mástic asfáltico y a 140°C el alquitrán. El sellante de poliuretano se instala en el aplicador correspondiente para su utilización directa.

Figura 3.102: Preparación del mástic asfáltico

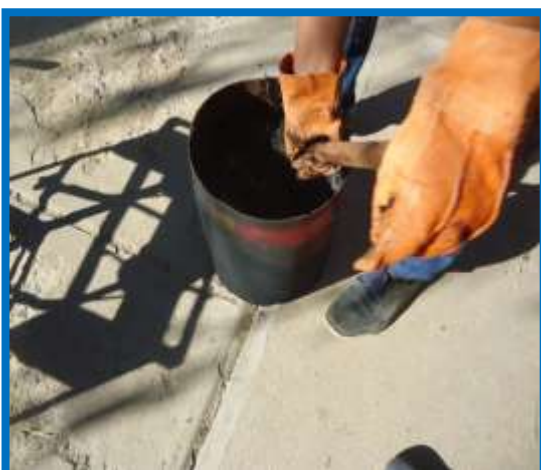


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.103: Mezclado del mástic asfáltico



Fuente: elaboración propia

Figura 3.104: Instalación del Sikaflex®



Fuente: Elaboración propia

- **Aplicación del material sellante**

Ejecutada la preparación de la superficie, y de los materiales, se procedió al sellado de grietas y juntas a tratar. Considerando que el sellado sólo se debe realizar cuando la temperatura ambiente sea superior a 5° C e inferior a 30 °C, el sellado se realizó a una temperatura de 21°C.

Figura 3.105: Sellado de grietas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.106: Sellado de juntas



Fuente: Elaboración propia

❖ Acabado

Figura 3.107: Grietas selladas en los tramos



Fuente: Elaboración propia

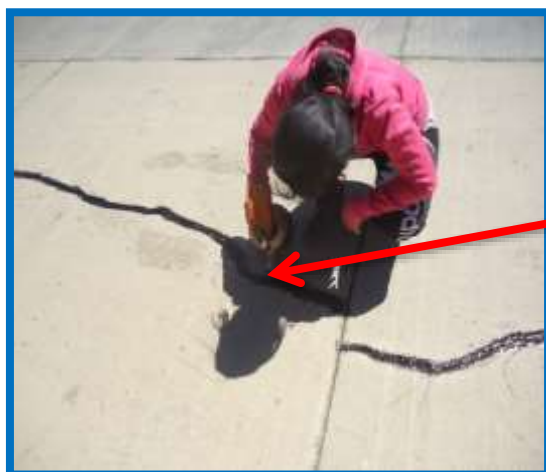


Fuente: Elaboración propia

**Resumen esquemático del procedimiento de sellado en los tramos de pavimento
rígido en estudio**



Área afectada en la vía pavimentada, donde se presenta una grieta transversal, la cual será reparada a través del sellado de la misma.



Proceso de aplicación del material sellante en la grieta tratada a través de esta actividad de sellado de grietas y juntas en pavimentos.



Grieta totalmente tratada a través del sellado de grietas y juntas en pavimentos.

Fuente: Elaboración propia

3.7. ENSAYOS DE EVALUACIÓN A LAS MUESTRAS SELLADAS

Para la evaluación del material sellante aplicado en las muestras de pavimento, se debe verificar una de las condiciones más importantes que éste debe cumplir ya estando aplicado en obra, que es el de resistir las cargas o esfuerzos a los que está sometido el pavimento en cuanto al tráfico. Para ello se determinó someter a las muestras selladas a cargas axiales de compresión y de flexión para determinar así cuanto de carga soportan las mismas sometidas a estos tipos de esfuerzos antes de que el sello como la muestra colapse totalmente.

3.7.1. Ensayo de compresión y flexión

Para evaluar la calidad del sello aplicado en cuanto a su resistencia y realizar un análisis de comparación en cuanto a su comportamiento se aplicaron cargas axiales de compresión y flexión a todas las muestras selladas en laboratorio, correspondientes a pavimento flexible y pavimento rígido.

Ambos tipos de ensayos se los realizó en el Laboratorio de Hormigones y Resistencia de Materiales de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UAJMS, utilizando para ello la prensa de compresión simple y en el ensayo de flexión se incorporó a las misma el equipo para pruebas de flexión tanto para las muestras de pavimento flexible como para las muestras del pavimento rígido.

Figura 3.108: Equipo de flexión para ensayo a muestra de pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.109: Equipo de flexión para ensayo a muestra de pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.110: Compresión a muestra sellada de pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.111: Compresión a muestra sellada de pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.112: Flexión a muestra sellada de pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.113: Flexión a muestra sellada de pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

3.8. RESULTADOS

3.8.1. Resultados del ensayo de compresión a muestras de pavimento flexible con fisuras selladas

Tabla 3.38: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras de pavimento flexible con fisuras selladas sometidas a compresión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Briquetas de A.	Asfalto A1	36,00	3672,00
2	Briquetas de A.	Asfalto A2	37,00	3774,00
3	Briquetas de A.	Asfalto A3	40,00	4080,00
4	Briquetas de A.	Asfalto A4	43,00	4386,00
5	Briquetas de A.	Asfalto A5	44,00	4488,00
			Media	4080,00
			Desv. stand.	360,62
6	Briquetas de A.	Alquitrán B1	40,00	4080,00
7	Briquetas de A.	Alquitrán B2	44,00	4488,00
8	Briquetas de A.	Alquitrán B3	46,00	4692,00
9	Briquetas de A.	Alquitrán B4	48,00	4896,00
10	Briquetas de A.	Alquitrán B5	52,00	5304,00
			Media	4692,00
			Desv. stand.	456,16
11	Briquetas de A.	Sikaflex PRO-3 S1	50,00	5100,00
12	Briquetas de A.	Sikaflex PRO-3 S2	60,00	6120,00
13	Briquetas de A.	Sikaflex PRO-3 S3	61,00	6222,00
14	Briquetas de A.	Sikaflex PRO-3 S4	62,00	6324,00
15	Briquetas de A.	Sikaflex PRO-3 S5	62,00	6324,00
			Media	6018,00
			Desv. stand.	520,10

Fuente: Elaboración propia

3.8.2. Resultados del ensayo de flexión a muestras de pavimento flexible con fisuras selladas

Tabla 3.39: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras de pavimento flexible con fisuras selladas sometidas a flexión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Briqueta de A.	Asfalto A1	8,00	816,00
2	Briqueta de A.	Asfalto A2	8,00	816,00
3	Briqueta de A.	Asfalto A3	10,00	1020,00
4	Briqueta de A.	Asfalto A5	11,00	1122,00
5	Briqueta de A.	Asfalto A6	12,00	1224,00
			Media	999,60
			Desv. stand.	182,46
6	Briqueta de A.	Alquitrán B1	4,00	408,00
7	Briqueta de A.	Alquitrán B2	5,00	510,00
8	Briqueta de A.	Alquitrán B3	5,00	510,00
9	Briqueta de A.	Alquitrán B4	6,00	612,00
10	Briqueta de A.	Alquitrán B5	7,00	714,00
			Media	550,80
			Desv. stand.	116,30
11	Briqueta de A.	Sikaflex PRO-3 S1	7,00	714,00
12	Briqueta de A.	Sikaflex PRO-3 S2	7,00	714,00
13	Briqueta de A.	Sikaflex PRO-3 S3	8,00	816,00
14	Briqueta de A.	Sikaflex PRO-3 S4	8,00	816,00
15	Briqueta de A.	Sikaflex PRO-3 S5	9,00	918,00
			Media	795,60
			Desv. stand.	85,34

Fuente: Elaboración propia

3.8.3. Resultados del ensayo de compresión a muestras de pavimento rígido con grietas selladas

Tabla 3.40: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras de pavimento rígido con grietas selladas sometidas a compresión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Probetas de H°	Asfalto A1	535,00	54570,00
2	Probetas de H°	Asfalto A2	539,00	54978,00
3	Probetas de H°	Asfalto A3	547,00	55794,00
4	Probetas de H°	Asfalto A4	568,00	57936,00
5	Probetas de H°	Asfalto A5	571,00	58242,00
			Media	56304,00
			Desv. stand.	1691,48
6	Probetas de H°	Alquitrán B1	320,00	32640,00
7	Probetas de H°	Alquitrán B2	334,00	34068,00
8	Probetas de H°	Alquitrán B3	338,00	34476,00
9	Probetas de H°	Alquitrán B4	342,00	34884,00
10	Probetas de H°	Alquitrán B5	359,00	36618,00
			Media	345 37,20
			Desv. stand.	1438,16
11	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S1	420,00	42840,00
12	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S2	437,00	44574,00
13	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S3	453,00	46206,00
14	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S4	459,00	46818,00
15	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S5	460,00	46920,00
			Media	45471,60
			Desv. stand.	1745,06

Fuente: Elaboración propia

3.8.4. Resultados del ensayo de flexión a muestras de pavimento rígido con grietas selladas

Tabla 3.41: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras de pavimento rígido con grietas selladas sometidas a flexión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Viga de H°	Asfalto A1	25,00	2550,00
2	Viga de H°	Asfalto A2	27,10	2764,20
3	Viga de H°	Asfalto A3	27,90	2845,80
4	Viga de H°	Asfalto A4	28,30	2886,60
5	Viga de H°	Asfalto A5	30,10	3070,20
			Media	2823,36
			Desv. stand.	189,51
6	Viga de H°	Alquitrán B1	14,30	1458,60
7	Viga de H°	Alquitrán B2	14,50	1479,00
8	Viga de H°	Alquitrán B3	14,60	1489,20
9	Viga de H°	Alquitrán B4	15,10	1540,20
10	Viga de H°	Alquitrán B5	15,80	1611,60
			Media	1515,72
			Desv. stand.	61,45
11	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S1	18,50	1887,00
12	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S2	18,70	1907,40
13	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S3	19,30	1968,60
14	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S4	19,60	1999,20
15	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S5	20,10	2050,20
			Media	1962,48
			Desv. stand.	66,73

Fuente: Elaboración propia

3.8.5. Resultados del ensayo de compresión a muestras de pavimento rígido con juntas selladas

Tabla 3.42: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras de pavimento rígido con juntas selladas sometidas a compresión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Probetas de H°	Asfalto A1	520,00	53040,00
2	Probetas de H°	Asfalto A2	527,00	53754,00
3	Probetas de H°	Asfalto A3	529,00	53958,00
4	Probetas de H°	Asfalto A4	533,00	54366,00
5	Probetas de H°	Asfalto A5	535,00	54570,00
			Media	53937,60
			Desv. stand.	596,50
6	Probetas de H°	Alquitrán B1	295,00	30090,00
7	Probetas de H°	Alquitrán B2	295,00	30090,00
8	Probetas de H°	Alquitrán B3	303,00	30906,00
9	Probetas de H°	Alquitrán B4	308,00	31416,00
10	Probetas de H°	Alquitrán B5	311,00	31722,00
			Media	30844,80
			Desv. stand.	748,15
11	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S1	589,00	60078,00
12	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S2	590,00	60180,00
13	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S3	593,00	60486,00
14	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S4	593,00	60486,00
15	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S5	595,00	60690,00
			Media	60384,00
			Desv. stand.	249,85

Fuente: Elaboración propia

3.8.6. Resultados del ensayo de flexión a muestras de pavimento rígido con juntas selladas

Tabla 3.43: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras de pavimento rígido con juntas selladas sometidas a flexión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Viga de H°	Asfalto A1	25,90	2641,80
2	Viga de H°	Asfalto A2	26,20	2672,40
3	Viga de H°	Asfalto A3	26,50	2703,00
4	Viga de H°	Asfalto A4	26,50	2703,00
5	Viga de H°	Asfalto A5	27,00	2754,00
			Media	2694,84
			Desv. stand.	41,68
6	Viga de H°	Alquitrán B1	14,30	1458,60
7	Viga de H°	Alquitrán B2	14,30	1458,60
8	Viga de H°	Alquitrán B3	14,70	1499,40
9	Viga de H°	Alquitrán B4	15,20	1550,40
10	Viga de H°	Alquitrán B5	15,50	1581,00
			Media	1509,60
			Desv. stand.	54,93
11	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S1	28,50	2907,00
12	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S2	28,80	2937,60
13	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S3	29,60	3019,20
14	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S4	30,00	3060,00
15	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S5	30,20	3080,40
			Media	3000,84
			Desv. stand.	75,78

Fuente: Elaboración propia

3.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.9.1. Análisis de resultados del sellado de fisuras en pavimento flexible

3.9.1.1. Análisis de resultados del sello de mástic asfáltico en muestras de pavimento flexible

3.9.1.1.1. Sello de mástic asfáltico en muestras sometidas a compresión



Figura 3.114: Muestra de pavimento flexible sellada con mástic asfáltico con rotura a compresión

Fuente: Elaboración propia

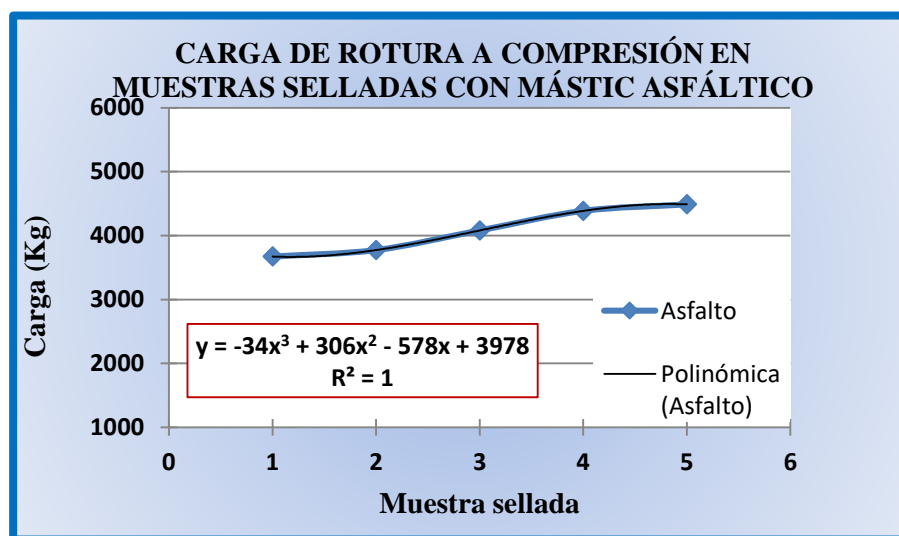
En la figura 3.114 se puede observar que la falla producida por la aplicación de la fuerza axial de compresión se da a través de la fisura sellada, lo que nos indicaría que a pesar del sellado de la fisura la carpeta asfáltica sigue fracturándose. El buen funcionamiento del sello con respecto a su adherencia solo es notable en la superficie porque no hubo desprendimiento del mismo, como así también se observa que, a pesar de la rotura de la muestra, la superficie sellada sigue intacta lo que favorecería al fin de impermeabilización de la estructura del pavimento a través del sello. Al haberse mantenido intacto el sello dentro de la fisura nos indica que este sello cuenta con la flexibilidad necesaria para soportar este tipo de esfuerzo, como la excelente compatibilidad y adherencia con la superficie asfáltica.

Tabla 3.44: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a compresión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Briquetas de A.	Asfalto A1	36,00	3672,00
2	Briquetas de A.	Asfalto A2	37,00	3774,00
3	Briquetas de A.	Asfalto A3	40,00	4080,00
4	Briquetas de A.	Asfalto A4	43,00	4386,00
5	Briquetas de A.	Asfalto A5	44,00	4488,00
			Media	4080,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.7: Curva de comportamiento de muestras selladas sometidas a compresión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3.7 obtenida a través de los resultados de la carga resistida por las muestras selladas con mástico asfáltico sometidas a compresión, que el comportamiento de resistencia a la carga es variable, esto debido que, a pesar de ser el mismo tipo de muestra, con las mismas características, como así también el mismo tipo

de material de sello y su respectiva aplicación; el comportamiento de resistencia del sello frente a este tipo de la carga no es el mismo, ya que tiene mucha influencia la correcta y adecuada aplicación del material, cuidando sobre todo la temperatura de aplicación, que al tratarse de un sello aplicado en caliente ese es el factor más importante para el control de una correcta aplicación.

La carga promedio de compresión resistida por las 5 muestras de pavimento flexible con sello de mástic asfáltico es de 4080 kg, presentando una variación del 18,19% del valor mínimo con respecto al valor máximo obtenido, lo que nos indicaría que la diferencia entre los resultados obtenidos en el ensayo, no tienen un rango considerable de variación o alejamiento en cuanto a su valor mínimo y máximo determinado.

3.9.1.1.2. Sello de mástic asfáltico en muestras sometidas a flexión

Figura 3.115: Muestra de pavimento flexible sellada con mástic asfáltico con rotura a flexión



Fuente: Elaboración propia

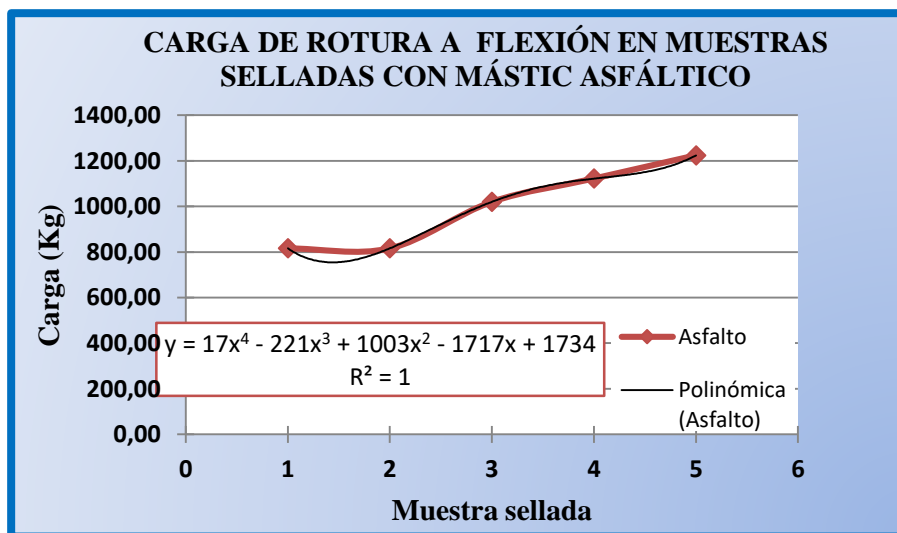
En la figura 3.115, se puede observar que el sello de mástic asfáltico aplicado en la muestra sellada sometida a la fuerza de flexión, no sufre ningún desprendimiento o falla por adherencia, simplemente en el momento de la rotura de la muestra este también se rompe, sin ningún tipo de resistencia en el sello.

Tabla 3.45: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a flexión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Briqueta de A.	Asfalto A1	8,00	816,00
2	Briqueta de A.	Asfalto A2	8,00	816,00
3	Briqueta de A.	Asfalto A3	10,00	1020,00
4	Briqueta de A.	Asfalto A5	11,00	1122,00
5	Briqueta de A.	Asfalto A6	12,00	1224,00
			Media	999,60

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.8: Curva de comportamiento de muestras selladas sometidas a flexión



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.8, obtenida a través de los resultados de la carga resistida por las muestras sometidas a flexión, se puede observar, que las cinco muestras selladas bajo

las mismas condiciones y las mismas características no tienen un mismo comportamiento en cuanto a la resistencia de este tipo de esfuerzo, mostrando claramente una variación considerable respecto a la carga resistida por las muestras selladas.

La carga promedio de flexión resistida por las 5 muestras de pavimento flexible con sello de mástic asfáltico es de 999,60 kg, determinándose que la carga soportada en las muestras ensayadas tiene una variación de 33,33% del valor mínimo con respecto al valor máximo obtenido, lo que nos indicaría que, la diferencia entre los resultados obtenidos en el ensayo, tienen un rango considerable de variación o alejamiento en cuanto a su valor mínimo y máximo.

3.9.1.2. Análisis de resultados del sello de alquitrán en muestras de pavimento flexible

3.9.1.2.1. Sello de alquitrán en muestras sometidas a compresión



Figura 3.116: Muestra de pavimento flexible sellada con alquitrán con rotura a compresión

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.116, se puede observar que la falla producida por la aplicación de la fuerza axial de compresión se da a través de la fisura sellada, lo que nos indicaría que a pesar del sellado la carpeta asfáltica se sigue fracturando a través del sello, también se puede observar que en cuanto al funcionamiento del mismo, con respecto a su adherencia y compatibilidad con la superficie asfáltica del pavimento si presento buenas características, porque a pesar de la ruptura, el sello no se desprendió,

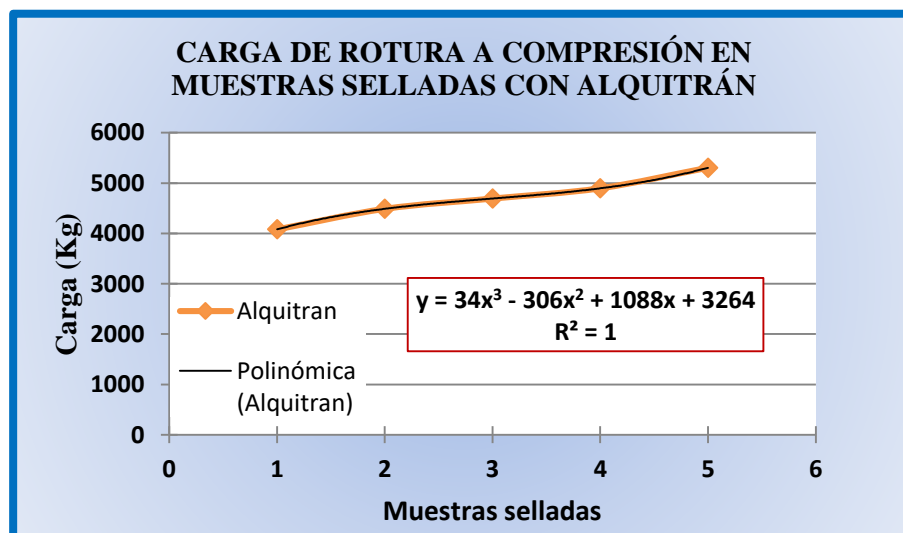
considerando el agrietamiento existente en el sello provocado por la carga soportada, se puede decir que el sello de alquitrán sufrió también un deterioro considerable en su superficie dejando a la estructura del pavimento expuesto al ingreso de agua u otro tipo de materiales que irían a dañar las capas subyacentes del pavimento.

Tabla 3.46: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a compresión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Briquetas de A.	Alquitrán B1	40,00	4080,00
2	Briquetas de A.	Alquitrán B2	44,00	4488,00
3	Briquetas de A.	Alquitrán B3	46,00	4692,00
4	Briquetas de A.	Alquitrán B4	48,00	4896,00
5	Briquetas de A.	Alquitrán B5	52,00	5304,00
			Media	4692,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.9: Curva de comportamiento de muestras selladas sometidas a compresión



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.9, obtenida a través de los resultados de la carga resistida por las muestras sometidas a compresión, se puede observar, que las cinco muestras selladas bajo las mismas condiciones y las mismas características no tienen un mismo comportamiento en cuanto a la resistencia a este tipo de carga, esto se da debido especialmente por la gran influencia de la temperatura en la correcta y adecuada aplicación del material, ya que al tratarse de un sello aplicado en caliente ese es el factor más importante para el control de una correcta aplicación y mejores resultados.

La carga promedio de compresión resistida por las 5 muestras de pavimento flexible con sello de alquitrán es de 4692 kg, presentando asimismo una variación de 23,08% del valor mínimo con respecto del valor máximo obtenido, lo que nos indicaría que la diferencia entre los resultados obtenidos en el ensayo, tienen un rango considerable de variación o alejamiento en cuanto a su valor mínimo y máximo.

3.9.1.2.2. Sello de alquitrán en muestras sometidas a flexión

Figura 3.117: Muestra de pavimento flexible sellada con alquitrán con rotura a flexión



Fuente: Elaboración propia

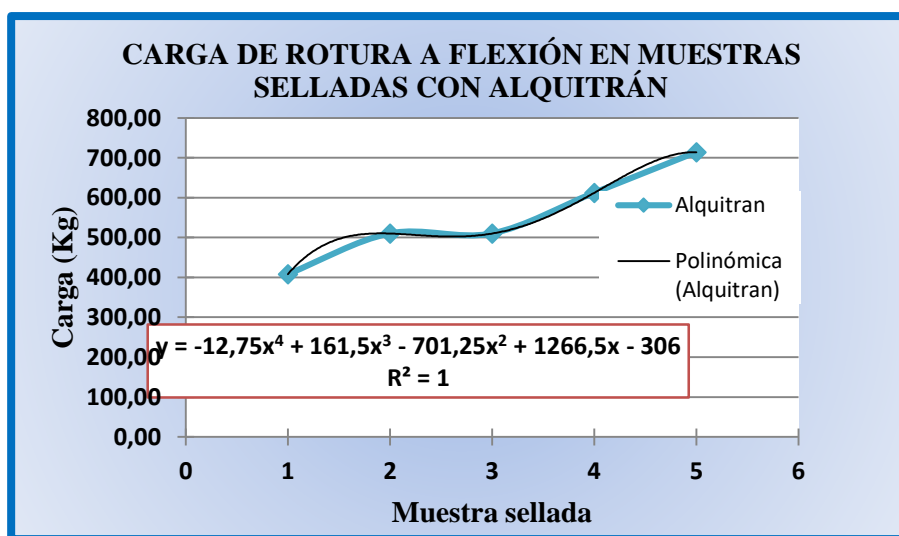
En la figura 3.117, se puede observar que el sello de alquitrán aplicado en la muestra prismática sometida al esfuerzo de flexión, no sufre ningún desprendimiento o falla por adherencia, simplemente en el momento de la rotura de la muestra del pavimento sellada, este también se rompe de manera inmediata.

Tabla 3.47: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a flexión

Muestras N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Briqueta de A.	Alquitrán B1	4,00	408,00
2	Briqueta de A.	Alquitrán B2	5,00	510,00
3	Briqueta de A.	Alquitrán B3	5,00	510,00
4	Briqueta de A.	Alquitrán B4	6,00	612,00
5	Briqueta de A.	Alquitrán B5	7,00	714,00
			Media	550,80

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.10: Curva de comportamiento de muestras selladas sometidas a flexión



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.10, obtenida a través de los resultados de la carga resistida por las muestras sometidas a flexión, también se puede evidenciar una considerable variación en cuanto a la carga resistida por las muestras ensayadas, como ya lo indicamos anteriormente son varios factores que inciden directamente sobre el sello y provocan este tipo de variación, siendo el principal, la temperatura de aplicación del material.

La carga promedio de flexión resistida por las 5 muestras de pavimento flexible con sello de alquitrán es de 550,80 kg, presentando asimismo una variación de 42,86 % del valor mínimo respecto del valor máximo obtenido, lo que nos indicaría que la diferencia entre los resultados obtenidos en el ensayo, tienen un rango considerable de variación o alejamiento en cuanto a su valor mínimo y máximo.

3.9.1.3. Análisis de resultados del sello de Sikaflex PRO-3 en muestras de pavimento flexible

3.9.1.3.1. Sello de Sikaflex PRO-3 en muestras sometidas a compresión



Figura 3.118: Muestra de pavimento flexible sellada con Sikaflex PRO-3 con rotura a compresión

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.118 se puede observar que la falla producida por la aplicación de la fuerza axial de compresión se da a través de la fisura sellada, lo que nos indicaría que a pesar del sellado la carpeta asfáltica se sigue fracturando, asimismo también se puede observar que la superficie también presenta fisuración debido a la carga aplicada, que se da pero a un lado de la fisura sellada y no así en el área donde se aplicó el sello, la cual al igual que el sello se mantienen intactos sin desprendimiento y mucho menos

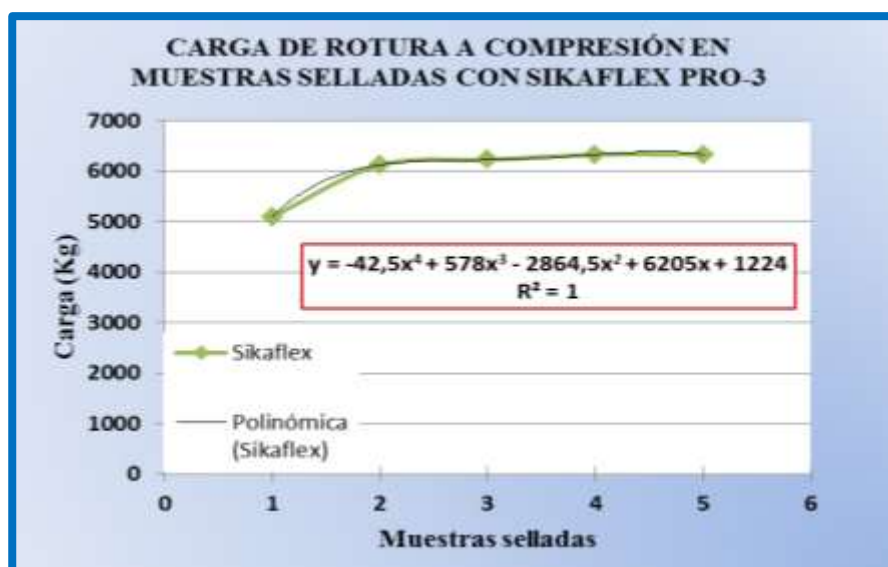
agrietamiento del mismo, indicando su capacidad elástica de funcionamiento de este tipo de sello.

Tabla 3.48: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a compresión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Briquetas de A.	Sikaflex PRO-3 S1	50,00	5100,00
2	Briquetas de A.	Sikaflex PRO-3 S2	60,00	6120,00
3	Briquetas de A.	Sikaflex PRO-3 S3	61,00	6222,00
4	Briquetas de A.	Sikaflex PRO-3 S4	62,00	6324,00
5	Briquetas de A.	Sikaflex PRO-3 S5	62,00	6324,00
			Media	6018,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.11: Curva de comportamiento de muestras selladas sometida a compresión



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.11, obtenida a través de los resultados de la carga resistida por las muestras sometidas a compresión, también se puede evidenciar la variación de carga en cuanto al número de muestras ensayadas, aunque de acuerdo a la gráfica esta es una pequeña variación que será evidenciada a través del porcentaje de variación calculado que se indica a continuación.

La carga promedio de compresión aplicada a las 5 muestras de pavimento flexible con sello de Sikaflex PRO-3 es de 6018 kg, presentando asimismo una variación de 19,34 % del valor mínimo con respecto del valor máximo obtenido, lo que nos indicaría que la diferencia entre los resultados obtenidos en el ensayo, tienen un rango aceptable de variación o alejamiento en cuanto a su valor mínimo y máximo.

3.9.1.3.2. Sello de Sikaflex PRO-3 en muestras sometidas a flexión

Figura 3.119: Muestra de pavimento flexible sellada con Sikaflex PRO-3 con rotura a flexión



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.119 se puede observar que el sello de Sikaflex PRO-3 aplicado en la muestra prismática sometida al esfuerzo de flexión, no sufre ningún desprendimiento o falla por adherencia, como así tampoco se rompe con la aplicación de la fuerza a flexión, es decir, que a pesar de la rotura de la muestra del pavimento sellada, el sello de la fisura se mantiene intacto uniendo ambas mitades separadas, demostrando de esa

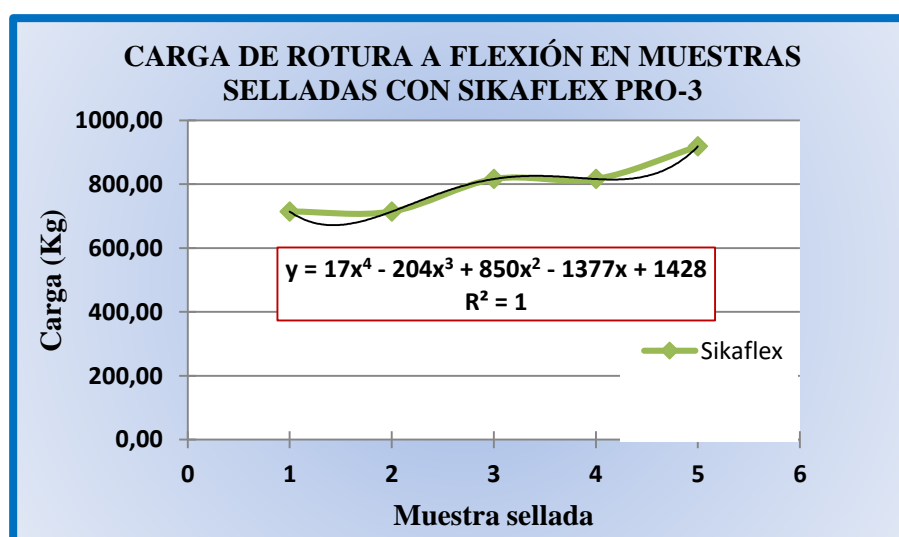
manera una buena adherencia a este tipo de pavimento, como así también su resistencia a este tipo de esfuerzo.

Tabla 3.49: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a flexión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Briqueta de A.	Sikaflex PRO-3 S1	7,00	714,00
2	Briqueta de A.	Sikaflex PRO-3 S2	7,00	714,00
3	Briqueta de A.	Sikaflex PRO-3 S3	8,00	816,00
4	Briqueta de A.	Sikaflex PRO-3 S4	8,00	816,00
5	Briqueta de A.	Sikaflex PRO-3 S5	9,00	918,00
			Media	795,60

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.12: Curva de comportamiento de muestras selladas sometidas a flexión



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.12, obtenida a través de los resultados de la carga resistida por las muestras sometidas a flexión, también se puede evidenciar la variación de carga en cuanto al número de muestras ensayadas, aunque de acuerdo a la gráfica esta es una pequeña variación que será evidenciada a través del porcentaje de variación calculado que se indica a continuación.

La carga promedio de flexión resistida por las 5 muestras de pavimento flexible con sello de Sikaflex PRO-3 es de 795,60 kg, presentando asimismo una variación del 22,22 % del valor mínimo con respecto al valor máximo obtenido, lo que nos indicaría que la diferencia entre los resultados obtenidos en el ensayo, tienen un rango considerable de variación o alejamiento en cuanto a su valor mínimo y máximo.

3.9.1.4. Análisis comparativo del comportamiento de los tres sellos aplicados a muestras de pavimento flexible

3.9.1.4.1. Análisis comparativo entre los tres tipos de sellos en muestras sometidas a compresión.

Figura 3.120: Muestras de pavimento flexible selladas con los tres tipos de sellos estudiados con rotura a compresión



a) Mástic asfáltico

b) Alquitrán

c) Sikaflex PRO-3

Fuente: Elaboración propia

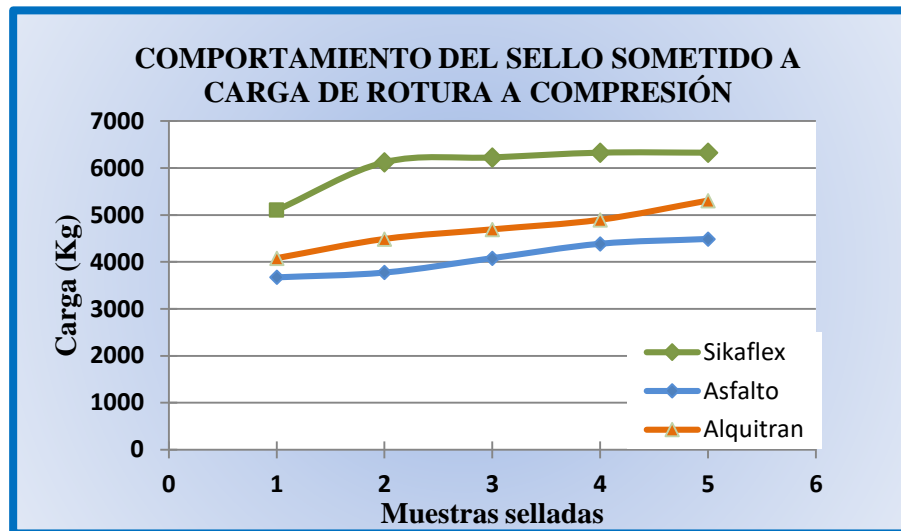
Realizando un análisis visual de lo obtenido como resultado del ensayo de compresión a muestras selladas con los tres tipos de sellos diferentes, se obtiene una comparación de comportamiento de los mismos, en cuanto a la resistencia a este tipo de esfuerzo. Se ve claramente que la muestra sellada con alquitrán es la más afectada por la carga resistida, esto se define claramente observando la rotura de la muestra directamente a través del sello. Las muestras selladas con mástic asfáltico y Sikaflex PRO-3 tuvieron un comportamiento más satisfactorio, ya que se vio una mejor resistencia en ambos casos por parte del sello, tanto de resistencia al esfuerzo como protección para evitar mayor fisuración a través del mismo. Esto es posible gracias a su propiedad de flexibilidad de los mismos, en el caso del mástic asfáltico, este a la aplicación de la fuerza sufre una leve deformación en la superficie, mientras que en el caso de Sikaflex PRO-3 no sufrió deformación al momento del ensayo y posterior rotura de la muestra sellada. Estas observaciones serán verificadas a través de la siguiente tabla de resultados comparativos.

Tabla 3.50: Tabla de resultados de la carga resistida a compresión por los tres tipos de sellos.

Muestra Nº	Mástic asfáltico	Alquitrán	Sikaflex PRO-3
	Carga (kg)	Carga (kg)	Carga (kg)
1	3672,00	4080,00	5100,00
2	3774,00	4488,00	6120,00
3	4880,00	4692,00	6222,00
4	4386,00	4896,00	6324,00
5	4488,00	5304,00	6324,00
Media	4080,00	4692,00	6018,00
Desv. stand.	360,62	456,16	520,10

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.13: Análisis comparativo de los tres sellos aplicados a muestras de pavimento flexible sometidas a compresión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3.13 obtenida a través de los resultados de la carga resistida a compresión por los tres tipos de sellos aplicados a muestras de pavimento flexible, que las muestras selladas con mejores resultados de resistencia a este tipo de esfuerzo son las muestras con sello de Sikaflex PRO-3 el cual tiene una variación de carga resistida con respecto a las muestras con sello de alquitrán de un 22,03% , asimismo presenta una variación de carga resistida con respecto a las muestras con sello de mástic asfáltico de un 32,24%, siendo que los resultados con mayor diferencia o alejamiento son los obtenidos en las muestras con sello de mástic asfáltico, presentando una mayor variación en cuanto a los resultados obtenidos con respecto a las muestras selladas con Sikaflex PRO-3 que son las que demostraron un mejor resultado en cuanto a la resistencia mecánica frente a este tipo de esfuerzo, sin embargo se puede determinar, que de acuerdo a la gráfica este es el sello con más variación en su comportamiento con respecto a los demás, presentando mayor variación en cuando a sus resultados extremos como así también con respecto a su carga resistida promedio.

3.9.1.4.2. Análisis comparativo del comportamiento de los tres tipos de sellos en muestras sometidas a flexión.

Figura 3.121: Muestras de pavimento flexible selladas con los tres tipos de sellos estudiados con rotura a flexión



a) Mástic asfáltico

b) Alquitrán



c) Sikaflex PRO-3

Fuente: Elaboración propia

Realizando un análisis visual de lo obtenido como resultado del ensayo de flexión a muestras prismáticas selladas con los tres tipos de sellos diferentes, se obtiene una comparación de comportamiento de los mismos, en cuanto a la resistencia a este tipo de esfuerzo.

Haciendo un análisis particular de cada uno de los sellos aplicados se pudo ver que a flexión la muestra sellada se rompe provocando en el sello de mástic asfáltico una pequeña elongación del mismo hasta que se rompe manteniendo una buena adherencia con la superficie de la muestra. En el caso del sello con alquitrán este se rompe inmediatamente al momento en que se da la rotura de la muestra sellada y en el caso de las muestras con sello de Sikaflex PRO-3 el sello soporta intacto a este tipo de esfuerzo, la muestra sellada por el mismo sufre la rotura por flexión, pero el sello no se rompe ni sufre ningún desprendimiento, este se mantiene bien adherido a la superficie de aplicación.

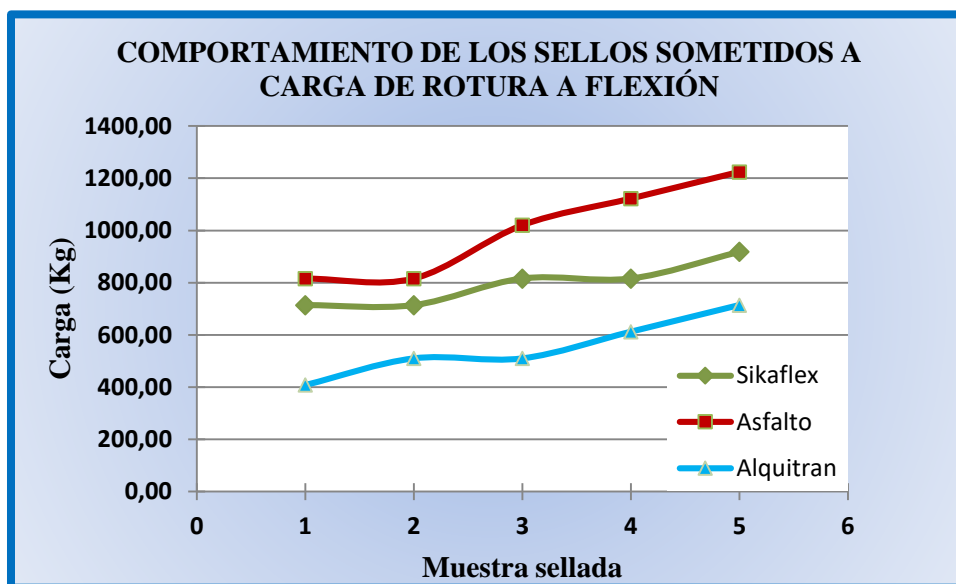
Las muestras con sello de mástic asfáltico y de Sikaflex PRO-3 tuvieron un comportamiento más satisfactorio, ya que se vio una mejor resistencia en ambos casos por parte del sello, tanto de resistencia al esfuerzo como protección para evitar mayor fisuración a través del mismo. Estas observaciones serán verificadas a través de la siguiente tabla de resultados comparativos.

Tabla 3.51: Tabla de resultados de la carga resistida a flexión por los tres tipos de sellos.

Muestra Nº	Mástic asfáltico	Alquitrán	Sikaflex PRO-3
	Carga (kg)	Carga (kg)	Carga (kg)
1	816,00	408,00	714,00
2	816,00	510,00	714,00
3	1020,00	510,00	816,00
4	1122,00	612,00	816,00
5	1224,00	714,00	918,00
Media	999,60	550,80	795,60
Desv. stand.	182,46	116,30	85,34

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.14: Análisis comparativo de los tres sellos aplicados a muestras de pavimento flexible sometidas a flexión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3.14, obtenida a través de los resultados de la carga resistida a flexión por los tres tipos de sellos aplicados a muestras de pavimento flexible, que las muestras selladas con mejores resultados de resistencia a este tipo de esfuerzo son las muestras con sello de mástico asfáltico el cual tiene una variación de carga resistida con respecto a las muestras con sello de alquitrán de un 44,9% , asimismo presenta una variación de carga resistida con respecto a las muestras con sello de Sikaflex PRO-3 de un 20,41%, siendo que los resultados con mayor diferencia son los obtenidos en las muestras con sello de alquitrán, debido a que su diferencia de variación de carga es más considerable con respecto a las muestras selladas con mástico asfáltico que son las que demostraron mejores resultados. Este se define que es posible gracias a las propiedades del sello las cuales satisfacen a las exigencias especificadas por norma.

3.9.2. Análisis de resultados del sellado de grietas en pavimento rígido

3.9.2.1. Análisis de resultados del sello de mástic asfáltico en muestras de pavimento rígido

3.9.2.1.1. Sello de mástic asfáltico en muestras sometidas a compresión



Figura 3.122: Muestra de pavimento rígido sellada con mástic asfáltico con rotura a compresión

Fuente: Elaboración propia

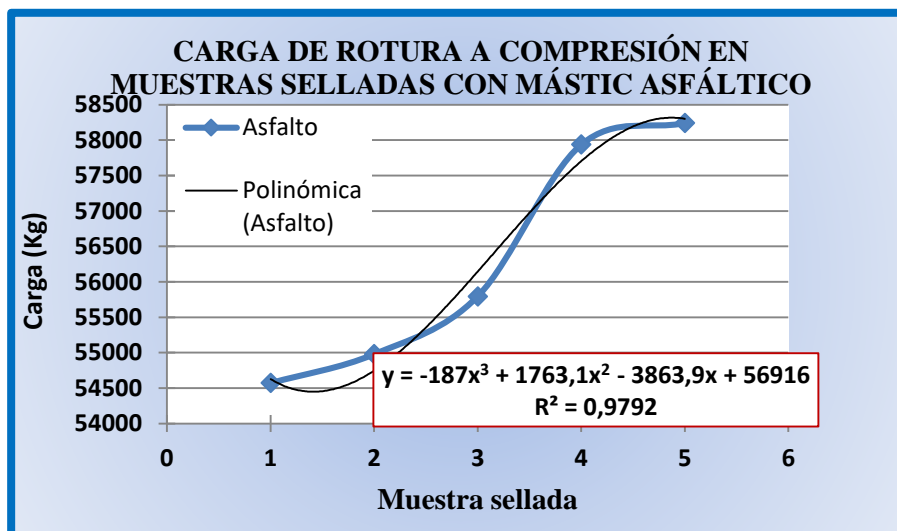
En la figura 3.122 se puede observar que la falla producida por la aplicación de la fuerza axial de compresión se da de manera paralela a la grieta sellada y no así a través de ella, lo que nos indicaría el buen funcionamiento del sello, a través de su elasticidad, adherencia y compatibilidad con los elementos constructivos de este tipo de pavimento, haciendo de que a pesar de la grieta este mantenga sus propiedades de resistencia, a este tipo de esfuerzo.

Tabla 3.52: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a compresión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Probetas de H°	Asfalto A1	535,00	54570,00
2	Probetas de H°	Asfalto A2	539,00	54978,00
3	Probetas de H°	Asfalto A3	547,00	55794,00
4	Probetas de H°	Asfalto A4	568,00	57936,00
5	Probetas de H°	Asfalto A5	571,00	58242,00
			Media	56304,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.15: Curva de comportamiento de muestras selladas sometidas a compresión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3.15 un comportamiento de resistencia a la carga a la cual fueron sometidas las muestras, con cierta variación, demostrando que, a pesar de ser el mismo tipo de muestra, con las mismas características, como así también el

mismo tipo de material de sello; el comportamiento en cuanto a la resistencia de la carga que afecta la muestra sellada no es el mismo.

La carga promedio de compresión resistida por las 5 probetas con sello de mástic asfáltico es de 56304 kg, presentando asimismo una variación del 6,30% del valor mínimo con respecto al valor máximo obtenido, lo que nos indicaría que la variación entre los resultados obtenidos en el ensayo, es demasiado pequeño en función a su valor mínimo y máximo.

3.9.2.1.2. Sello de mástic asfáltico en muestras sometidas a flexión

Figura 3.123: Muestra de pavimento rígido sellada con mástic asfáltico con rotura a flexión



Fuente: Elaboración propia

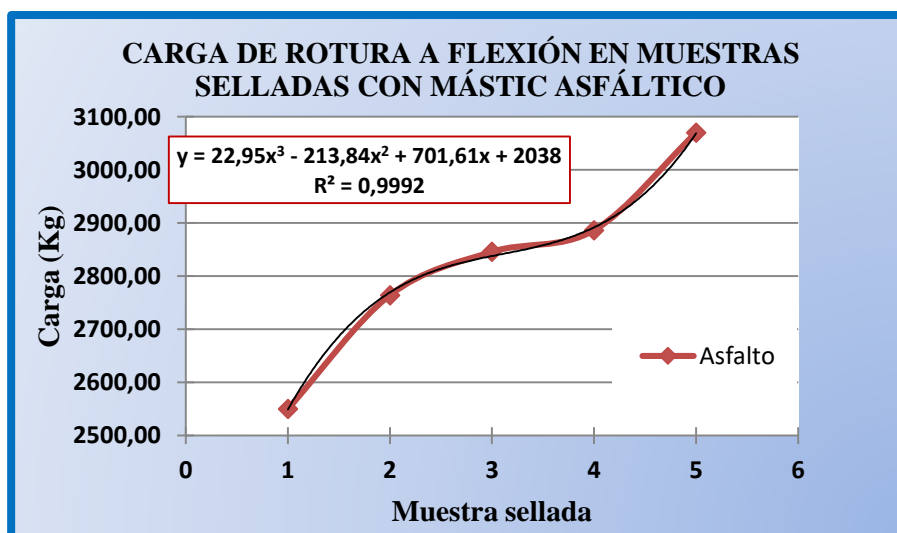
En la figura 3.123 se puede observar que el sello en la muestra sometida a una carga de flexión no sufre ningún desprendimiento o falla por adherencia, simplemente en el momento de la ruptura de la muestra, este presenta cierta resistencia estirándose hasta donde su capacidad así lo permite, para luego romperse junto con la muestra ensayada. Es oportuno resaltar que, debido a la presencia de arena en la composición del sello, esta proporciona a la muestra una capacidad de estabilidad, aunque su capacidad de elongación o estiramiento en comparación al asfalto puro, disminuye y se da el rompimiento del sello.

Tabla 3.53: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a flexión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Viga de H°	Alquitrán B1	14,30	1458,60
2	Viga de H°	Alquitrán B2	14,50	1479,00
3	Viga de H°	Alquitrán B3	14,60	1489,20
4	Viga de H°	Alquitrán B4	15,10	1540,20
5	Viga de H°	Alquitrán B5	15,80	1611,60
			Media	1515,72

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.16: Curva de comportamiento de muestras selladas sometidas a flexión



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.16 se puede observar, que las cinco muestras selladas bajo las mismas condiciones y las mismas características, no tienen un mismo comportamiento al ser sometidas a la aplicación de carga a flexión, es decir que carga de flexión a la cual es

sometida es variable debido a varios factores de incidencia directa al sello, siendo la principal, la temperatura de aplicación del material sellante.

La carga promedio de flexión resistida por las 5 vigas de hormigón con sello de mástico asfáltico es de 2823,36 kg., presentando asimismo una variación del 16,94% del valor mínimo con respecto del valor máximo obtenido, lo que nos indicaría que la variación entre los resultados obtenidos en el ensayo, es pequeña en función a su valor mínimo y máximo.

3.9.2.2. Análisis de resultados del sello de alquitrán en muestras de pavimento rígido

3.9.2.2.1. Sello de alquitrán en muestras sometidas a compresión



Figura 3.124: Muestra de pavimento rígido sellada con alquitrán con rotura a compresión

Fuente: Elaboración propia

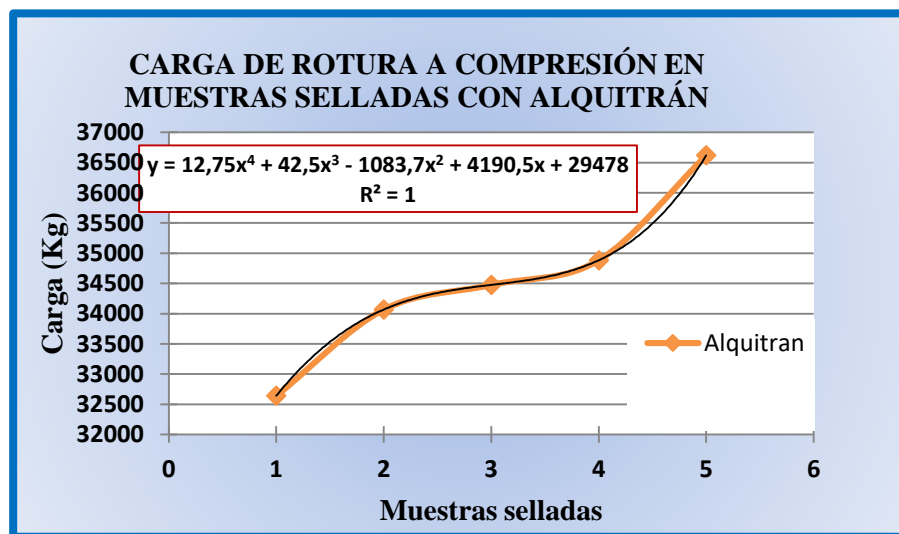
En la figura 3.124, se puede observar que la falla producida por la aplicación de la fuerza axial de compresión se da justamente a través de la grieta sellada en la probeta, lo que nos indicaría que este tipo de material no es recomendable para este tipo de aplicación, ya que debido a la fragilidad que presenta en su estado sólido a temperatura ambiente, hace que no resista este tipo de esfuerzo al que está sometido mayormente este tipo de pavimento.

Tabla 3.54: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras sometidas a compresión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Probetas de H°	Alquitrán B1	320,00	32640,00
2	Probetas de H°	Alquitrán B2	334,00	34068,00
3	Probetas de H°	Alquitrán B3	338,00	34476,00
4	Probetas de H°	Alquitrán B4	342,00	34884,00
5	Probetas de H°	Alquitrán B5	359,00	36618,00
			Media	345 37,20

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.17: Curva de comportamiento de las muestras selladas sometidas a compresión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3.17, que la muestra sellada sometida a la carga de compresión nos da resultados variables, aunque a pesar de ser el mismo tipo de muestra, con las mismas características, como así también el mismo tipo de material de sello; el comportamiento de la carga que afecta la muestra sellada no es el mismo.

La carga promedio de compresión resistida por las 5 probetas con sello de alquitrán es de 34537,20 kg, presentando asimismo una variación de 6,30% del valor mínimo con respecto al valor máximo obtenido, lo que nos indicaría que la variación entre los resultados obtenidos en el ensayo, es pequeña en función a su valor mínimo y máximo.

3.9.2.2.2. Sello de alquitrán en muestras sometidas a flexión

Figura 3.125: Muestra de pavimento rígido sellada con alquitrán con rotura a flexión



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.125 se puede observar que el sello de alquitrán aplicado en la muestra sometida al esfuerzo de flexión, no sufre ningún desprendimiento o falla por adherencia, simplemente en el momento de la rotura, debido a sus características de fragilización en su estado sólido del mismo, este se corta inmediatamente sin ningún tipo de elongación, lo que hace más débil a la estructura de este pavimento en cuanto a su resistencia.

Tabla 3.55: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras

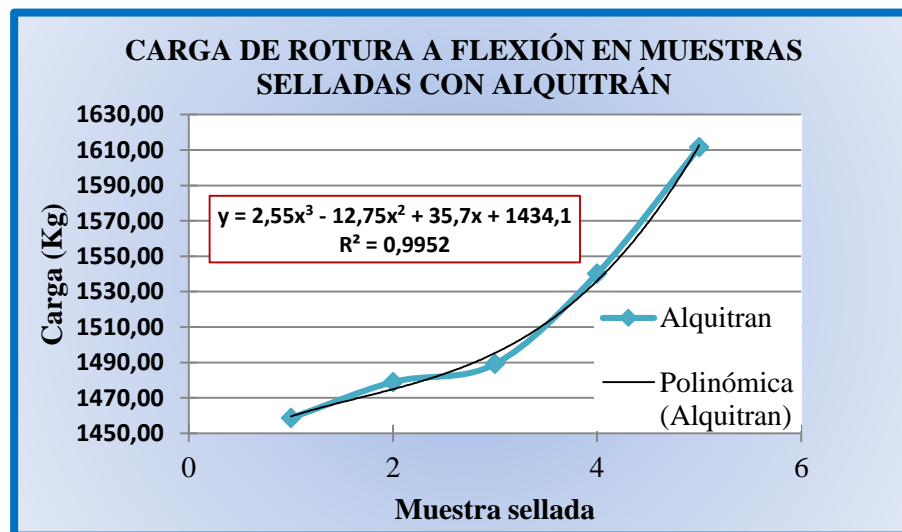
sometidas a flexión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Viga de H°	Alquitrán B1	14,30	1458,60
2	Viga de H°	Alquitrán B2	14,50	1479,00
3	Viga de H°	Alquitrán B3	14,60	1489,20
4	Viga de H°	Alquitrán B4	15,10	1540,20
5	Viga de H°	Alquitrán B5	15,80	1611,60
			Media	1515,72

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.18: Curva de comportamiento de muestras selladas

sometidas a flexión



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.18, se puede observar, que las cinco muestras selladas con alquitrán, bajo las mismas condiciones y las mismas características no tienen un mismo comportamiento al ser sometidas a la aplicación de carga a flexión, es decir que la carga resistida por la muestra sellada es variable, esto debido a varios factores de incidencia

directa al sello, como son la adecuada aplicación del material y las características del mismo.

La carga promedio de flexión resistida por las 5 vigas de hormigón con sello de alquitrán es de 1515,72 Kg, presentando asimismo una variación del 9,49% entre el valor mínimo con respecto del valor de la carga máxima resistida siendo un rango pequeño de diferencia entre los resultados del ensayo.

3.9.2.3. Análisis de resultados del sello de Sikaflex PRO-3 en muestras de pavimento rígido

3.9.2.3.1. Sello Sikaflex PRO-3 en muestras sometidas a compresión



Figura 3.126: Muestra de pavimento rígido sellada con Sikaflex PRO-3 con rotura a compresión

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.126 se puede observar que la falla producida por la aplicación de la fuerza axial de compresión en la probeta cilíndrica, se da de manera paralela a la grieta sellada y no así a través de ella, la probeta ensayada se fracturó a ambos lados de la grieta sellada fisurándose de manera considerable a ambos lados, pero con respecto a la zona donde contenía el sello se mantuvo intacto gracias a su propiedades de elasticidad y resistencia del material sellante, lo que se indicaría que este sello aplicado a este tipo de pavimento tiene un buen funcionamiento frente a este tipo de esfuerzo. Además, se

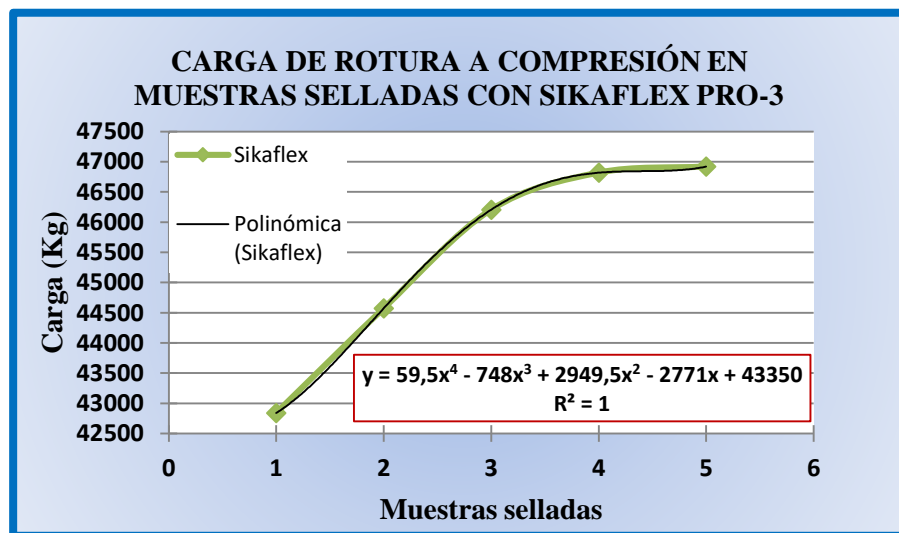
puede observar que justamente en la zona donde se encuentra el sello, la carga aplicada no provocó ningún tipo de agrietamiento ni alteración en el mismo manteniéndose completamente intacto tanto el como la superficie sellada por el mismo.

Tabla 3.56: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a compresión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S1	420,00	42840,00
2	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S2	437,00	44574,00
3	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S3	453,00	46206,00
4	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S4	459,00	46818,00
5	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S5	460,00	46920,00
			Media	45471,60

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.19: Curva de comportamiento de las muestras selladas sometidas a compresión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3,19, obtenida a través de los resultados de la carga resistida por las muestras sometidas a compresión, que este tipo de material sellante frente a este tipo de esfuerzo tiene un comportamiento variable en cuanto a la

resistencia de las mismas, pese a ser el mismo tipo de muestra, con las mismas características, como así también el mismo tipo de material de sello; son varios los factores los que influyen en un buen sellado, sobre todo los que están en función de las características y la aplicación del sello.

La carga promedio de compresión resistida por las 5 probetas con sello de Sikaflex PRO-3 es de 45471,60 kg, presentando asimismo una variación de 8,70% entre el valor mínimo con respecto del valor máximo obtenido, siendo un rango pequeño de diferencia entre los resultados del ensayo.

3.9.2.3.2. Sello de Sikaflex PRO-3 en muestras sometidas a flexión

Figura 3.127: Muestra de pavimento rígido sellada con Sikaflex PRO-3 con rotura a flexión



Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la figura 3.127, siendo la situación más crítica observada, que luego de someter a la muestra sellada al ensayo de resistencia a flexión, se puede ver que en el momento de la rotura de la muestra ensayada, esta se rompe a una determinada carga, pero el sello aplicado a pesar de la rotura de la muestra donde se hallaba adherido se mantiene intacto y no sufre daño alguno y menos la rotura del mismo, lo que sí es posible observar es el desprendimiento total del sello del área de contacto de una de las mitades de la muestra ensayada, habiendo sido así afectado en cuanto a su

adherencia, basándonos en las recomendaciones y especificaciones dadas por el fabricante para este tipo de sellador, se refiere que esto sucede cuando el área a sellar en pavimento rígido es imprimada con asfalto diluido, ya que no presenta buena compatibilidad entre el hormigón el asfalto diluido con kerosene y el sellante aplicado, perdiendo de esa manera la capacidad de adherencia entre la superficie y el material sellante.

Tabla 3.57: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a flexión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S1	18,50	1887,00
2	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S2	18,70	1907,40
3	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S3	19,30	1968,60
4	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S4	19,60	1999,20
5	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S5	20,10	2050,20
			Media	1962,48

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.20: Curva de comportamiento de muestras selladas

sometidas a flexión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3.20 obtenida a través de los resultados de la carga resistida por las muestras sometidas a flexión, un comportamiento de carga variable debido a varios factores de incidencia directa al sello, tales como ancho de junta, profundidad de junta, proceso de imprimación y limpieza del área a sellar. Esto nos demuestra que, a pesar de ser el mismo tipo de muestra, con las mismas características, como así también el mismo tipo de material de sello; el comportamiento de la carga que afecta la muestra sellada no es el mismo.

La carga promedio de flexión resistida por las 5 vigas de hormigón con sello de Sikaflex PRO-3 es de 1962,48 kg, presentando asimismo una variación del 7,96% entre el valor mínimo con respecto al valor máximo obtenido, siendo pequeño el rango de variación entre los resultados obtenidos en el ensayo

3.9.2.4. Análisis comparativo del comportamiento de los tres sellos aplicados a muestras de pavimento rígido

3.9.2.4.1. Análisis comparativo entre los tres tipos de sellos en muestras sometidas a compresión.

Figura 3.128: Muestras de pavimento rígido selladas con los tres tipos de sellos estudiados con rotura a compresión



a) Mástic asfáltico

b) Alquitrán

c) Sikaflex PRO-3

Fuente: Elaboración propia

Realizando un análisis visual de lo obtenido como resultado del ensayo de compresión a probetas selladas con los tres tipos de sellos diferentes, se obtiene una comparación de comportamiento de los mismos, en cuanto a la resistencia a este tipo de esfuerzo. Se ve claramente que la muestra sellada con alquitrán es la más afectada por la carga resistida, esto se define claramente observando la rotura de la probeta exactamente a través del sello. Las probetas selladas con sello de mástic asfáltico y de Sikaflex PRO-3 tuvieron un comportamiento más satisfactorio, ya que se vio una mejor resistencia en ambos casos por parte del sello, tanto de resistencia al esfuerzo como protección para evitar mayor agrietamiento a través del mismo. Esto es posible gracias a su propiedad de elasticidad de los mismos, en el caso del mástic asfáltico, este a la aplicación de la fuerza sufre una leve deformación en la superficie, mientras que en el caso de Sikaflex PRO-3 no sufrió deformación al momento del ensayo y posterior rotura de la probeta

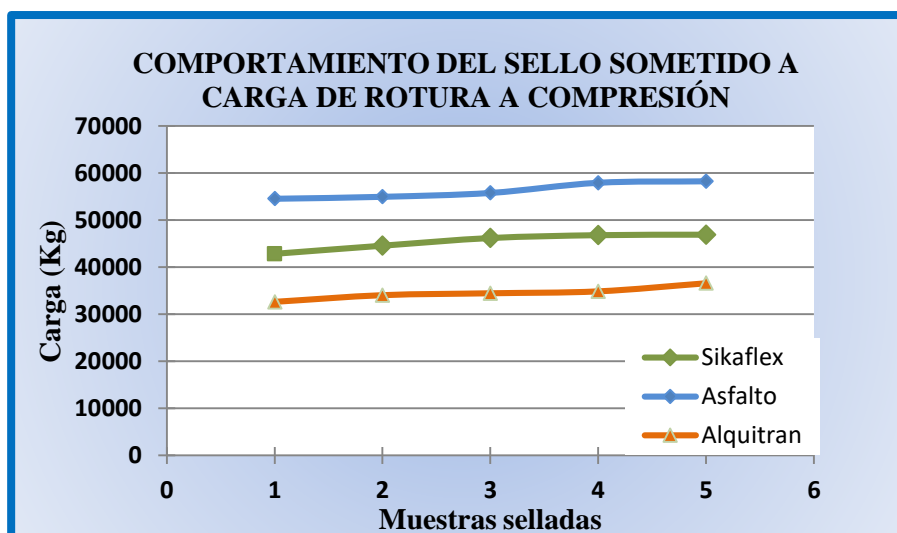
sellada. Estas observaciones serán verificadas a través de la siguiente tabla de resultados comparativos.

Tabla 3.58: Tabla de resultados de la carga resistida a compresión por los tres tipos de sellos.

Muestra N°	Mástic asfáltico	Alquitrán	Sikaflex PRO-3
	Carga (kg)	Carga (kg)	Carga (kg)
1	54570,00	32640,00	42840,00
2	54978,00	34068,00	44574,00
3	55794,00	34476,00	46206,00
4	57936,00	34884,00	46818,00
5	58242,00	36618,00	46920,00
Media	56304,00	34537,20	45471,60
Desv. stand.	1691,48	1438,16	1745,06

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.21: Análisis comparativo del comportamiento de los tres sellos aplicados a muestras sometidas a compresión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3.21 obtenida a través de los resultados de la carga resistida a compresión por los tres tipos de sellos aplicados a muestras de pavimento

rígido, que las muestras selladas con mejores resultados de resistencia a este tipo de esfuerzo son las muestras con sello de mástic asfáltico, el cual tiene una variación de carga resistida con respecto a las muestras con sello de alquitrán de un 39,66% , asimismo presenta una variación de carga resistida con respecto a las muestras con sello de Sikaflex PRO-3 de un 19,24%, siendo que los resultados con mayor diferencia son de las muestras con sello de alquitrán, que es el sello menos recomendable para su aplicación en el sellado.

3.9.2.4.2. Análisis comparativo entre los tres tipos de sellos en muestras sometidas a flexión

Figura 3.129: Muestras selladas con los tres tipos de sellos estudiados con rotura a flexión



a) Mástic asfáltico

b) Alquitrán



c) Sikaflex PRO-3

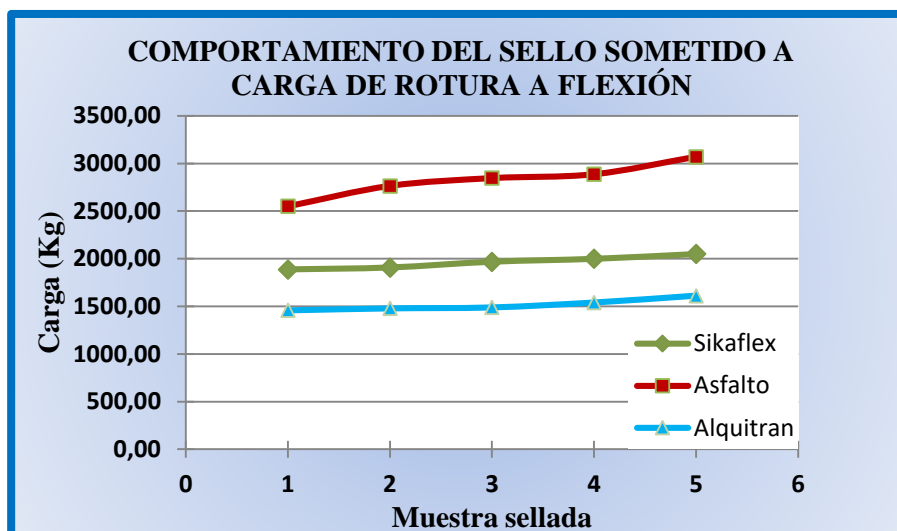
Fuente: Elaboración propia
Realizando un análisis visual de lo obtenido como resultado del ensayo de flexión a probetas prismáticas selladas con los tres tipos de sellos diferentes, se obtiene una

comparación de comportamiento de los mismos, en cuanto a la resistencia a este tipo de esfuerzo. Haciendo un análisis particular de cada uno de los sellos aplicados se pudo ver que a flexión la muestra sellada se rompe provocando en el sello de mástic asfáltico una pequeña elongación del mismo hasta q se rompe manteniendo una buena adherencia con la superficie de la muestra. En el caso del sello con alquitrán este se corta inmediatamente al momento en que se da la rotura de la probeta y en el caso de las muestras con sello de Sikaflex PRO-3 el sello soporta intacto a este tipo de esfuerzo, pero sufre un desprendimiento total de la superficie sellada, en caso de imprimirse con asfalto diluido. Las probetas selladas con sello de mástic asfáltico y de Sikaflex PRO-3 tuvieron un comportamiento más satisfactorio, ya que se vio una mejor resistencia en ambos casos por parte del sello, tanto de resistencia al esfuerzo como protección para evitar mayor agrietamiento a través del mismo. Esto es posible gracias a su propiedad de elasticidad de los mismos, en el caso del mástic asfáltico, este a la aplicación de la fuerza sufre una leve deformación en la superficie, mientras que en el caso de Sikaflex PRO-3 no sufrió ninguna deformación y menos rotura al momento del ensayo.

Tabla 3.59: Tabla de resultados de la carga resistida a flexión por los tres tipos de sellos.

Muestra Nº	Mástic asfáltico	Alquitrán	Sikaflex PRO-3
	Carga (Kg)	Carga (Kg)	Carga (Kg)
1	2550,00	1458,60	1887,00
2	2764,20	1479,00	1907,40
3	2845,80	1489,20	1968,60
4	2886,60	1540,20	1999,20
5	3070,20	1611,60	2050,20
Media	2823,36	1515,72	1962,48
Desv. stand.	189,51	61,45	66,73

Gráfica 3.22: Análisis comparativo de los tres sellos aplicados a muestras sometidas a flexión
Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3.22 obtenida a través de los resultados de la carga resistida a flexión por los tres tipos de sellos aplicados a muestras de pavimento rígido, que las muestras selladas con mejores resultados de resistencia a este tipo de esfuerzo son las muestras con sello de mástic asfáltico el cual tiene una variación de carga resistida con respecto a las muestras con sello de alquitrán de un 46,32% , asimismo presenta una variación de carga resistida con respecto a las muestras con sello de Sikaflex PRO-3 de un 30,49%, siendo que los resultados con mayor diferencia son de las muestras con sello de alquitrán, siendo este el sello más desfavorable en cuanto a este tipo de evaluación al aplicado del mismo.

3.9.1. Análisis de resultados del sellado de juntas en pavimento rígido

3.9.1.1. Análisis de resultados del sello de mástic asfáltico en muestras de pavimento rígido

3.9.1.1.1. Sello de mástic asfáltico en muestras sometidas a compresión



Figura 3.130: Muestra de pavimento rígido sellada con mástic asfáltico con rotura a compresión

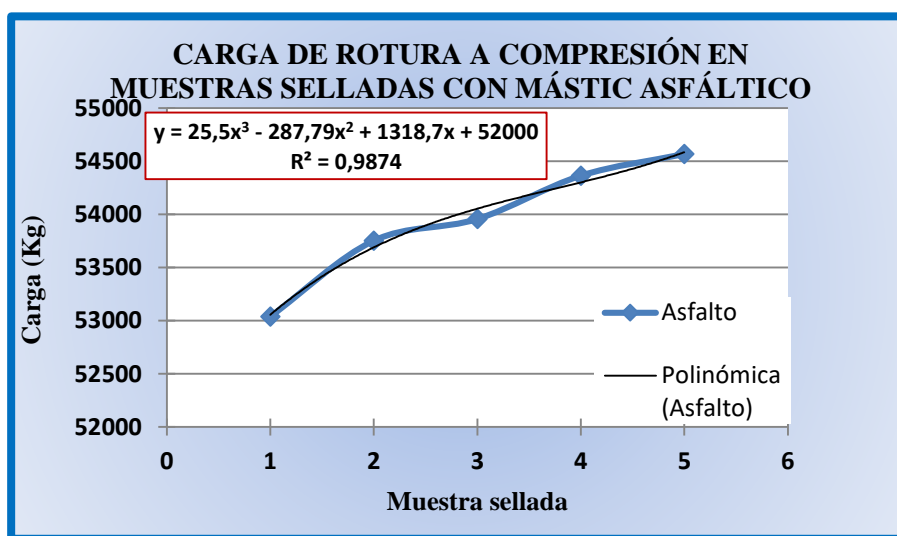
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3,130 se puede observar que la falla producida por la aplicación de la fuerza axial de compresión se da de manera paralela a la junta sellada y no así a través de ella, lo que nos indicaría el buen funcionamiento del sello, a través de su elasticidad, adherencia y compatibilidad con los elementos constructivos de este tipo de pavimento, haciendo de que a pesar de la junta este mantenga sus propiedades de resistencia, a este tipo de esfuerzo.

Tabla 3.60: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a compresión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Probetas de H°	Asfalto A1	520	53040
2	Probetas de H°	Asfalto A2	527	53754
3	Probetas de H°	Asfalto A3	529	53958
4	Probetas de H°	Asfalto A4	533	54366
5	Probetas de H°	Asfalto A5	535	54570
			Media	53937,60

Gráfica 3.23: Curva de comportamiento de muestras selladas sometidas a carga de compresión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3.23, un comportamiento de resistencia a la carga a la cual fueron sometidas las muestras selladas, con una mínima variación, demostrando que a pesar de ser el mismo tipo de muestra, con las mismas características, como así también el mismo tipo de material de sello; el comportamiento en cuanto a la resistencia de la carga que afecta la muestra sellada no es el mismo.

La carga promedio de compresión resistida por las 5 probetas con sello de mástic asfáltico es de 53917,60 kg, presentando asimismo una variación de 2,80% entre el valor mínimo respecto al valor máximo obtenido.

3.9.1.1.2. Sello de mástic asfáltico en muestras sometidas a flexión

Figura 3.131: Muestras de hormigón selladas con mástic asfáltico con rotura a flexión



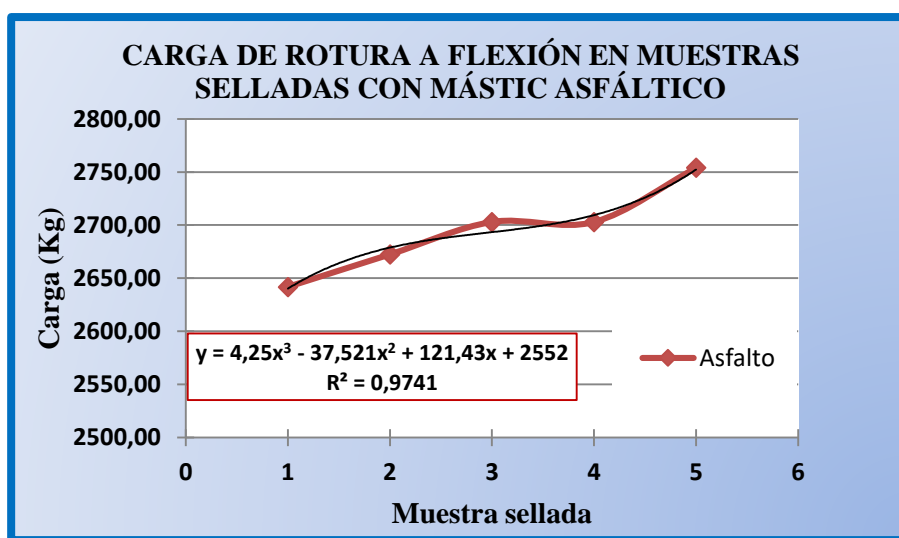
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3,131 se puede observar que el sello en la muestra sometida a una carga de flexión no sufre ningún desprendimiento o falla por adherencia, simplemente en el momento de la ruptura de la muestra, este presenta cierta resistencia estirándose hasta donde su capacidad así lo permite, para luego romperse junto con la muestra ensayada. Es oportuno resaltar que, debido a la presencia de arena en la composición del sello, esta proporciona a la muestra una capacidad de estabilidad, aunque su capacidad de elongación o estiramiento en comparación al asfalto puro, disminuye y se da el rompimiento del sello.

Tabla 3.61: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a flexión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Viga de H°	Asfalto A1	25,90	2641,80
2	Viga de H°	Asfalto A2	26,20	2672,40
3	Viga de H°	Asfalto A3	26,50	2703,00
4	Viga de H°	Asfalto A4	26,50	2703,00
5	Viga de H°	Asfalto A5	27,00	2754,00
			Media	2694,84

Gráfica 3.24: Curva de comportamiento de muestras selladas sometidas a carga de flexión



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.24 se puede observar, que las cinco muestras selladas bajo las mismas condiciones y las mismas características, no tienen un mismo comportamiento al ser sometidas a la aplicación de carga a flexión, es decir que carga de flexión a la cual es sometida es variable debido a varios factores de incidencia directa al sello, como lo es la temperatura de aplicación del material.

La carga promedio resistida por las 5 vigas de hormigón con sello de mástic asfáltico es de 2694,84 kg., y la carga soportada en las muestras ensayadas tiene una variación de 4,07% respecto del valor máximo obtenido.

3.9.1.2. Análisis de resultados del sello de alquitrán en muestras de pavimento rígido

3.9.1.2.1. Sello de alquitrán en muestras sometidas a compresión



Figura 3.132: Muestra de pavimento rígido sellada con alquitrán con rotura a compresión

Fuente: Elaboración propia

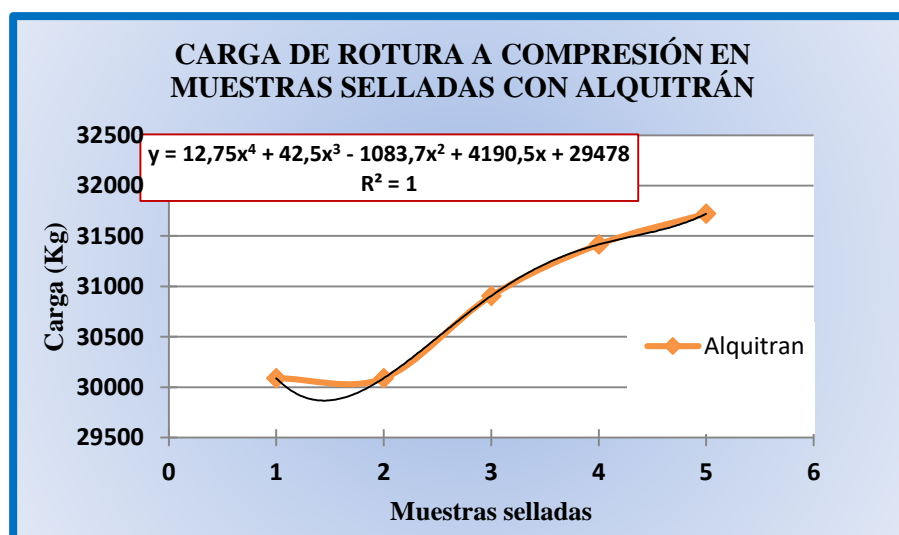
En la figura 3,132 se puede observar que la falla producida por la aplicación de la fuerza axial de compresión se da transversalmente y paralelamente a la junta sellada y no así a través de ella como en las grietas, esto hace referencia al buen funcionamiento del sello en la junta.

Tabla 3.62: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras sometidas a compresión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Probetas de H°	Alquitrán B1	295,00	30090,00
2	Probetas de H°	Alquitrán B2	295,00	30090,00
3	Probetas de H°	Alquitrán B3	303,00	30906,00
4	Probetas de H°	Alquitrán B4	308,00	31416,00
5	Probetas de H°	Alquitrán B5	311,00	31722,00
			Media	30844,80

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.25: Curva de comportamiento de las muestras selladas sometidas a carga de compresión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3,25 que la muestra sellada sometida a la carga de compresión nos da resultados variables, aunque a pesar de ser el mismo tipo de muestra, con las mismas características, como así también el mismo tipo de material de sello; el comportamiento de la carga que afecta la muestra sellada no es el mismo. La carga promedio de compresión aplicada a las 5 probetas con sello de alquitrán es de 30844,80

kg, presentando asimismo una variación de 5,14% entre el valor mínimo con respecto al valor máximo obtenido.

3.9.1.2.2. Sello de alquitrán en muestras sometidas a flexión

Figura 3.133: Muestras de hormigón selladas con alquitrán con rotura a flexión



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.113 se puede observar que el sello de alquitrán aplicado en la muestra sometida al esfuerzo de flexión, no sufre ningún desprendimiento o falla por adherencia, simplemente en el momento de la rotura, debido a sus características de fragilización en su estado sólido del mismo, este se corta inmediatamente sin ningún tipo de elongación, lo que hace más débil a la estructura de este pavimento en cuanto a su resistencia.

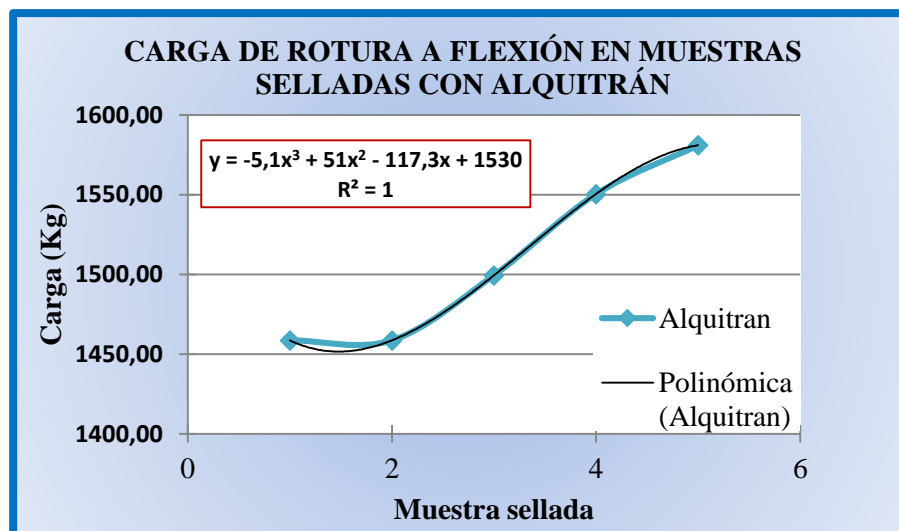
Tabla 3.63: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras

sometidas a flexión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Viga de H°	Alquitrán B1	14,30	1458,60
2	Viga de H°	Alquitrán B2	14,00	1458,60
3	Viga de H°	Alquitrán B3	14,70	1499,40
4	Viga de H°	Alquitrán B4	15,20	1550,40
5	Viga de H°	Alquitrán B5	15,50	1581,00
			Media	1509,60

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.26: Curva de comportamiento de muestras selladas sometidas a flexión



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.26 se puede observar, que las cinco muestras selladas con alquitrán, bajo las mismas condiciones y las mismas características no tienen un mismo comportamiento al ser sometidas a la aplicación de carga a flexión, es decir que la carga resistida por las muestras selladas es variable, esto debido a varios factores de

incidencia directa al sello, tales como la adecuada aplicación del material, como las características del mismo.

La carga promedio de flexión resistida por las 5 vigas de hormigón con sello de alquitrán es de 1509,60 Kg, presentando asimismo una variación del 7,74% entre el valor mínimo con respecto al valor de la carga máxima resistida.

3.9.1.3. Análisis de resultados del sello de Sikaflex PRO-3 en muestras de pavimento rígido

3.9.1.3.1. Sello de Sikaflex PRO-3 en muestras sometidas a compresión



Figura 3.134: Muestra de pavimento rígido sellada con Sikaflex PRO-3 con rotura a compresión

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.134 se puede observar que la falla producida por la aplicación de la fuerza axial de compresión en la probeta cilíndrica, se da de manera paralela y transversal a la junta sellada y no así a través de ella, la probeta ensayada se fracturó a ambos lados de la junta sellada fisurándose de manera considerable a ambos lados, pero con respecto a la zona donde contenía el sello se mantuvo intacto gracias a su propiedades de elasticidad del material sellante, lo que se indicaría que este tipo de sello aplicado a este tipo de pavimento tiene un buen funcionamiento frente a este tipo de esfuerzo, presentando una alta resistencia frente a este tipo de esfuerzo.

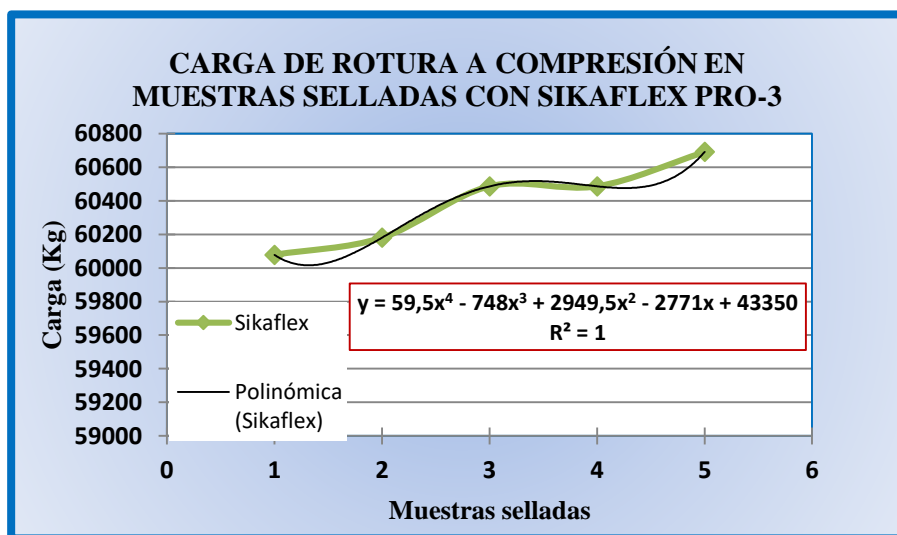
Además, se puede observar que, en la superficie, justamente en la zona donde se encuentra el sello, la carga aplicada no provocó ningún tipo de agrietamiento ni alteración en el mismo a través de la junta sellada.

Tabla 3.64: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a compresión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S1	589,00	60078,00
2	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S2	590,00	60180,00
3	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S3	593,00	60486,00
4	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S4	593,00	60486,00
5	Probetas de H°	Sikaflex PRO-3 S5	595,00	60690,00
			Media	60384,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.27: Curva de comportamiento de las muestras selladas sometidas a carga de compresión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3,27, obtenida a través de los resultados de la carga resistida por las muestras sometidas a compresión, que este tipo de material sellante frente a este tipo de esfuerzo tiene un comportamiento variable en cuanto a la

resistencia de las mismas, pese a ser el mismo tipo de muestra, con las mismas características, como así también el mismo tipo de material de sello; son varios los factores los que influyen en un buen sellado, sobre todo los que están en función de las características y la aplicación del sello.

La carga promedio de compresión resistida por las 5 probetas con sello de Sikaflex PRO-3 es de 60384 kg, presentando asimismo una variación del 1,01% entre el valor mínimo respecto al valor máximo obtenido.

3.9.1.3.2. Sello de Sikaflex PRO-3 en muestras sometidas a flexión

Figura 3.135: Muestra de pavimento rígido sellado con Sikaflex PRO-3 con rotura a flexión



Fuente: Elaboración propia

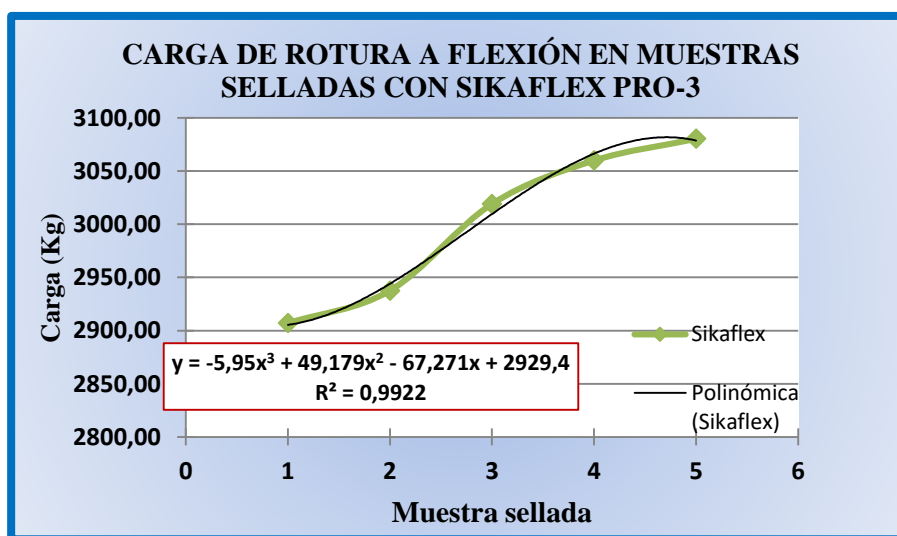
Como se puede ver en la figura 3.135, que luego de someter a la muestra sellada al ensayo de resistencia a flexión, se puede observar que en el momento de la rotura de la muestra prismática ensayada, se rompe a una determinada carga, pero el sello aplicado a pesar de la rotura de la muestra donde se hallaba adherido se mantiene intacto y no sufre daño alguno y menos la rotura del mismo, demostrando así su capacidad de adherencia y compatibilidad con este tipo de pavimento, que son características imprescindibles del sello para un buen funcionamiento del mismo.

Tabla 3.65: Tabla de resultados de la carga resistida por las muestras selladas sometidas a flexión

Muestra N°	Elemento	Identificación	Lectura (KN)	Carga (kg)
1	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S1	28,50	2907,00
2	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S2	28,80	2937,60
3	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S3	29,60	3019,20
4	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S4	30,00	3060,00
5	Viga de H°	Sikaflex PRO-3 S5	30,20	3080,40
			Media	3000,84

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.28: Curva de comportamiento de muestras selladas sometidas a flexión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3.28 obtenida a través de los resultados de la carga resistida por las muestras sometidas a flexión, que este tipo de material sellante frente a este tipo de esfuerzo tiene un comportamiento variable en cuanto a la resistencia de las mismas,

pese a ser el mismo tipo de muestra, con las mismas características, como así también el mismo tipo de material de sello; son varios los factores los que influyen en un buen sellado, sobre todo los que están en función de las características y la aplicación del sello.

La carga promedio de flexión resistida por las 5 vigas de hormigón con sello de Sikaflex PRO-3 es de 3000,84 kg, presentando asimismo una variación del 5,62% entre el valor mínimo respecto del valor máximo obtenido.

3.9.1.4. Análisis comparativo del comportamiento de los tres sellos aplicados a muestras de pavimento rígido

3.9.1.4.1. Análisis comparativo entre los tres tipos de sellos en muestras sometidas a compresión

Figura 3.136: Probetas selladas con los tres tipos de sellos estudiados con rotura a compresión



a) Mástic asfáltico

b) Alquitrán

c) Sikaflex PRO-3

Realizando un análisis visual de lo obtenido como resultado del ensayo de compresión a probetas selladas con los tres tipos de sellos diferentes, se obtiene una comparación de comportamiento de los mismos, en cuanto a la resistencia a este tipo de esfuerzo. Se

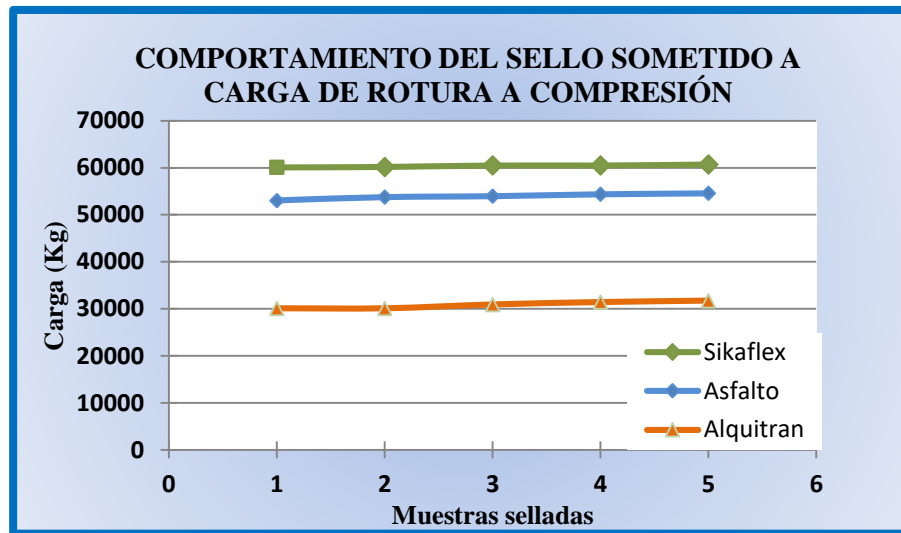
ve claramente que la muestra sellada con alquitrán es la más afectada por la carga resistida en la superficie, aunque en este caso de las juntas la falla de la muestra con sello de alquitrán no se dio a través de ella como en el caso de las grietas. Las probetas selladas con sello de Sikaflex PRO-3 tuvieron un comportamiento muy satisfactorio, en cuanto a la resistencia de la carga a compresión a través de la junta sellada, aunque en el caso del mástic asfáltico también tuvo un favorable resultado en el ensayo, con este tipo de materiales de sello se vio una mejor resistencia en ambos casos, tanto de resistencia al esfuerzo como protección para evitar mayor agrietamiento a través del mismo. Esto es posible gracias a su propiedad de elasticidad de los mismos. Estas observaciones serán verificadas a través de la siguiente tabla de resultados comparativos.

Tabla 3.66: Tabla de resultados de la carga resistida a compresión por los tres tipos de sellos.

Muestra Nº	Mástic asfáltico	Alquitrán	Sikaflex PRO-3
	Carga (Kg)	Carga (Kg)	Carga (Kg)
1	53040,00	30090,00	60078,00
2	53754,00	30090,00	60180,00
3	53958,00	30906,00	60486,00
4	54366,00	31416,00	60486,00
5	54570,00	31722,00	60690,00
Media	53937,60	30844,80	60384,00
Desv. stand.	596,50	748,15	249,85

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.29: Análisis comparativo de los tres sellos aplicados a muestras sometidas a compresión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica obtenida a través de los resultados de la carga resistida a compresión por los tres tipos de sellos aplicados a muestras de pavimento rígido, que el comportamiento de las muestras con juntas selladas, tuvieron comportamientos casi lineales en cuanto a su carga resistida en función a cada sello, el que tuvo menor variación es el sello de Sikaflex PRO3 alcanzando una considerable resistencia a la carga soportada a través de este tipo de esfuerzo.

El sellador de Sikaflex PRO-3, tiene una variación de carga resistida con respecto a las muestras con sello de alquitrán de un 48,92%, asimismo presenta una variación de carga resistida con respecto a las muestras con sello de mástic asfáltico de un 10,68%, siendo que los resultados con mayor diferencia son de las muestras con sello de alquitrán, que es el sello menos recomendable para su aplicación en el sellado de juntas.

3.9.1.4.2. Análisis comparativo entre los 3 tipos de sellos en muestras sometidas a flexión

Figura 3.137: Muestras de pavimento rígido, selladas con los tres tipos de sellos estudiados con rotura a flexión



a) Mástic asfáltico



b) Alquitrán



c) Sikaflex PRO-3

Fuente: Elaboración propia

Realizando un análisis visual de lo obtenido como resultado del ensayo de flexión a muestras prismáticas selladas con los tres tipos de sellos diferentes, se obtiene una comparación de comportamiento de los mismos, en cuanto a la resistencia a este tipo de esfuerzo. Haciendo un análisis particular de cada uno de los sellos aplicados se pudo ver que a flexión la muestra sellada se rompe provocando en el sello de mástic asfáltico una pequeña elongación del mismo hasta q se rompe manteniendo una buena adherencia con la superficie de la muestra. En el caso del sello con alquitrán este se corta inmediatamente al momento en que se da la rotura de la probeta y en el caso de las muestras con sello de Sikaflex PRO-3 el sello soporta intacto a este tipo de esfuerzo sin sufrir ningún tipo de desprendimiento ni ruptura del sello. Las probetas selladas con sello de Sikaflex PRO-3 y de mástic asfáltico tuvieron un comportamiento más

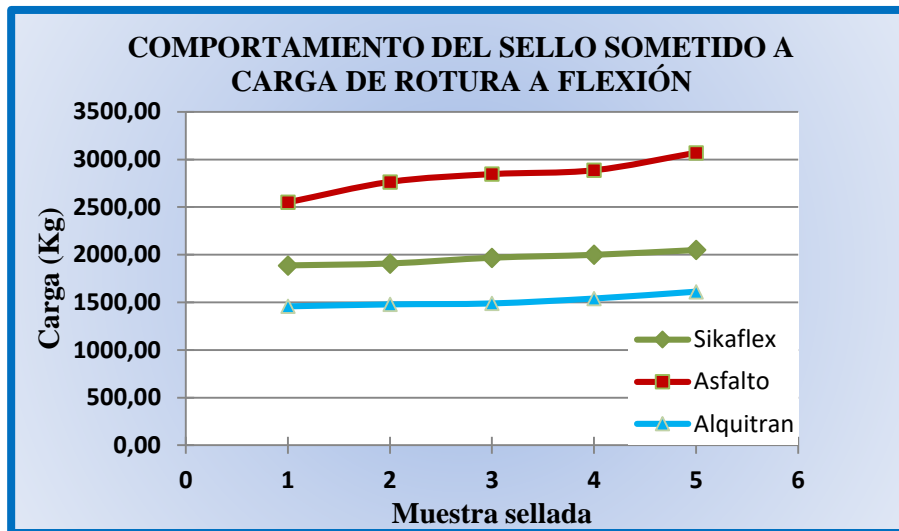
satisfactorio en función a la carga resistida, ya que se vio una mejor resistencia en ambos casos por parte del sello, tanto de resistencia al esfuerzo como protección para evitar mayor agrietamiento a través del mismo. Esto es posible gracias a su propiedad de elasticidad de los mismos, en el caso del mástic asfáltico, este a la aplicación de la fuerza sufre una leve deformación en la superficie, mientras que en el caso de Sikaflex PRO-3 no sufrió ninguna deformación y menos rotura al momento del ensayo.

Tabla 3.67: Tabla de resultados de la carga resistida a flexión por los tres tipos de sellos.

Muestra N°	Mástic asfáltico	Alquitrán	Sikaflex PRO-3
	Carga (Kg)	Carga (Kg)	Carga (Kg)
1	2641,80	1458,60	2907,00
2	2672,40	1458,60	2937,60
3	2703,00	1499,40	3019,20
4	2703,00	1550,40	3060,00
5	2754,00	1581,00	3080,40
Media	2694,84	1509,60	3000,84
Desv. stand.	41,68	54,93	15,78

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.30: Análisis comparativo de los tres sellos aplicados a muestras sometidas a flexión



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3.30 obtenida a través de los resultados de la carga resistida a flexión por los tres tipos de sellos aplicados a muestras de pavimento rígido, que las muestras selladas con mejores resultados de resistencia a este tipo de esfuerzo son las muestras con sello de Sikaflex PRO-3, el cual tiene una considerable variación de carga resistida con respecto a las muestras con sello de alquitrán de un 49,70% , asimismo presenta una variación de carga resistida con respecto a las muestras con sello de mástic asfáltico de un 10,20%, siendo que los resultados con mayor diferencia son de las muestras con sello de alquitrán, siendo este el sello más desfavorable en cuanto a este tipo de evaluación al aplicado del mismo.

3.9.4 Análisis del sello de fisuras en pavimento flexible

En pavimento flexible se emplearon 3 materiales sellantes para el sello de fisuras, los cuales fueron el mástic asfáltico, el alquitrán y el Sikaflex PRO-3.

- De acuerdo a norma ASTM D 6690 se dosificó la mezcla del mástic asfáltico para cumplir con los requisitos que la misma exige, la dosificación de 70% de cemento asfáltico y 30% de arena fina con un tamaño máximo de 1.18 mm, alcanzó satisfacer las exigencias en cuanto a su grado de dureza medida por la prueba de penetración, como así también la temperatura a la cual el sello se puede derretir y fluir a través de la fisura, la cual fue determinada por la prueba de punto de ablandamiento, con estos ensayos realizados se pudo determinar que el sello obtenido cumplía satisfactoriamente con lo requerido por norma, obteniéndose así un sello con un grado de dureza conveniente para que el mismo resista las altas temperaturas sin derretirse y fluir a través de la fisura, manteniendo la consistencia adecuada para cumplir como sellante de la fisura tratada.
- El mástic asfáltico al momento de su aplicación presentó una consistencia adecuada, la cual le permitió la fluidez para la penetración a la fisura, esto gracias a que se tuvo mucho cuidado en el control de la temperatura de aplicación, que fue de 135°C.
- El alquitrán en el momento del sellado de las fisuras tuvo la fluidez necesaria para su aplicación, alcanzada a una temperatura de 140°C, el inconveniente con este tipo de material es que sufre una rigidización demasiado pronta mientras va perdiendo esta temperatura.
- El Sikaflex PRO3 es un sellante elástico de poliuretano, que al momento de su aplicación se tuvo inconveniente en cuanto a la penetración a la fisura, ya que se trata de un material con una consistencia demasiado densa que no le permite la fluidez necesaria para penetrar en una abertura de 3 mm como lo es de una fisura, es por esta razón que este material es recomendado más para juntas debido a que se tratan de aberturas más anchas donde si es posible su penetración, pero se lo quiso analizar para ver el comportamiento del mismo aplicado a fisuras en este tipo de

pavimento, se tuvo dificultad en el colocado pero se logró introducir el material a la fisura para su posterior análisis.

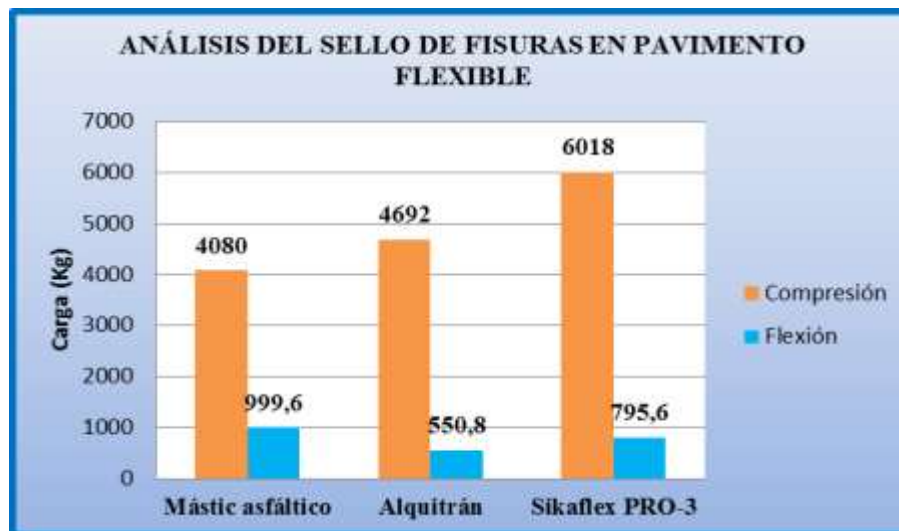
- Una vez aplicados los sellos se analizaron las muestras selladas en función a dos ensayos de evaluación, como son el de compresión y flexión, cuyos resultados en promedio son los siguientes:

Tabla 3.68: Análisis del sello de fisuras en pavimento flexible

Análisis del sello de fisuras en pavimento flexible			
	Mástic asfáltico	Alquitrán	Sikaflex PRO-3
Compresión	4080,00	4692,00	6018,00
Flexión	999,60	550,80	795,60

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.31: Análisis del sello de fisuras en pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

- En función a estos resultados obtenidos, se puede determinar que el sello de Sikaflex PRO 3 tiene una gran capacidad de resistencia de carga a la cual está sometida mayormente un pavimento, la muestra con fisura sellada con este material

es la que soportó una carga promedio de 6018 kg en cuanto al esfuerzo de compresión antes de que la muestra fallara totalmente. Lo contrario sucede con el ensayo a flexión, que según los resultados obtenidos el mástic asfáltico soportó una carga promedio de 999,6 kg, seguida por el Sikaflex PRO 3 que soportó una carga de 795,6 kg.

- En función a todo lo expuesto para el análisis de los sellos aplicados en fisuras en pavimento flexible, se puede concluir que en cuanto a resistencia a las cargas, el Sikaflex PRO3 tiene mayor capacidad, pero tiene como desventaja que es un material que no tiene la fluidez necesaria para la aplicación en las fisuras, por lo que no es factible su aplicación en este tipo de deterioro, ya que el buen funcionamiento del sellado de fisuras depende de una correcta aplicación del material sellante y si este no es penetrable en la fisura no puede darnos los resultados esperados. Por lo que se concluye que el material más adecuado para este tipo de sellado de fisuras con un ancho mayor de 3 mm es el mástic asfáltico.

3.9.5 Análisis del sello de grietas en pavimento rígido

En pavimento rígido se emplearon los 3 materiales sellantes ya mencionados, que son el mástic asfáltico, el alquitrán y el Sikaflex PRO-3.

- En el caso del mástic asfáltico se utilizó la misma dosificación para tratar tanto las fisuras en pavimentos flexibles, como las grietas y juntas en pavimentos rígidos, esto debido a que se trata de un sello con base asfáltica aplicado en caliente para el sellado de fisuras, grietas y juntas en pavimentos flexibles y rígidos, que cumple los requisitos de la norma ASTM D 6690 Tipo I.
- El mástic asfáltico al momento de su aplicación, presentó una consistencia adecuada, la cual le permitió la fluidez óptima para la penetración en la grieta tratada, esto gracias a que se tuvo mucho cuidado en el control de la temperatura de aplicación, que fue de 135°C.
- El alquitrán en el momento del sellado de las grietas tuvo la fluidez necesaria para su aplicación, alcanzada a una temperatura de 140°C, el inconveniente con este tipo

de material es que sufre una rigidización demasiado pronta mientras va perdiendo esta temperatura.

- El Sikaflex PRO-3 al momento de su aplicación se tuvo aun cierto inconveniente en cuanto a la penetración a la grieta, pues su consistencia es demasiado densa y no le permite la fluidez necesaria para penetrar en una abertura menor a los 10 mm, que es la recomendada para su aplicación como abertura mínima, como en nuestro análisis se consideraron grietas a sellar entre 3 y 10 mm, fue un poco dificultoso introducir el sello a una grieta de 8 mm que era la analizada en las muestras de laboratorio, pero se logró hacerlo, esto con el fin de analizar el comportamiento de este tipo de sello aplicado a grietas en este tipo de pavimento.
- Una vez aplicados los sellos se analizaron las muestras selladas en función a dos ensayos de evaluación, como son el de compresión y flexión, cuyos resultados en promedio son los siguientes:

Tabla 3.69: Análisis del sello de grietas en pavimento rígido

Análisis del sello de grietas en pavimento rígido			
	Mástic asfáltico	Alquitrán	Sikaflex PRO-3
Compresión	56304,00	34537,20	45471,60
Flexión	2823,36	1515,72	1962,48

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.32: Análisis del sello de grietas en pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

- En función a estos resultados obtenidos, se puede determinar que el sello de mástic asfáltico tiene una mayor capacidad de resistencia de carga a la cual está sometida mayormente un pavimento, la muestra con grieta sellada con este material es la que soportó una carga promedio de 56304 kg en cuanto al esfuerzo de compresión antes de que la muestra fallara totalmente. Lo mismo sucede con el ensayo a flexión, que según los resultados obtenidos también la muestra sellada con el mástic asfáltico es la que soportó una mayor carga promedio de 2823,36 kg, demostrando así que tiene la capacidad de resistir las cargas a las que está sometido el pavimento en cuanto a este tipo de esfuerzos.
- En función a todo lo expuesto para el análisis de los sellos aplicados en grietas en pavimento rígido, se puede concluir que en cuanto a resistencia a las cargas el sello de mástic asfáltico tiene mayor capacidad, sumado a ello se puede contribuir que este material es excelente en cuanto a adherencia y a compatibilidad con la superficie de este tipo de pavimento.
- El alquitrán no tiene la capacidad de flexibilidad que requiere un sello adecuado, pues este tiende a endurecerse en un tiempo muy rápido y al momento de hacerlo se convierte en una material duro y quebradizo sin ningún tipo de elasticidad, el

sellado en campo nos evidencio lo mismo, porque las zonas selladas con este material volvieron a fracturarse en el mismo lugar debido al paso de las cargas repetitivas de tránsito y en el caso del Sikaflex PRO-3, no cumple con la consistencia adecuada para su penetración en este tipo de deterioro a tratar.

- Por lo que se concluye que el material más adecuado para este tipo de sellado de grietas con un ancho mayor a 3mm y menor a 10 mm es el mástic asfáltico.

3.9.6 Análisis del sello de juntas en pavimento rígido

Para el sellado de juntas deterioradas en pavimento rígido se emplearon también los 3 materiales sellantes ya mencionados, que son el mástic asfáltico, el alquitrán y el Sikaflex PRO 3.

- Como ya se indicó en el caso del mástic asfáltico se utilizó la misma dosificación para tratar tanto las fisuras en pavimentos flexibles, como las grietas y juntas en pavimentos rígidos, esto debido a que se trata de un sello con base asfáltica aplicado en caliente para el sellado de fisuras grietas y juntas en pavimentos flexibles y rígidos, que cumple los requisitos de la norma ASTM D 6690 Tipo I.
- El mástic asfáltico al momento de su aplicación, presentó una consistencia adecuada, la cual le permitió la fluidez óptima para la penetración en la junta tratada, esto gracias a que se tuvo mucho cuidado en el control de la temperatura de aplicación, que fue de 135°C.
- El alquitrán en el momento del sellado de las juntas tuvo la fluidez necesaria para su aplicación, alcanzada a una temperatura de 140°C, el inconveniente con este tipo de material es que sufre una rigidización demasiado pronta mientras va perdiendo esta temperatura.
- El Sikaflex PRO3 al momento de su aplicación en el sellado de las juntas no presento ningún tipo de inconveniente pues su consistencia densa le permite la penetración adecuada en este tipo de fallas, ya que estas están en un ancho entre 10 y 30 mm, que es el rango adecuado de aplicación de este material según sus especificaciones de fabricación.

- Una vez aplicados los sellos se analizaron las muestras selladas en función a dos ensayos de evaluación, como son el de compresión y flexión, cuyos resultados en promedio son los siguientes:

Tabla 3.70: Análisis del sello de juntas en pavimento rígido

Análisis del sello de juntas en pavimento rígido			
	Mástic asfáltico	Alquitrán	Sikaflex PRO-3
Compresión	53937,60	30844,80	60384,00
Flexión	2694,84	1509,60	3000,84

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.33: Análisis del sello de juntas en pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

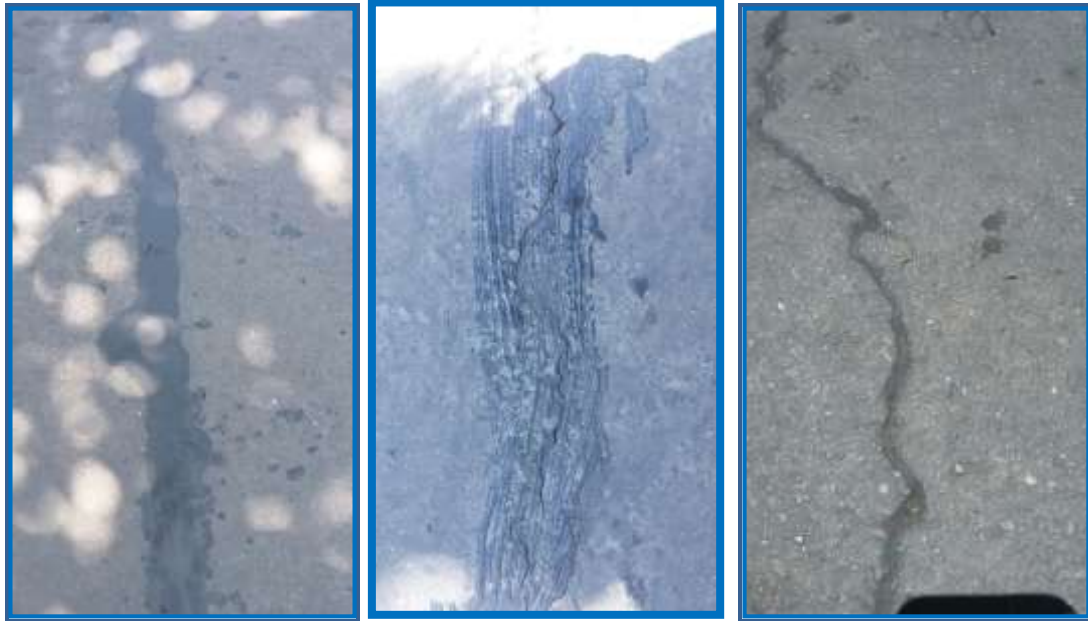
- En función a estos resultados obtenidos, se puede determinar que el sello de Sikaflex PRO3 tiene una gran capacidad de resistencia de carga a la cual está sometida mayormente un pavimento, la muestra con grieta sellada con este material

es la que soportó una carga promedio de 60384 kg en cuanto al esfuerzo de compresión antes de que la muestra fallara totalmente. Lo mismo sucede con el ensayo a flexión, que según los resultados obtenidos también la muestra sellada con el Sikaflex PRO-3 es la que soportó una mayor carga promedio de 3000,84 kg, demostrando así que tiene la capacidad de resistir las cargas a las que está sometido el pavimento en cuanto a este tipo de esfuerzos.

- En función a todo lo expuesto para el análisis de los sellos aplicados en juntas en pavimento rígido, se puede concluir que en cuanto a resistencia a las cargas el sello de Sikaflex PRO-3 tiene mayor capacidad, sumado a ello se puede contribuir que este material es excelente en cuanto a adherencia y a compatibilidad con la superficie de este tipo de pavimento. El alquitrán de acuerdo a los resultados, es el material más desfavorable como sello pues no tiene la capacidad de flexibilidad que requiere un sello adecuado, este tiende a endurecerse en un tiempo muy rápido y al momento de hacerlo se convierte en una material duro y quebradizo sin ningún tipo de elasticidad y el mástic asfáltico, también cumple como sellante de juntas pero con una menor capacidad de resistencia a las cargas en comparación con el Sikaflex PRO-3, aun así este sello cumple con las características de adherencia, compatibilidad y flexibilidad que se requiere para ser un buen sellante, aunque según la norma para juntas mayores a los 30mm se recomienda una dosificación un poco más densa con un mayor contenido de arena, para que esta tenga mayor consistencia y no se ablande ni deforme fácilmente con el aumento de temperaturas, esto en función a que estos son deterioros a sellar con un ancho mayor a los considerados anteriormente.
- Por lo que se concluye que el material más adecuado para este tipo de sellado de juntas con un ancho entre 10mm y 30 mm es el sellador Sikaflex PRO-3.

3.9.7 Análisis comparativo de comportamiento de los sellos aplicados en los tramos de estudio

Figura 3.138: Fisuras selladas en los tramos de estudio con los tres tipos de sellos



a) Mástic asfáltico

b) Alquitrán

c) Sikaflex PRO-3

Fuente: Elaboración propia

El sellado que se efectuó en los tramos de estudio donde fue posible realizarlo, tiene también conclusiones muy importantes, ya que, desde el momento de la aplicación de los materiales sellantes, se hizo un seguimiento minucioso del comportamiento del sello aplicado con el transcurso del tiempo, en el cual, en el mismo tramo bajo las mismas condiciones de temperatura, cargas de tránsito y otras situaciones a las que estuvieron expuestos tuvieron sus primeras demostraciones de comportamiento. Lo que se hizo fue sellar con los tres sellos diferentes en cada tramo a una distancia cercana entre las fisuras selladas, esto con el fin de que las condiciones a las que estuvieran sometidos o expuestos sean las mismas y así poder analizar el resultado de este tratamiento.

En las imágenes expuestas se ve claramente de qué manera se comportaron los sellos en la aplicación directa en el tramo. Se ve claramente que el sello de mástic asfáltico y

el de Sikaflex PRO-3 reaccionaron perfectamente, pues no hubo desprendimiento de sello, tampoco se ve fisuración en el mismo, ni fluidez a través de la fisura, lo contrario se ve en el sello de alquitrán aplicado, en el cual se observa claramente que no tuvo la respuesta esperada se ve la ruptura del mismo en el mismo lugar donde estaba la fisura sellada, es decir no penetró adecuadamente como debería hacerlo y debido a su estado de rigidez con la que se endurece a temperatura ambiente no soportó las cargas a las que fue expuesto y se quebró.

Esto nos respalda en los resultados obtenidos en laboratorio, donde a pesar de que se aplicó el sello completamente en la fisura al momento de someterlo al esfuerzo de compresión este falló de la misma manera quebrándose y dejando expuesta la grieta sellada.

De esta manera y con esta verificación damos como conclusión general que siempre y bajo cualquier tipo de sollicitación o esfuerzo a las que está expuesto siempre un pavimento los mejores materiales para el sellado de estas grietas es un sello con propiedades de elasticidad ya que de esa manera trabajará expuesto a diferentes cambios de temperaturas y esfuerzos de carga que no le provocarán una ruptura o un colapso inmediato.

Por lo que se establece que el material más adecuado de acuerdo al análisis en laboratorio como en los tramos de estudio, es el mástic asfáltico para el sello de fisuras y grietas en ambos tipos de pavimentos, y en el caso de las juntas de pavimento rígido es el Sikaflex PRO-3 el cual cumple con todas las exigencias para un adecuado y efectivo sellado de las mismas.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- En el presente proyecto de investigación se logró determinar a partir de un análisis del comportamiento de tres diferentes tipos de materiales sellantes, cuál de estos es el más conveniente para sellar fisuras en pavimentos flexibles y grietas y juntas en pavimentos rígidos en vías urbanas de la ciudad de Tarija, analizados y evaluados en función a sus propiedades y características técnicas.
- Los deterioros superficiales más comunes identificados en los tramos de estudio son las fisuras longitudinales y transversales en el pavimento flexible, en los tramos de pavimento rígido, se pudo evidenciar de igual manera, que los deterioros más comunes presentes en los mismos son, las grietas transversales y longitudinales como así también el deterioro y ausencia del sello en las juntas.
- Al realizar la aplicación de los sellos en muestras de laboratorio donde se generaron las fisuras, grietas y juntas a tratar, nos pudo dar una idea clara en cuanto a sus características en el momento de la aplicación, permitiendo de esa manera evaluar la fluidez, penetrabilidad en la falla, adherencia y compatibilidad del material sellante con la superficie sellada, siendo estas características muy importantes que debe cumplir dicho material para su buen funcionamiento.
- La dosificación de 70% de cemento asfáltico y 30% de arena fina para el mástic asfáltico, alcanzó a satisfacer las exigencias de la norma ASTM D 6690 Tipo I, “Especificación estándar para selladores de juntas y grietas aplicados en caliente para pavimentos de hormigón y asfalto”
- Con los ensayos de compresión y flexión a los que fueron sometidas las muestras selladas con los tres tipos de materiales sellantes, se logró verificar la resistencia mecánica de dichos materiales, evaluando la capacidad de soportar sin romperse bajo la acción de las cargas aplicadas. Además, se pudo evidenciar claramente la

penetrabilidad del material al deterioro y la adherencia con las paredes de la superficie sellada.

- La probeta con falla de fisura que soporta una mayor carga de compresión es la que está sellada con Sikaflex PRO-3, soportando una carga promedio de 6018 kg, la viga con falla de fisura que soporta una mayor carga de flexión es la que está sellada con mástic asfáltico, soportando una carga promedio de 999.6 kg.
- La probeta con falla de grieta que soporta una mayor carga de compresión es la que está sellada con mástic asfáltico, soportando una carga promedio de 56304 kg, asimismo en el ensayo de flexión la viga con falla de grieta sellada con el mismo material soporta una carga promedio de 2823.36 kg.
- La probeta con junta que soporta una mayor carga de compresión es la que está sellada con Sikaflex PRO-3 soportando una carga promedio de 60384 kg, asimismo en el ensayo de flexión la viga con junta sellada con el mismo material soporta una carga promedio de 3000.84 kg.
- En el análisis del comportamiento de los sellos aplicados en fisuras en pavimento flexible, se pudo determinar, que el material más adecuado para el sellado de fisuras con un ancho máximo de 3 mm es el mástic asfáltico, ya que cumple con las propiedades de fluidez, penetrabilidad en la fisura, flexibilidad, buena adherencia y compatibilidad con la superficie asfáltica, además de presentar una buena resistencia mecánica frente a los esfuerzos de compresión y flexión a los que fué sometido para su evaluación.
- En el análisis del comportamiento de los sellos aplicados a grietas en pavimentos rígidos, se pudo determinar, que el material más adecuado para el sellado de grietas con un ancho mayor a 3mm y menor a 10 mm es el mástic asfáltico, ya que cumple con las propiedades de fluidez, penetrabilidad en la grieta, flexibilidad, buena adherencia y compatibilidad con la superficie de hormigón. además de presentar una buena resistencia mecánica frente a los esfuerzos de compresión y flexión a los que fué sometido para su evaluación.
- En el análisis del comportamiento de los sellos aplicados a juntas en pavimentos rígidos, se pudo determinar, que el material más adecuado para el sellado de juntas

con un ancho entre 10 mm y 30 mm es el sellador Sikaflex PRO-3, ya que este material presenta características de altas resistencias mecánicas, sin romperse ni deformarse frente a las cargas a las cuales está sometido, excelente adherencia con el hormigón, penetrabilidad satisfactoria y fácil aplicación en las juntas.

- Con la aplicación de los sellos en los deterioros identificados en los tramos de estudio, se pudo verificar que el material más adecuado y con mejores resultados observados en el sello de fisuras en pavimento flexible y grietas en pavimentos rígidos es el mástic asfáltico, ya que en este tiempo de observación y seguimiento se pudo verificar que tiene una consistencia adecuada que no le permite fluir a través de la grieta frente a las altas temperaturas y tampoco sufrió ningún tipo de desprendimiento ni ruptura del mismo evidenciando así su buena adherencia, en juntas en pavimentos rígidos, el sello con mejores resultados es el Sikaflex PRO-3, ya que en el seguimiento al comportamiento del mismo se puede evidenciar que el material sellante se encuentra intacto en la superficie sellada, sin haber sido desprendido ni afectado por las cargas de tránsito, evidenciando su capacidad de elasticidad y resistencia que este presenta.

4.2. RECOMENDACIONES

- El control de temperatura de aplicación de los sellantes vertidos en caliente es de vital importancia en cuanto a la fluidez y la penetración en el deterioro de dicho material, por lo que se recomienda hacer un control estricto cuando se trabaje con ellos.
- Se debe poner un mayor empeño en lo que se refiere a la limpieza de la fisura, grieta o junta a sellar, ya que, de una buena limpieza depende una buena adherencia entre el material sellante y la superficie a sellar.
- Se recomienda no emplear materiales cuya consistencia sea demasiado densa y no penetre en los deterioros tratados, debido a que estos no penetran en los mismos y solo se quedan superficialmente y son desprendidos con facilidad.

- Es recomendable realizar una evaluación a los sellos que se preparan para esta actividad, para ver si estos cumplen con los requisitos que la norma exige para desarrollar este trabajo, de lo contrario solo sería un gasto en vano, porque si no cumple como sellante de nada sirve su aplicación en obra.
- Es importante realizar una evaluación a las fisuras, grietas o juntas deterioradas a sellar, esto con el fin de aplicar el material adecuado en el momento oportuno para su tratamiento, ya que esta, es una actividad de mantenimiento menor que solo trata deterioros superficiales y no así los estructurales.
- Para el sellado de fisuras menores o iguales a 3 mm. de ancho, se recomienda la aplicación de productos asfálticos cuya fluidez a la temperatura de aplicación especificada garantice la penetración en la fisura a tratar.
- Para el sellado de grietas con anchos mayores de 3 mm, se recomienda la aplicación de una mezcla de producto asfáltico y arena fina cuya fluidez garantice una adecuada penetración del material a la grieta a tratar.
- Es importante proporcionar un mantenimiento adecuado a los pavimentos desde el momento mismo de la puesta en servicio, es necesario que los pavimentos reciban un mantenimiento que permitirá las condiciones de operación deseadas y planeadas desde el proyecto mismo, condiciones que el usuario percibe a través del tránsito cómodo y seguro a una velocidad y en un tiempo razonable.
- Se recomienda tener conocimiento de los materiales a utilizar para cualquier tipo de tratamiento de sellado ya que de las propiedades y características de esos materiales depende el funcionamiento o no del sello.
- Es recomendable el manipuleo adecuado de los sellos aplicados en caliente, ya que son de mucho cuidado debido a las temperaturas a las que son tratados.