

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1 INTRODUCCIÓN

La vida útil y conservación de un pavimento de hormigón depende de diversos factores como el estructural, social, ambiental entre otros, una de las problemáticas más importantes en función a uso y costo de una obra civil, como el caso de vías de comunicación, es el mantenimiento de la rodadura después de su construcción, ya que es susceptible a diferentes reacciones en todo el firme de la capa de rodadura y por tal motivo está en pie día a día la investigación de nuevas tecnologías que se puedan aplicar para dar solución a los sellos del firme a través de las constantes evaluaciones de diferentes técnicas que permitan la adición de materiales como aditivos, (orgánicos, inorgánicos, químicos, siliconas, otros) y logren proporcionar resultados en base a estudios, análisis de laboratorio y comparaciones que permitan solucionar la problemática referente a los sellos y mediante estos dar solución a las fallas estructurales como las ocasionadas por la entrada de agua y la expansión y contracción en el pavimento de hormigón.

Así como las obras civiles crecen, también el ser humano evoluciona y busca técnicas que le permitan facilidades de operación y beneficios en tiempo y costo buscando estrategias de identificación y análisis según la vida útil de las rodaduras en las calles, avenidas y toda vía de comunicación directa con otros poblados.

Si bien los pavimentos de hormigón se caracterizan por experimentar una elevada vida útil con menores requisitos de conservación, luego de ser transitados por un gran número de vehículos, presentarán progresivamente una pérdida de su servicialidad, requiriendo la ejecución de tareas de mantenimiento, reparación o rehabilitación para recuperar su condición de servicio a un valor aceptable. Las tareas de mantenimiento y restauración consisten en una serie de técnicas reales, experimentales que permitan resultados en favor a controlar eficientemente en forma preventiva o correctiva el deterioro de los pavimentos y sean empleadas principalmente para lograr sellar juntas o reparar zonas con daños aislados; en lo posible, deben aplicarse tan pronto como

sea necesario y/o el deterioro empiece a manifestarse, con el objetivo de lograr extender la vida útil originalmente prevista.

De ahí nacen materiales selladores teniendo en cuenta las propiedades adherentes y de trabajabilidad en las obras civiles. Los materiales existentes en el mercado hoy por hoy cuentan con las propiedades para las aplicaciones según normativa; los selladores se encuentran dentro del rango de materiales que ofrecen un número suficiente de las propiedades requeridas, es así que contamos de forma general con dos grupos grandes como los selladores moldeados en el campo y selladores preformados, los cuales tienen diferentes aplicaciones.

Con esta tesis de evaluación de una tecnología basada en la aplicación del silicio para sellos en el pavimento de hormigón se pretende lograr resultados reales, analíticos, comparativos y según laboratorio sean aplicables en nuestra región, teniendo en cuenta que dicho pavimento puede experimentar fallas durante el periodo en servicio, debido a la interacción que existe entre la estructura, las cargas de tránsito y el ambiente al que está expuesto.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La necesidad que aflige al ingeniero civil es la construcción de una buena vía de comunicación, de tal manera que su construcción, hecho indispensable para una región debe planificarse de manera respetuosa con el medio ambiente, tratando de no afectar el éxito del rodaje, esto implica además que las vías terrestres como otras obras de ingeniería respondan a estudios previos para su localización, preparación del suelo, construcción y conservación; que deben ser cuidadosamente programados y ejecutados porque de sus resultados va a depender su funcionamiento y la vida misma de la obra. La calidad de la obra dependerá también de otros factores entre ellos, sellado de juntas, el tránsito probable, las características morfológicas, geológicas del terreno y las condiciones socioeconómicas de la zona.

En el último tiempo la construcción de vías de comunicación terrestre ha evolucionado significativamente en nuestra región, construyéndose vías pavimentadas, mejorando la

servicialidad y durabilidad para el tránsito del automotor, pero esto va también acompañado de posibles formas de fallas en la rodadura.

La evaluación, el análisis y/o la obtención de información sobre sellos es tan importante como la construcción misma de un pavimento de hormigón, ya que logra caracterizar a las juntas y fallas en las losas del pavimento desde el punto de vista de su resistencia, configuración, formación, ubicación, tipo y función. Los sellos van a funcionar cuando los movimientos de las losas causen contracción del hormigón, cambios de volumen debido al secado, cambios de temperatura, esfuerzo directo o de flexión por las cargas aplicadas, asentamiento de la losa, fisuración y agrietamiento.

Los sellados se aplican para mejorar el funcionamiento de las juntas, cuando existan y se formen agrietamientos evitando que los fluidos entren y causen daños a la estructura externa e interna sobre el que se encuentra la losa, daños por acción y congelamiento del agua, corrosión del refuerzo, evitando el ingreso de suciedad y desechos en la junta, agrietados y/o fisurados.

La evolución de materiales sellantes, los cuales servirán para dar respuestas y evitar, prevenir, reciclar materiales u otros que le afligen día a día al técnico, buscando la conservación de la rodadura de una vía de comunicación.

Como un aporte académico confiable, esta evaluación se podrá documentar en base a resultados de laboratorio, planillas, imágenes y costo. Con la aplicación del silicio a la mezcla en sellos en el pavimento de hormigón, se espera que sea un aditivo que logre beneficios de subsanación de los mismos.

El silicio en fino tiene un importante papel en las reacciones internas de la pasta de hormigón y al ser tan pequeñas sus partículas, estas actuarán como filler dentro del sello, llenando espacios vacíos haciendo que el hormigón tenga un cambio en propiedades adherentes; las cuales, se espera sean de mayor capacidad de resistencia, a la vez que brinden mayor fluidez a la mezcla e incrementen beneficios.

Este trabajo describirá la identificación de propiedades de sellos propuestos de cemento asfáltico, arena y silicio, los cuales se evaluarán desde el punto de vista de la adherencia

del sellador propuesto, en losas con fallas inducidas para evaluar los sellos, concretamente, en el pavimento de hormigón tomando en cuenta los materiales y su combinación.

Lograr resultados en función del comportamiento del cemento asfáltico a usar, adicionando arena y silicio en polvo para lograr una composición de un nuevo sellador.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Situación problemática

La incorporación de nuevas tecnologías en el sellado de pavimentos de hormigón se encuentran a la vanguardia, ya que día a día el ser humano evoluciona con la dotación e incorporación de prácticas satisfactorias para el uso de materiales aditivos en la construcción que le aporten facilidad y un manejo sostenible frente a la contaminación del medio ambiente, ingreso de fluidos, clima (variación de temperaturas), y otros por tal motivo se realizan evaluaciones, investigaciones ligadas a la dotación de materiales que aporten una solución en las obras civiles regionales. En la actualidad existe una gran problemática para controlar las deformaciones de las losas en el pavimento de hormigón, ya que juegan un papel importante los cambios de temperatura, la agresión de fluidos y otros en el manifiesto de juntas, grietas y/o fisuras.

Por lo anteriormente mencionado, se ve la necesidad de realizar la evaluación de la tecnología basada en el uso del silicio en el sellado de juntas, fisuras y grietas en las losas del pavimento de hormigón dosificadas en el laboratorio, con el fin de obtener resultados del comportamiento de sus componentes de los sellos y verificar si se logra mejorar el desempeño en el sellado de las losas del pavimento de hormigón a través del uso de este aditivo.

En consecuencia, la búsqueda permanente de encontrar una solución a los sellos en las losas del pavimento de hormigón en calles y/o carreteras de tal manera que le permita facilidades de operación, beneficio y la posibilidad de encontrar estrategias de identificación, análisis y evaluación según la vida útil de las mismas.

1.3.2 Problema

¿La incorporación de selladores, compuestos de cemento asfáltico, silicio y arena nos llevará a solucionar los deterioros en juntas, grietas y fisuras en losas de pavimento de hormigón?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Realizar la evaluación del comportamiento en los sellos asfálticos con inclusión porcentual de silicio aplicados en juntas, grietas y fisuras de losas de pavimento de hormigón, según la variación de los componentes dosificados.

1.4.2 Objetivo específicos

- Analizar y adquirir los conocimientos teóricos sobre los sellos asfálticos para juntas como elementos del pavimento de hormigón, grietas y fisuras como deterioros de las losas.
- Elaborar probetas de ensayo para aplicar carga inducida hasta la rotura y aplicar los sellos, con la dosificación propuesta a evaluar en: fisuras, grietas y juntas.
- Determinar la incidencia de la porosidad y la profundidad de la textura en las caras de los elementos fracturados.
- Describir la aplicación del material sellante a juntas, fisuras y grietas, con el propósito de evaluar su comportamiento.
- Analizar los resultados de las muestras para lograr una respuesta sobre el comportamiento del cumplimiento del objetivo general.
- Realizar costos y presupuesto de los selladores asfálticos.
- Elaborar conclusiones y recomendaciones de la evaluación sobre los sellos con adición de silicio simulados en briquetas de hormigón con fisuras, grietas y juntas con el fin de evaluar el sellador.

1.5 HIPÓTESIS

Si en pavimentos de hormigón se tiene la presencia de juntas, grietas y fisuras que generan su deterioro; entonces, se aplican selladores asfálticos a los cuales se puede incorporar porcentajes de silicio en polvo. Con esto podemos determinar el comportamiento del sello en el pavimento sobre su propiedad de resistencia a la tensión, y la trabajabilidad de los sellos asfálticos con diferentes porcentajes de silicio estudiados.

1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTE Y DEPENDIENTE

1.6.1 Variable independiente

Mezcla de sello asfáltico “Cemento asfáltico-silicio-arena

Tabla 1.1 Componente de la variable independiente

Variable	Dimensión	Indicador	Valor
Sello asfáltico	Composición de sellos asfálticos	Tamaño máximo nominal y granulometría específica de agregado, material que pasa por el tamiz N°200. Porcentaje de arena con respecto a su totalidad y la presencia de impurezas coloidales floculadas. Análisis de las características importantes del silicio en polvo.	Proporción

		<p>Cantidad de material bituminoso como ligante que corresponde a una máxima densidad y temperatura recomendada.</p> <p>Comportamiento de los sellos obtenidos a través de análisis con el aditivo.</p> <p>Comportamiento de los sellos obtenidos a través de análisis con el cemento asfáltico, aditivo y arena de la clasificadora Erika.</p>	Dosificación
	Calidad del sello asfáltico	Experimental	<p>Resistencia al desprendimiento a través de ensayos de fuerzas tensionantes.</p> <p>Trabajabilidad de los sellos en las losas.</p>

Fuente: Elaboración propia

1.6.2 Variable dependiente

Propiedades de la mezcla selladora cemento asfáltico - silicio – arena, capacidad de trabajo y adherencia del sello modificado con silicio (resistencia al corte).

Tabla 1.2 Componente de la variable dependiente

Variable	Dimensión	Indicador	Valor
Propiedades de la mezcla sellador silicio -arena-cemento asfáltico	Adherencia y trabajabilidad del ligante en los sellos.	<p>Ensayo de corte para evaluar la adherencia y trabajo de ligante entre caras de juntas, grietas y fisuras.</p> <p>Ensayo de la incidencia de la porosidad y rugosidad en las caras de las muestras ensayadas en juntas, grietas y fisuras.</p> <p>Ensayo expansivo de trabajabilidad de los selladores.</p> <p>Ensayo de recuperación elástica.</p>	<p>Resistencia al desprendimiento</p> <p>Expansión de los selladores.</p>

Fuente: Elaboración propia

1.7 DISEÑO METODOLÓGICO

1.7.1 Componentes: Unidades de estudio y decisión muestral, decisión muestral

1.7.1.1 Unidades de estudio y decisión muestral

Las unidades de estudio y decisión muestral son las siguientes:

1.7.1.2 Decisión muestral

El silicio como aditivo en los sellos del pavimento de hormigón es una alternativa que se debe evaluar sumado a un porcentaje de silicio, arena y cemento asfáltico en briquetas

elaboradas para observar el comportamiento adherente del sellado, teniendo en cuenta 18 juntas, 18 muestras de grietas, 18 muestras de fisuras.

1.7.1.2.1 Muestreo

El muestreo se realizará en 54 briquetas de pavimento de hormigón elaboradas, para dosificar sellado a juntas y briquetas inducidas a rotura, provocando grietas y fisuras; cuya acción de investigación que se realiza en los sellos, es la incorporación de silicio como aditivo para el sellado de manera que permita la evaluación del sellador a través de briquetas de pavimento de hormigón realizadas en el laboratorio. Los áridos necesarios para la dosificación de briquetas y el sello asfáltico serán provenientes de la clasificadora de la empresa Erika srl. y para el cemento asfáltico será el cemento de tipo convencional 85/100.

1.7.1.3 Población de estudio

Los sellos en el pavimento del hormigón, elementos a sellar necesariamente para evitar el ingreso de fluidos y materiales que puedan perjudicar la vida útil de la rodadura, por tal motivo se estudian tecnologías que día a día se incorporan para dar solución a las fallas en la rodadura.

1.7.1.4 Unidades de estudio

El pavimento de hormigón, estructura compuesta por capas de diferentes materiales que se construyen sobre el terreno natural, se perfila como una buena alternativa por su durabilidad, resistencia y otros para ser estudiados, analizados y evaluados por diferentes alternativas de tecnologías que eviten el deterioro acelerado. Por lo tanto, permitan que el diseño cumpla la función y durabilidad para el que fue proyectado.

1.8 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

1.8.1 Método inductivo

El método inductivo obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se trata del método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos importantes esenciales: la observación de los hechos para su registro; la clasificación y el estudio de estos hechos; la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización.

Esto supone que tras una primera etapa de observación y análisis en el pavimento de hormigón, se logra postular una hipótesis que brinda una solución al problema en los sellos de juntas, grietas y fisuras. Una forma de llevar a cabo el método es mediante la proposición, las diversas observaciones de lo experimental en el uso del silicio como un aditivo alternativo que resulte como aporte a una solución en función del resultado.

Se aplicará el método inductivo en la investigación siguiendo una revisión bibliográfica de normativas y guías sobre el pavimento de hormigón establecidas en nuestro país para realizar los ensayos de laboratorio, ya que partiendo del uso de silicio como aditivo y/o material para mejorar las propiedades de otro, estos hechos permiten las investigaciones a través de la evaluación de las mismas.

La metodología y estudios consistirá en realizar pruebas experimentales de laboratorio que ayuden a establecer de manera precisa parámetros reales, que sirvan de apoyo para corroborar resultados y realizar recomendaciones técnicas a la hora del uso del silicio como un aditivo en un sellador asfáltico propuesto para los sellos de las losas del pavimento de hormigón.

Debido a que los aditivos son usados en diferentes lugares y países, este proyecto busca establecer resultados experimentales, teniendo en cuenta las normativas establecidas.

1.8.2 Técnica empleada: Técnica de diseño experimental

El diseño experimental es un método estadístico que se aplica en investigaciones experimentales de ciencia como: la ingeniería, medicina, industria y otras. Permite conocer mejor las variables involucradas en un proceso; para ello es necesario definir las variables de entrada y variables desconocidas y luego de un proceso de dichas variables permitirá generar una variable resultado.

Con la evaluación de la tecnología basada en el uso del silicio para sellos en briquetas de pavimento de hormigón, se pretende agregar porcentajes de cantidades de materiales como cemento asfáltico, arena y silicio en polvo y formar una mezcla que se llevará a prueba a través de la cual se obtendrá resultados de adherencia de los sellos.

Con los materiales, se utilizará la técnica experimental con ensayos en el laboratorio, los mismos, permitirán los resultados para este proyecto. Entonces se realizarán 54 ensayos en laboratorio para tener una muestra representativa de esta investigación para generar los resultados necesarios.

Se realizará la caracterización y clasificación de las fallas y los ensayos respectivos en el laboratorio, considerando el material pétreo necesario, cemento asfáltico ya con la aplicación del silicio como aditivo de sellador, el requisito estará con los datos de las características de grieta, fisura y/o junta ya identificada y aplicada a evaluar resultados de laboratorio.

1.8.3 Medios e instrumento

Equipos del laboratorio de tecnología del hormigón: Tamices, brocha, cepillo, espátula, bandejas, balanzas, mezcladora, probetas, horno para secado de materiales áridos, secadora, varilla, cilindros y los equipos electrónicos necesarios.

Tamiz.- Permite definir la granulometría de los agregados pétreos.

Figura 1.1 Tamiz



Fuente: Elaboración propia

Horno de secado.- El horno de secado permite secar la muestra que sea necesaria a una temperatura indicada en el tiempo indicado.

Figura 1.2 Horno de secado



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.3 Instrumentos de laboratorio



Fuente: Elaboración propia

Equipos de caracterización del cemento asfáltico: Ductilímetro, penetrómetro, equipo para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola.

Penetrómetro.- Equipo que permite ensayar la muestra y lograr a través de ello determinar el grado de dureza del material ensayado.

Figura 1.4 Procedimiento para el ensayo de penetración



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.5 Penetrómetro



Fuente: Elaboración propia

Equipo de ensayo de punto de ablandamiento.- Mediante el ensayo determinamos el punto de ablandamiento del material asfáltico sumergido en agua y controlado a una temperatura indicada.

Figura 1.6 Equipo de ensayo de punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola



Fuente: Elaboración propia

Ductilímetro.- Equipo que permite la medida de la distancia de alargamiento de un material asfáltico antes de la rotura, elevación y o asentamiento del material.

Figura 1.7. Ensayo de ductilidad



Fuente: Elaboración propia

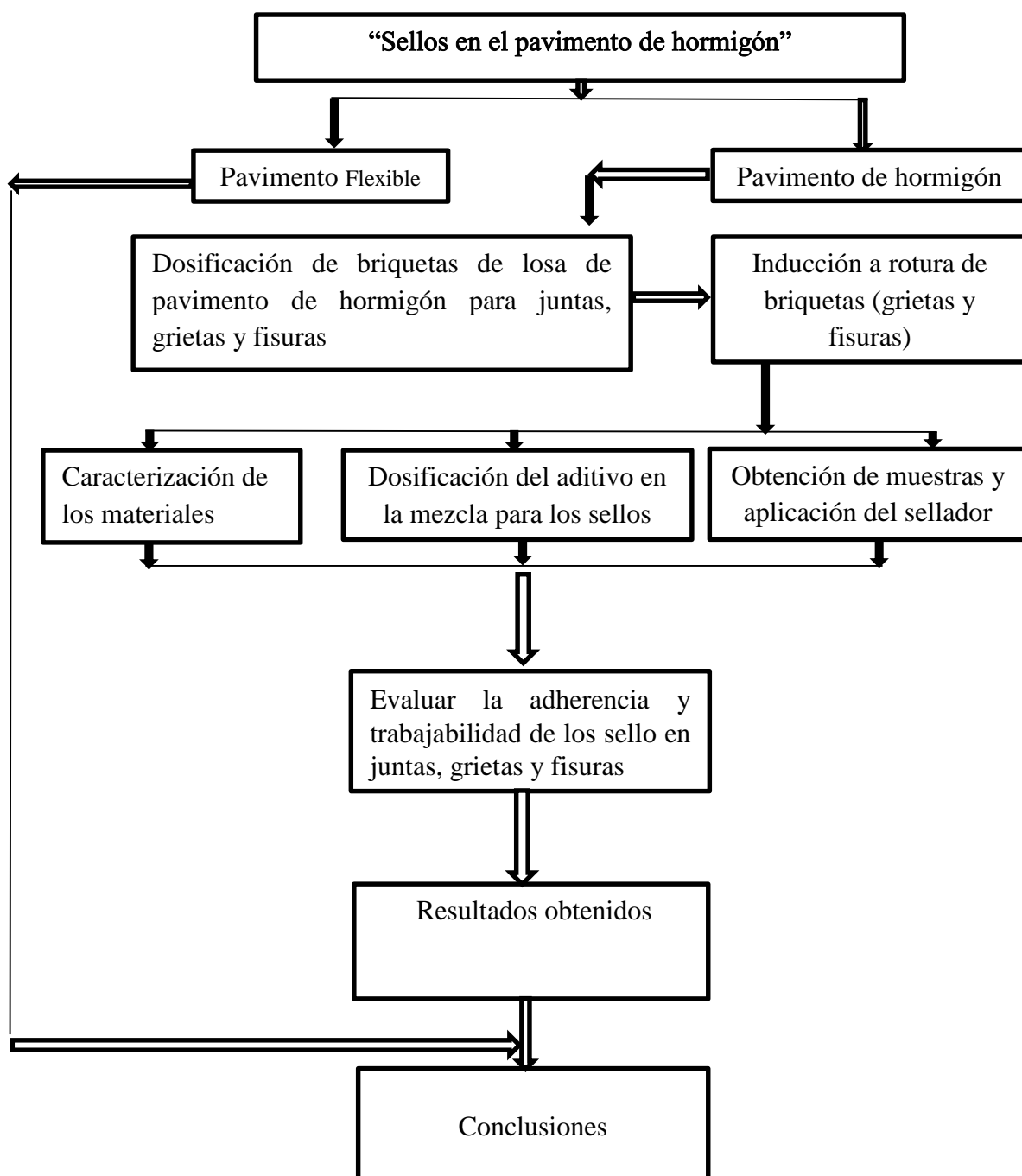
Equipo de corte directo.- Nos permite medir la fuerza de tensión y/o tracción, a través de ello la deformación directa del material ensayado.

Figura 1.8 Ensayo en equipo de corte directo



Fuente: Elaboración propia

1.8.4 Procedimiento de Aplicación



1.8.4.1 Descripción

El trabajo de investigación se basa en el estudio del comportamiento de un compuesto porcentual de cemento asfáltico, arena y silicio en polvo, propuestos como sellador a elementos como juntas y en deformaciones como grietas y fisuras de briquetas de losas de pavimento de hormigón. Así considerando que los pavimentos se clasifican en dos grupos: pavimentos flexibles y pavimentos de hormigón o rígidos, la investigación consiste en elaborar briquetas de pavimento de hormigón, frente a las fallas que estas presentan, y en esta investigación serán inducidas a rotura hasta lograr grietas y fisuras. En uso real, son causadas por el tiempo de uso, el clima, la cantidad de tráfico, la frecuencia de los vehículos que visitan y transitan en calzadas de pavimento de hormigón, entre otros factores.

El propósito principal es el estudio visual, analítico y técnico en laboratorio de la dosificación del sellador para las juntas, grietas y fisuras en las briquetas de hormigón para que a través del estudio logre desarrollar teórica y técnicamente respuestas a las razones y comportamiento de los mismos en las losas en referencia a las juntas, grietas y fisuras ya aplicado el sellador con la adición de silicio en polvo, un porcentaje de arena de la clasificadora Erika Srl.de la comunidad de Rancho Sud, comunidad cercana a la ciudad de Tarija y un porcentaje de cemento asfáltico tipo 85-100 con características especificadas de fábrica.

Ya obtenidos los elementos a ensayar, si estos fueran junta, grieta y fisura. Se elaboran 18 muestras para juntas empleando 1 % , 3 % , 6 % , 8% y 10 % de silicio, 18 muestras para grietas empleando 1 % , 3 % , 6 % , 8 % y 10 % de silicio , y 18 muestras para fisuras empleando 1 % ,3 % , 6 % , 8 % y 10 % de silicio.

Las muestras serán obtenidas para evaluar los selladores propuestos, aplicando a las losas de pavimento de hormigón y ensayarlos en el laboratorio.

Previo la aplicación del material de sellado, se seguirá los pasos para poder agregar y dosificar una mezcla de sellador que será evaluada a través del equipo de corte horizontal para medir la adherencia y trabajabilidad, ensayo de textura de porosidad y textura de caras de elementos aplicados, ensayo de elongación o expansión elástica

después de haber sido pasadas por el proceso de ser dosificadas y aplicadas con el sello propuesto.

Luego, se procederá a tallar con amoladora las partes superficiales de las fallas en las grietas y fisuras. En todos los casos, se procederá a limpiar las fallas y los bordes de las mismas con aire a presión, de modo que se deje una superficie limpia que asegure la adherencia del material de sellado.

Para el sellado, se empleará el uso de cemento asfáltico 85/100, producto que se puede obtener en nuestro medio y con el cual se realizará los ensayos necesarios del material como análisis de laboratorio si fuese necesario. La penetración, determina el grado de dureza bajo condiciones de temperatura, carga y tiempo, ensayo de adherencia, y otros que sean necesarios, el silicio de procedencia de la ciudad de Santa Cruz, arena de procedencia de la clasificadora de la empresa Erika Srl., de la ciudad de Tarija.

El producto de sellado debe ser de tal característica que permanezca adherido al material de la briqueta de hormigón. El sellado de las juntas, grietas y fisuras se efectuará con una mezcla de sello asfáltico, compuesto de arena y cemento asfáltico y a éste la adición porcentual de silicio que logre sellar juntas y fallas de las briquetas de pavimento de hormigón.

Luego de limpiar, secar y liberar de impurezas la superficie de las juntas, grietas y fisuras se procederá a sellarlas con el material sellador. En las juntas, grietas y fisuras, el material de sellado se aplicará en un ancho mínimo para asegurar que queden estancas, todas estas operaciones se efectuarán con mucha limpieza de modo que no se coloque el material en exceso; y que debe ser eliminado en caso de exceso. Finalmente, se verificará que las superficies se encuentren secas, limpias, libres de polvo o cualquier otra sustancia que perjudique la adherencia del material antes de aplicar el sellador.

1.9 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

La estadística descriptiva se realizará de 54 muestras, 18 de la cuales son de juntas, 18 de grietas y 18 de fisuras.

1.9.1 Media

Es la representación de la cantidad o valores medios de las muestras, que resulta de dividir la suma de todos los valores entre el número de estos.

Muestra 1	(x1)	Muestra 4	(x4)	Muestra 9	(x9)
		Muestra 5	(x5)	Muestra10	(x10)
Muestra 2	(x2)	Muestra 6	(x6)más	
Muestra 3	(x3)	Muestra 7	(x7)		
		Muestra 8	(x8)		

$$\text{Media}\bar{X}_j = \left(\frac{x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7 + x8 + x9 + x10 + x11 + x12 + x13 + x14 + x15 + x16 + x17 + x18}{18} \right)$$

$$\text{Media}\bar{X}_g = \left(\frac{x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7 + x8 + x9 + x10 + x11 + x12 + x13 + x14 + x15 + x16 + x17 + x18}{18} \right)$$

$$\text{Media}\bar{X}_f = \left(\frac{x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7 + x8 + x9 + x10 + x11 + x12 + x13 + x14 + x15 + x16 + x17 + x18}{18} \right)$$

1.10 ALCANCE

Con el presente documento se quiere evaluar el comportamiento de sellador asfáltico con el uso del silicio de forma porcentual específica como aditivo en el sellado de juntas, grietas y fisuras en briquetas elaboradas en el laboratorio. Estas se definirán teniendo en cuenta como muestra 54 datos, de los cuales a 3 se adicionara cemento asfáltico diluido 85-100, con adición de arena propuesta, 18 muestras serán de juntas, 18 de grietas, y 18 muestras de fisuras, con las que se pretende realizar una evaluación con características de adicionar un elemento mineral de fábrica, como lo es el silicio en polvo en la composición de un sellador propuesto para la evaluación. Como sellador de juntas, grietas y fisuras en las briquetas elaboradas de pavimento de hormigón y a través de ensayos de laboratorio se lograrán resultados y las conclusiones, tomando en consideración la adherencia y la trabajabilidad en los sellos.

Además, se espera que el sellador con el silicio, más arena regional, propiamente de la clasificadora Erika Srl. para las fallas ensayadas, tenga una influencia tal, que se logren resultados favorables, y que a través de ello el silicio sea considerado como una

alternativa positiva que brinde un elemento más, como aditivo de aplicabilidad para la sanación de los sellos en las losas del pavimento de hormigón.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN Y LOS SELLOS

2.1 CONSIDERACIONES EN EL PAVIMENTO DE HORMIGÓN

Según Gonzales (1979), las grandes obras civiles de infraestructura como vías terrestres, presas, puertos, fundaciones, canalizaciones, etc., son preponderantes dentro de la vida económica de un país, de ahí la necesidad de mejorar sistemáticamente el nivel de conocimientos teóricos y prácticos de las técnicas de la ingeniería civil.

El tráfico actual, la capacidad de carga, la velocidad de tránsito, el número de sus repeticiones, la servicialidad, etc., han hecho que las técnicas de construcción de pavimentos hayan surgido y evolucionado rápidamente, con una definida tendencia a adquirir cada vez mejores bases teóricas que refuercen, justifiquen y permitan aplicar mejores criterios a la construcción de vías pavimentadas.

El pavimento de hormigón es la capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una vía, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de los vehículos. Como función instructiva, un pavimento tiene la finalidad de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que esta no se deforme de manera perjudicial.

También el Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (2012), señala que colocar juntas en pavimentos de hormigón es necesario para el control de fisuración y agrietamiento por contracción, cambios de temperatura, humedad y otros que se puedan presentar. Es necesario modular el pavimento con dimensiones prácticas que favorezcan al proceso constructivo, por otra parte la presencia de juntas constituye una interrupción estructural necesaria en la losa de hormigón.

El agrietamiento debido a la contracción del hormigón ocurre a muy temprana edad, como consecuencia de cambios de temperatura durante los procesos de hidratación, fraguado y otras consideraciones, así como por la pérdida de agua por evaporación, esta contracción no ocurre libremente, puesto que se encuentra restringida por las fuerzas de fricción desarrolladas entre las superficies en contacto con la losa y la subbase, lo que

genera esfuerzos de tensión en el hormigón que provocan fisuración transversal en el pavimento.

La separación y el ancho de las fisuras transversales dependen, entre otras cosas, del tipo de material de la capa de apoyo. Cuando se tienen subbases rígidas, el patrón de agrietamiento se presenta con separaciones cortas y poco anchas, mientras que en subbases granulares se presentan separaciones mayores, aunque con mayor ancho.

La fisuración también puede ocurrir a edades mayores cuando el hormigón ya se encuentra endurecido, como consecuencia de gradientes térmicos y de humedad, debido a los cuales las losas experimentan alabeos, con cambios de forma y curvatura sensibles en el transcurso del día y de la noche. Los agrietamientos térmicos modifican el sentido de la curvatura de las losas, pasando de cóncavo durante la noche a convexo hacia abajo durante el día.

2.1.1 Geología, morfología

La geología es la ciencia que se ocupa del estudio de la tierra. Es decir, trata de la composición, la estructura, la historia y la evolución del planeta donde habita el hombre para una explotación racional de los recursos minerales, fuentes de energía, como el gas, el petróleo, uso adecuado de los suelos y recursos naturales; es imprescindible conocer la estructura de la corteza terrestre, porque nos ayudará a resolver problemas, economizar recursos y salvar vidas.

De igual modo, el conocimiento de las estructuras geológicas proporciona conocimientos muy útiles sobre los movimientos sísmicos, las erupciones volcánicas, deslizamientos, contaminación ambiental, prospección, exploración y explotación de aguas subterráneas para uso doméstico e industrial.

La geología y el estudio del suelo se aplican en las construcciones de vías de comunicación (carreteras, puentes, ferrocarril, aeropuerto, autopistas, puertos, calles, avenidas, túneles, etc.) y otros. Finalmente desde el punto de vista geológico se recomienda, que para evitar las deformaciones impuestas a los suelos por una carga adicional, la masa de tierra que rodea a cualquier obra civil debe ser considerada como parte de la estructura.

2.1.2 Hidráulica e hidrogeología

La hidráulica estudia el enfoque en el diseño y operación de las obras civiles para el aprovechamiento del recurso, a ello se adhiere la hidrogeología ciencia ligada al estudio del movimiento del agua en el subsuelo, su enfoque es en el estudio, la planificación y la cuantificación del recurso hídrico.

Las características hidráulicas e hidrogeológicas de nuestro país dan lugar a la existencia de problemas complejos en materia de drenaje superficial y subterráneo aplicado a vías, debido al carácter muy aleatorio de las múltiples variables (hidrológico – hidráulico, geológico – geotécnico) de análisis que entran en juego e intervienen en proyección, diseño, construcción y sobretodo mantenimiento de vías interurbanas.

2.1.3 Topografía

Es la ciencia que estudia el conjunto de métodos, principios y/o procedimientos que tienen por objeto mediante el uso de instrumentos necesarios de mucha precisión, la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y detalles tanto naturales como artificiales. Esta representación tiene lugar sobre superficies planas.

Las tareas de la topografía son previas y/o durante un proyecto, el cual debe contar con un levantamiento planimétrico y altimétrico del terreno.

El diseño geométrico de carreteras es la técnica de ingeniería civil que consiste en situar el trazado de una carretera o calle en el terreno. Los condicionantes para situar una carretera sobre la superficie son muchos, entre ellos la topografía del terreno, la geología, el medio ambiente, la hidrología o factores sociales y urbanísticos. El primer paso para el trazado de una carretera es un estudio de viabilidad que determine el perfil donde podría situarse la mejor opción de trazado de la vía. Generalmente se estudia varias opciones y se estima cuál puede ser el coste ambiental, económico o social de la construcción de la carretera. Una vez elegido un perfil se determina el trazado exacto, minimizando el coste total en el proyecto de construcción.

2.2 PAVIMENTO DE HORMIGÓN

Benavides B. C. A. (2006), denomina pavimento al conjunto de capas de material seleccionado cuya función es recibir las cargas directas del tránsito y transmitir las a las capas inferiores en forma disipada y al mismo tiempo proveer de una superficie de rodamiento estable.

Entre los tipos de pavimentos, se distingue bien el pavimento de hormigón (hormigón de cemento portland en la capa de rodadura), se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el pavimento flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas. En los pavimentos de hormigón, la losa absorbe las cargas por flexión y solamente transmite una pequeña fracción de las mismas a los estratos inferiores, siendo la mayor virtud del hormigón, además de su elevada resistencia a compresión, su rigidez, o lo que es lo mismo, su excelente respuesta elástica. El dimensionamiento no se basa en la falla de la subrasante (como ocurre con un pavimento flexible), sino en la resistencia del hormigón a flexotracción. Los pavimentos al ser constituidos por una losa de concreto hidráulico de gran rigidez, la cual está apoyada sobre una capa de material seleccionado (Sub-base granular) o sobre la sub-rasante, en el caso de que sea granular; la transmisión de esfuerzos al terreno de soporte, se produce mediante un mecanismo de distribución de tensiones.

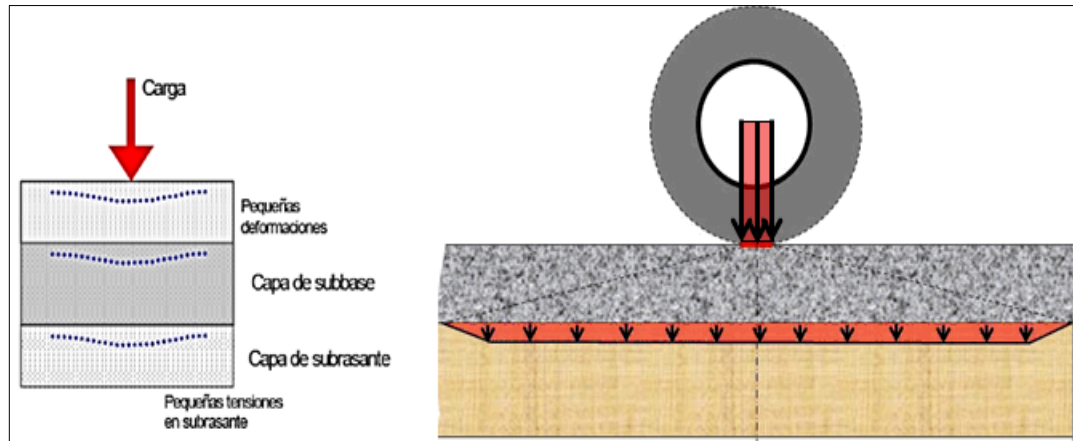
La losa, es el elemento encargado de dar el aporte estructural del pavimento.

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 2.1 Mecanismo de distribución de esfuerzos en pavimentos rígidos



Fuente: Altamirano Kauffmann L. F.(2007),Recuperado de deterioro de pavimentos rígidos

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de servicialidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

2.2.1 Procedimiento constructivo del pavimento de hormigón

Luego de la selección del material de uso en la losa del pavimentado, se procede a los trabajos de construcción en los cuales las actividades a tomar en cuenta en la construcción del pavimento de hormigón son las siguientes:

- Señalización y seguridad en la vía (iluminación, señalización protección personal).

- Tendido de líneas guía de la extendedora.

- Colocación y anclaje de los pasadores de carga (dovelas).

- Tendido del concreto y ensayos de control de calidad.

- Flotado y allanado de la superficie.

- Limpieza superficial y humedecimiento.

Cepillado transversal de la superficie.

Colocación de antievaporador y curador de la superficie de concreto.

Corte de las juntas transversales.

Sello de juntas.

2.2.2 Dosificación, mezclado y colocación del pavimento de hormigón

Para producir una mezcla de consistencia adecuada, las proporciones deben ser correctamente ajustadas para la humedad de los agregados. El peso inicial de los materiales en la mezcladora debe tener una secuencia tal que minimice los apelmazamientos (grumos, bolas) del material de la mezcla. Los camiones revolvedores para ayudar a la descarga deberán tener más abiertas las aperturas; o bien, los canalones deberán ser lo más ancho posible dando un revestimiento de cero. Las unidades descargarán por la parte de atrás y la parte de enfrente deberá estar lo más elevado posible para ayudar a la descarga. El uso de un aditivo retardante / reductor de agua ayudará en las operaciones de colocación provocando que el fraguado inicial de mezcla sea más tardío cuando se manejen grandes tiempos en la colocación. Durante la transportación el producto se mezclará a una baja velocidad. La descarga de la mezcla deberá completarse una hora después de que se haya agregado el agua a la mezcla. Un ambiente con alta temperatura provocara un efecto directo en el fraguado inicial por lo que se deberá tener cierto cuidado. De acuerdo con la experiencia, se dice que este tipo de concreto no se recomienda para bombeo, dado que no es práctico.

Los procedimientos de colocación adecuados son muy importantes porque conducen a un buen desempeño del pavimento. También, es necesario que se cuente con gente experimentada en ese campo. La descarga del material deberá ser lo más rápida posible y continúa, si llega a ser interrumpida, la mezcla permanecerá en el canalón, la cual tendrá que removerse y ser depositada en el piso.

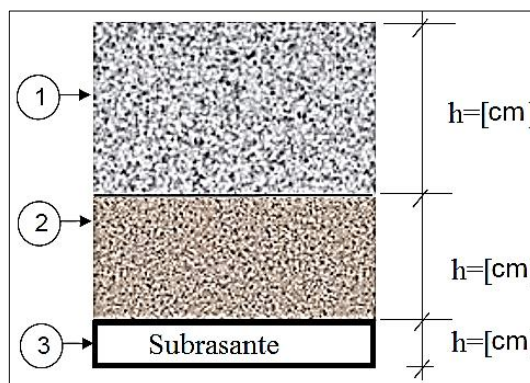
2.3 COMPONENTES DEL PAVIMENTO DE HORMIGÓN

2.3.1 Subrasante

Según Altamirano L. F. (2007), la subrasante es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar

formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante, mientras que el manual de la administradora boliviana de carreteras en su volumen 4 define a la subrasante como el plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las sollicitaciones que genere el tránsito. Sobre la subrasante se construye el pavimento y las bermas.

Figura 2.2 Identificación de la capa subrasante



Fuente: Revista de InterCemen,(2016),recuperada de diseño y construcción de pavimentos de hormigón

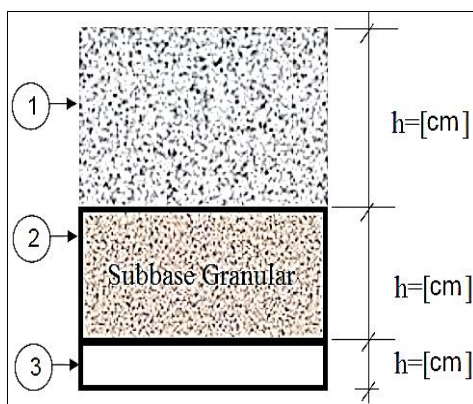
2.3.2 Subbase granular

Altamirano L. F.(2007), define a la capa subbase granular, como la capa de la estructura del pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase.

La subbase granular debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento, controla el fenómeno del bombeo, sirve como transición, proporciona apoyo uniforme y estable en el tiempo a la losa de concreto; se controla

mediante el análisis de erosión, durante el diseño de la estructura. También, es utilizada como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura del pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada y el Manual de la Administradora Boliviana de Carreteras en su Volumen 4 define, a la subbase granular como la capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la subrasante y la base.

Figura 2.3 Identificación de la capa subbase granular



Fuente: Revista de InterCemen,(2016),recuperada de diseño y construcción de pavimentos de hormigón

2.3.3 Superficie de rodadura

Es la capa superior de la estructura del pavimento apoyada directamente sobre una base o sub – base y suma del conjunto de capas de material seleccionado cuya función es recibir las cargas directas del tránsito y transmitir las a las capas inferiores en forma disipada. Debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basa su capacidad portante en la losa, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Al mismo tiempo, ésta provee una superficie de rodamiento estable e impermeabiliza la estructura del pavimento, aunque su tratamiento debe ser muy estricto en el procedimiento de sellado de juntas.

Las ventajas de un pavimento de hormigón radican en:

Velocidad en su construcción.

Mayor vida útil con alto índice de servicio.

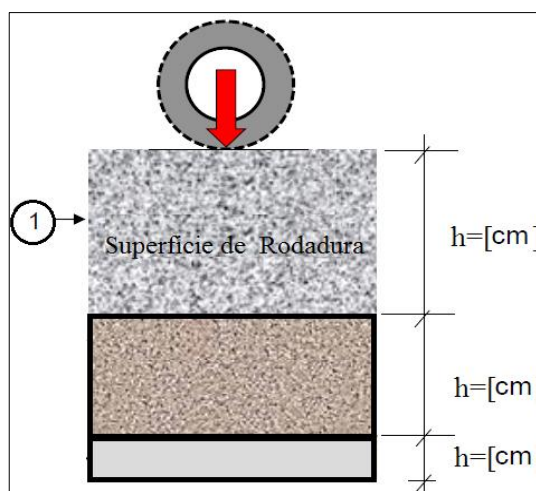
Mantenimiento mínimo.

No se deforma ni deteriora con el tiempo.

Requiere menor estructura de soporte.

“Para la elaboración de un pavimento de hormigón es primordial contar con materiales de la más alta calidad que garanticen su durabilidad y perfecto funcionamiento”

Figura 2.4 Identificación de la superficie de rodadura



Fuente: Revista de InterCemen,(2016),recuperada de diseño y construcción de pavimentos de hormigón

2.3.3.1 Espesor de losa

La guía AASHTO (1993), dice que el espesor de losa en diversos tipos de pavimentos de concreto pueden ser clasificados, en orden de menor a mayor según costo inicial, y de diferentes espesores como:

Pavimentos de concreto simple.

Sin pasadores.

Con pasadores.

Pavimentos de concreto reforzado con juntas.

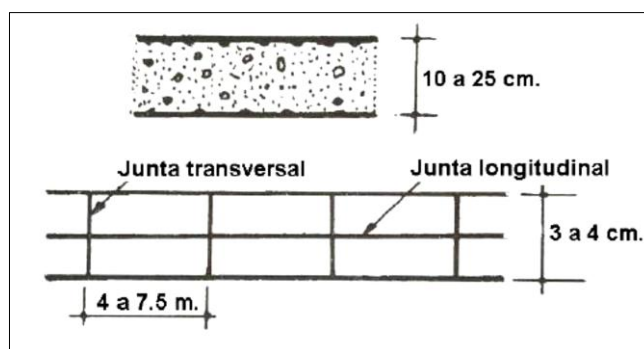
Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.

Los del tipo de pavimentos de concreto simple, sin pasadores son pavimentos que no presentan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas, esto se logra a

través de la trabazón (interlock) de los agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas aserradas o formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto. Por ejemplo, para calles de urbanizaciones residenciales, éstos varían entre 10 y 15 cm, en las denominadas colectoras entre 15 y 17 cm. En carreteras, se obtienen espesores de 16 cm., en aeropistas y autopistas 20 cm o más.

Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoya directamente sobre la subrasante.

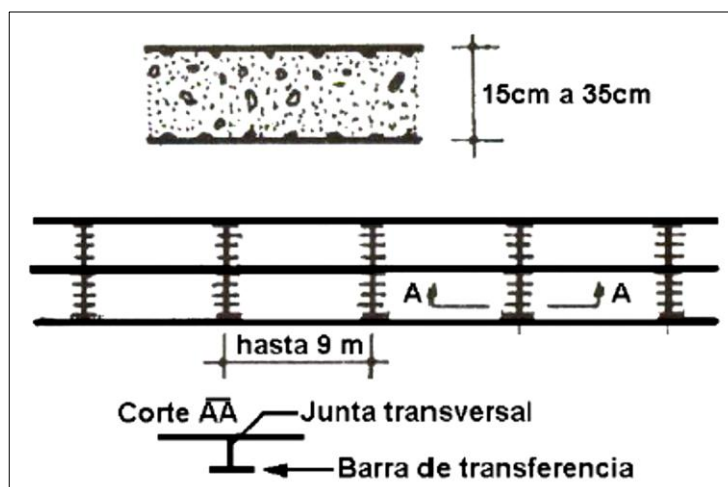
Figura 2.5 Pavimento de concreto simple sin pasadores



Fuente: AASHTO (1993), recuperado de la revista, diseño de estructuras de pavimentos. Los pavimentos con pasadores (dowels) son pequeñas barras de acero liso, que se colocan en la sección transversal del pavimento, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de deformación en las juntas. De esta manera, se evitan los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamientos).

Este tipo de pavimento es recomendable para tráfico diario que exceda los 500 ESALs (ejes simples equivalentes), con espesores de 15 cm o más.

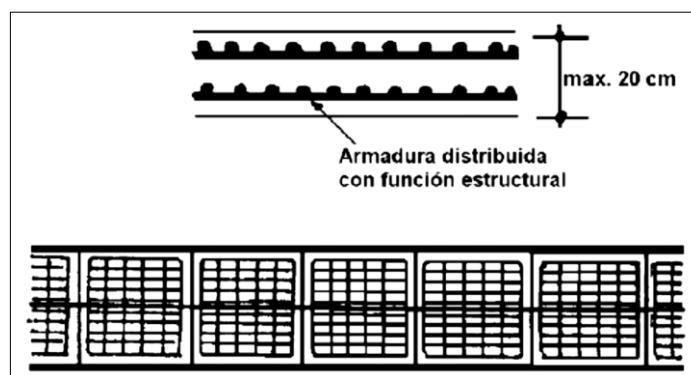
Figura 2.6 Pavimento de concreto simple con pasadores



Fuente: AASHTO (1993), recuperado de la revista, diseño de estructuras de pavimentos

Los pavimentos reforzados con juntas contienen además del refuerzo, pasadores para la transferencia de carga en las juntas de contracción. Este refuerzo puede ser en forma de mallas de barras de acero o acero electrosoldado. El objetivo de la armadura es mantener las grietas que puedan llegar a formarse, bien unidas con el fin de permitir una buena transferencia de cargas y de esta manera conseguir que el pavimento se comporte como una unidad estructural.

Figura 2.7 Pavimento de concreto reforzados con juntas

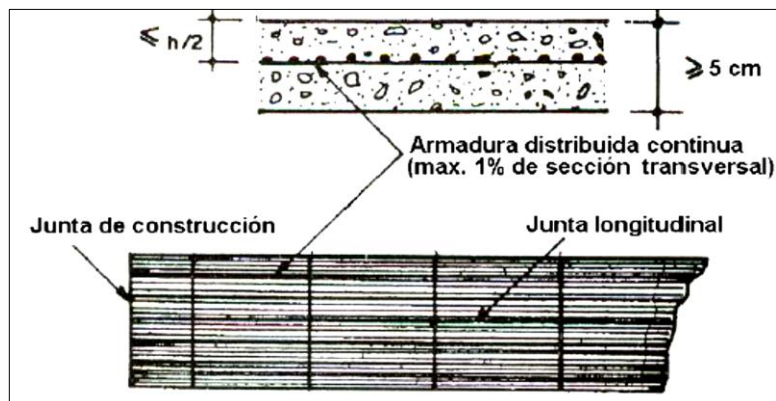


Fuente: AASHTO (1993), recuperado de la revista, Diseño de Estructuras de Pavimentos

A diferencia de los pavimentos de concreto reforzado con juntas, los pavimentos de concreto con refuerzo continuo se construyen sin juntas de contracción, debido a que el refuerzo asume todas las deformaciones, específicamente las de temperatura. El refuerzo

principal es el acero longitudinal, el cual se coloca a lo largo de toda la longitud del pavimento. El refuerzo transversal puede no ser requerido para este tipo de pavimentos.

Figura 2.8 Pavimento con refuerzo continuo



Fuente: AASHTO (1993), recuperado de la revista, Diseño de estructuras de pavimentos

2.4 JUNTAS

El Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (2012), define: que la función de las juntas consiste en mantener las tensiones de la losa provocadas por la contracción y expansión del pavimento dentro de los valores admisibles del concreto; o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas losas.

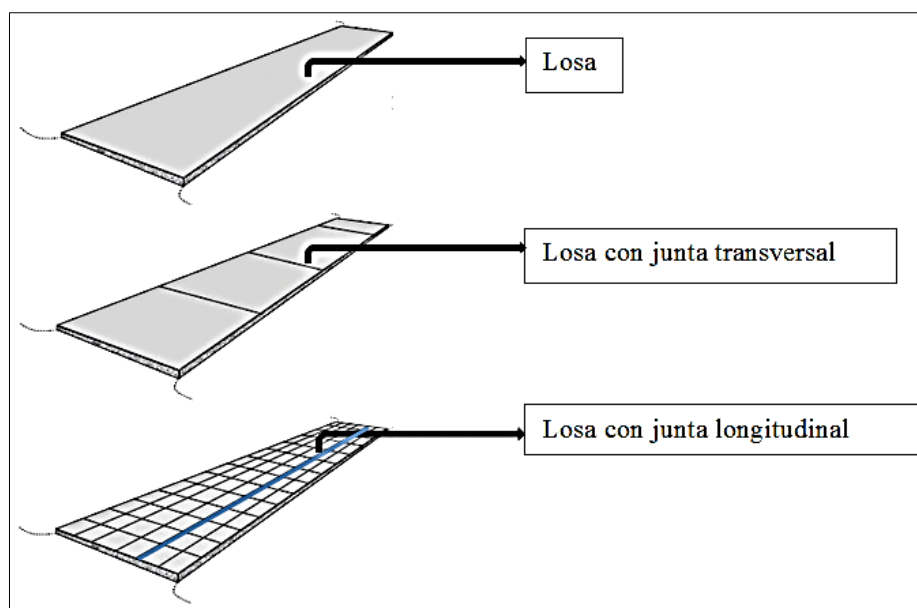
Son muy importantes para garantizar la duración de la estructura, siendo una de las pautas para calificar la bondad de un pavimento. Por otro lado, deben ser rellenadas con materiales apropiados, utilizando técnicas constructivas específicas. En consecuencia, la conservación y oportuna reparación de las fallas en las juntas es decisivas para la vida útil de un pavimento.

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 juntas de dilatación o aislamiento, juntas de contracción y juntas de construcción.

Su finalidad es evitar que las grietas inducidas por secado, temperatura y cambios en el contenido de agua se presenten de manera desordenada, sin patrones geométricos.

El propósito del sello de juntas es detener la entrada de fluidos y de los materiales incompresibles dentro de la junta. Es imposible mantener una junta aislada del agua. Sin embargo, el sello debe ser capaz de minimizar la cantidad de agua que entre por la junta, con lo cual se reducirán las fisuras causadas por la humedad y otros. Los materiales incompresibles deben mantenerse fuera de la junta, ya que éstos impiden el desarrollo adecuado de la contracción y expansión del hormigón.

Figura 2.9 Losa tipo de pavimento de hormigón



Fuente: Diseño y construcción de pavimentos de hormigón (2012)

También la revista IMCYC de juntas en la construcción de concreto ACI – 224. 2R – 95 indica que los sistemas adecuados de junteo para pavimentos de concreto aseguran la capacidad estructural y la calidad de conducción, por lo tanto, recomiendan para juntas en pavimentos de concreto, espesores de 12.5 a 22.5 cm para lotes de estacionamiento, de 12.5 a 20 cm para calles de ciudad y espesores de 20 a 25 cm para pavimentos de carreteras.

Una losa de pavimento es restringida por la base y su peso propio, las grietas pueden ocurrir en pavimentos de concreto como resultado de la restricción por contracción de secado, o por un descenso de temperatura, estas grietas pueden aparecer durante los primeros pocos días del curado. El agrietamiento también puede ocurrir producido por

las cargas del tráfico, ocasionalmente, la expansión excesiva de una losa de pavimento, producido por la elevación de temperatura puede causar “ampliaciones”. Esto sucede cuando las juntas originales son rellenadas con desechos, y/o, el pavimento ha crecido en longitud.

Un diferencial de temperatura a través del espesor de la losa causará que esta se alabee. Los diferenciales máximos positivos de temperatura para losas de 15 a 22.5 cm de espesor se aproximan de $0.05 \text{ }^{\circ}\text{C/mm}$ del espesor de la losa. En el calor de la tarde la losa se calienta en la superficie y enfría en la base, de manera que los bordes de la losa tenderán a torcerse hacia abajo. El peso del concreto tenderá a mantener la losa en su posición original con el resultado de que los esfuerzos de tensión por flexión sean inducidos en la base de la losa. La aplicación de una carga externa en esta fase causará esfuerzos adicionales de tensión por flexión. Estos esfuerzos de tensión pueden causar grietas transversales y longitudinales que comiencen en la parte inferior de la losa. Las grietas longitudinales se deben en general a alabeo, deformación, cambio de temperatura y pérdida de humedad.

Los cambios en la humedad y los cambios volumétricos resultantes en la subbase o base, así como el bombeo (eyección de agua y materiales) pueden causar esfuerzos adicionales en la losa que aumenten el agrietamiento. Para minimizar y controlar el agrietamiento en los pavimentos rígidos o de hormigón se utilizan juntas transversales y longitudinales en losas reforzadas y no reforzadas. Estas juntas deberán ser capaces de abrirse y cerrarse y transferir cargas entre las losas adyacentes.

Las juntas deberán construirse correctamente, sellarse, y mantenerse. Una construcción incorrecta, tal como corte de última hora, o profundidad inadecuada de corte, pueden causar agrietamiento por contracción longitudinal y transversal en el pavimento en ubicaciones distintas a la junta, permitirá la filtración de agua e incompresibles que causarán bombeo (eyección de agua o materiales), erosión, y pérdida de soporte en la base. Ello, puede provocar una falla del pavimento.

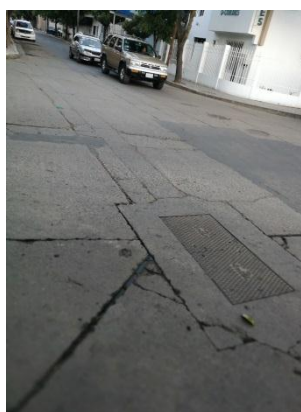
Las juntas en el pavimento de hormigón pueden dividirse según la función deseada en tres grupos básicos usuales: contracción, aislamiento o expansión y de construcción. Las

juntas longitudinales como casos especiales de juntas de contracción/construcción también se reconocen en la construcción de pavimentos. Ellas permiten una acción tipo bisagra y controlan los efectos de la deformación.

2.4.1 Diseño de juntas

El Instituto Colombiano de Productores de Cemento (2016), recuperado en la revista digital LOMA NEGRA, señala que en las losas que conforman un pavimento se dan esfuerzos como consecuencia del paso de los vehículos y de los movimientos de contracción y dilatación del concreto y también las diferencias en la temperatura local o en la humedad entre la cara superficial y la de soporte de la losa, estos esfuerzos se controlan con el diseño de las juntas.

Figura 2.10 Sistema de losas



Fuente: Elaboración propia

Así mismo Morales R.A.X. (2006), Control de Calidad en el Material Sellante para Juntas en Pavimentos de Concreto Hidráulico, tesis de graduación en ingeniera civil aprobada, Universidad de San Carlos de Guatemala, define a las juntas como detalles constructivos que controlan las grietas longitudinales y transversales surgidas de los efectos combinados de la retracción por secado del concreto, causadas por los cambios de temperatura y humedad, la fricción entre la losa y la base, debido a las cargas aplicadas por el tránsito y de las características propias del concreto.

La función de las juntas es permitir los movimientos de la losa, mantener la transferencia de cargas deseables, dividir el pavimento en tramos lógicos para la construcción y proveer una caja para el material de sello.

Figura 2.11 División de juntas en calles de pavimento de hormigón



Fuente: Elaboración propia

2.4.1.1 Junta longitudinal

El Instituto boliviano del cemento y el hormigón (2012), definen a la junta longitudinal como aquellos elementos constructivos que van paralelos al eje central de la vía, controlando la fisuración y en algunos casos delineado las líneas de tráfico. Cuando se realiza el vaciado en una sola pasada de dos o más carriles, la transferencia de carga generalmente se produce por la trabazón mecánica de los agregados que se origina en la junta después del corte; sin embargo, se recomienda además el colocado de barras corrugadas, diseñadas en base a las recomendaciones de la guía de diseño con la que se esté trabajando.

También la revista IMCYC de juntas en la construcción de concreto ACI – 224. 2R – 95 dice que las juntas longitudinales se utilizan en carreteras, para controlar el agrietamiento a lo largo de la línea central del pavimento.

El tipo de junta, depende principalmente del método de colocación de las losas de hormigón. Si se utiliza la construcción de un carril a la vez, las juntas machimbradas se construyen generalmente con anclas para asegurar la transferencia de cargas (figura 2.15 e). En la construcción de dos carriles la junta longitudinal ranurada es la más conveniente. Las barras de anclaje son espaciadas aproximadamente cada 1 m para mantener el amarre del agregado. Ver el ACPaA (1991) sobre las recomendaciones específicas para el espaciamiento de las barras de amarre. Las barras de amarre deberán

estar ancladas firmemente para evitar movimiento. Algunos estados utilizan barras de amarre con ganchos en las juntas longitudinales. Las barras de amarre pueden colocarse en el hormigón plástico antes del acabado final y la colocación de la junta ranurada. En algunos casos, las juntas han sido formadas colocando material fibroso impregnado a lo largo de la línea central. Este material se deja en el concreto y forma una parte integral de la junta de deformación. Sin embargo, este tipo de junta causa problemas de fuerte astillamiento y agrietamiento, consecuentemente no es recomendable.

Figura 2.12 Junta longitudinal en la calle de pavimento de hormigón



Fuente: Elaboración propia

2.4.1.2 Junta transversal

Son juntas construidas transversalmente al eje central de la vía y espaciadas para controlar la fisuración transversal de la losa. Se han realizado estudios que han demostrado que el espesor del pavimento, rigidez de la base y el clima, afectan la máxima separación esperada entre juntas transversales.

Figura 2.13 Junta transversal



Fuente: Elaboración propia

Otras investigaciones indican también que hay una relación general entre la longitud de la losa (L) con el radio de rigidez relativa (ρ) y la fisuración transversal. El radio de

rigidez relativa es un término definido por Westergaard que cuantifica la relación entre la rigidez de la fundación y la rigidez de la losa. El radio de rigidez relativa tiene una dimensión lineal y es determinado por la siguiente ecuación de cálculo del radio de rigidez relativa

$$\rho = \left[\frac{E * h^3}{12 * K * (1 - \mu^2)} \right]^{0.25}$$

Dónde:

ρ = Radio de rigidez relativa (pulgadas)

E = Módulo de elasticidad del hormigón (psi)

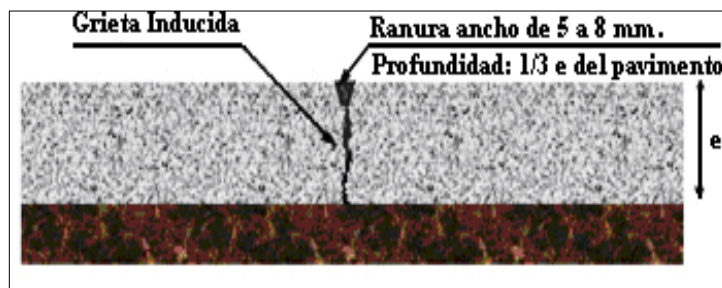
h = Espesor del pavimento (pulgadas)

μ = Relación de Poisson del pavimento

k = Módulo de reacción de la subrasante (pci)

Según investigaciones, se indica un incremento en la fisuración transversal cuando el radio L/ρ excede 5.00. Usando el criterio de que el máximo radio L/ρ es de 5.00, el espacio de juntas disponible se incrementaría con el espesor de la losa, pero disminuiría con el incremento de las condiciones de soporte de la fundación.

Figura 2.14 Junta transversal de contracción/ construcción



Fuente: Lineamientos generales para el diseño geométrico de juntas (2012)

El intervalo de juntas se diseña para evitar fisuras transversales intermedias, usualmente, el espacio entre juntas no debe ser mayor a 24 veces el espesor de la losa. Es importante

también mantener las losas lo más cuadradas posibles. El espaciamiento entre juntas transversales tampoco debe exceder en 1.25 al ancho de la losa.

Cuando se diseñan barras pasajuntas, la norma AASHTO (1993), recuperado de la revista, Diseño de Estructuras de Pavimentos, recomienda usar barras de diámetro igual o mayor a 1/8 del espesor de la losa. La longitud de estas barras varía entre 40 a 45 cm. Las pasajuntas se colocan a la mitad del espesor de la losa, con espaciamiento de 30 cm entre ejes de barra, colocándose la primera a 15 cm de la orilla de la losa. Estas varillas deben recubrirse con materiales que eviten su adherencia con el hormigón y que las protejan contra la corrosión. Se debe tener un especial cuidado con el alineamiento, pequeñas desviaciones entre los extremos de la barra, ya sea en sentido vertical u horizontal respecto a su dirección teórica que debe ser paralela al eje del pavimento, puesto que pueden ocasionar agrietamientos.

2.4.2 Clasificación de juntas según la función que cumple

Las juntas en los pavimentos tienen diferentes funciones y según ellas se pueden clasificar en juntas de contracción, de alabeo, de construcción y de expansión o aislamiento y según su alineación, en longitudinales y transversales.

2.4.2.1 Juntas de contracción o retracción

Las cuales se diseñan para controlar los movimientos de contracción y dilatación y las tensiones que generan, producidos por los cambios de temperatura, humedad y fricción. Ejercen al mismo tiempo un control sobre las fisuras que ocasionan estas tensiones. Las juntas de contracción pueden ser transversales o longitudinales. Y según el aporte del Instituto colombiano de productores de cemento, describe a las juntas de contracción como las juntas que se hacen para liberar los esfuerzos que se desarrollan, en las primeras horas después de construido el pavimento, cuando el concreto sufre contracciones mientras se seca y enfría.

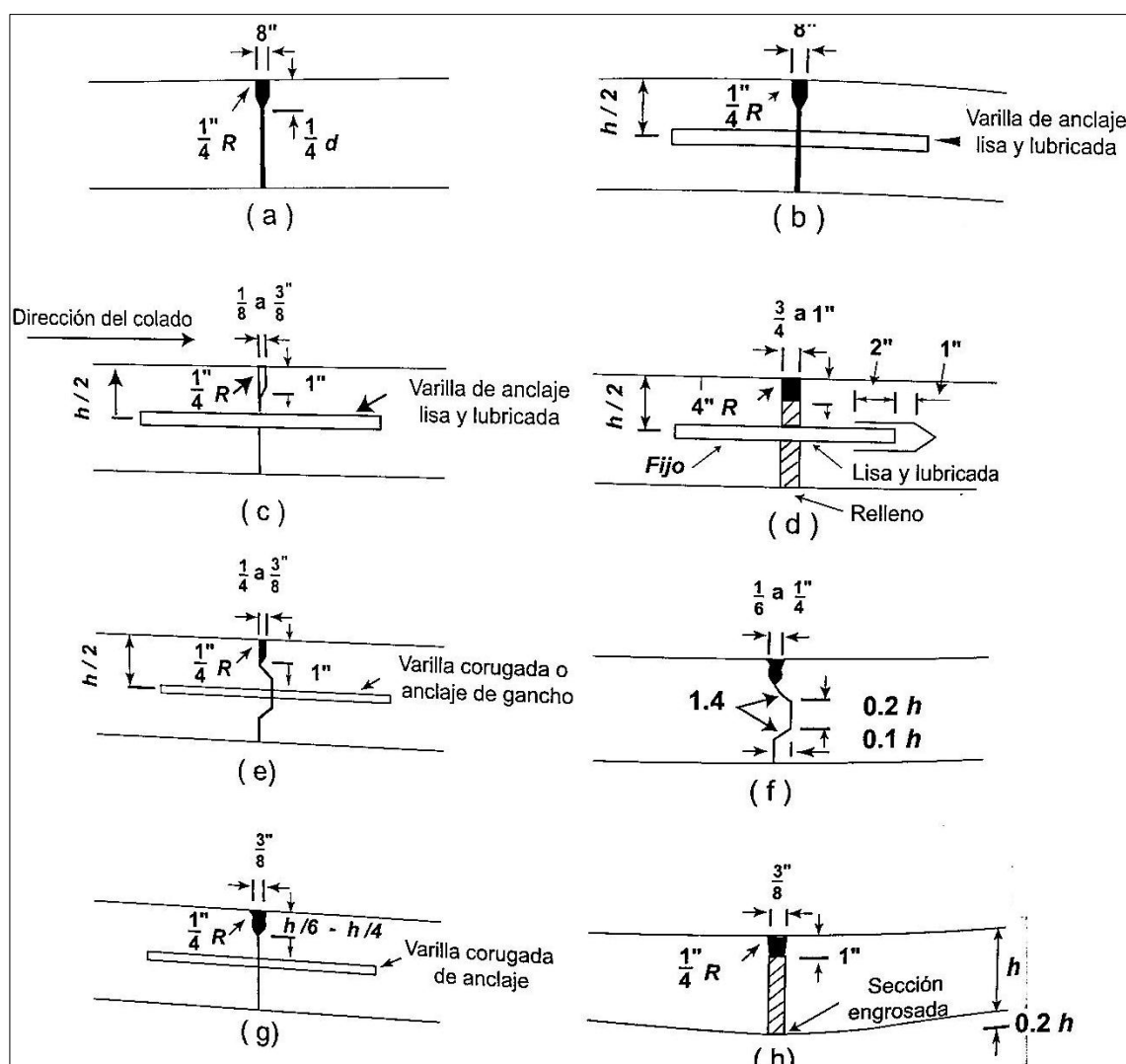
Estas juntas se hacen cortando el concreto, después de que pasan dos horas de haber terminado las labores de enrasado, nivelado y rayado, pero antes de pasadas 12 horas, si el corte se va a realizar con equipos de aserrado dotados de discos adiamantados. El momento del corte depende de la conjugación de muchas variables, sobretodo del

contenido de cemento, las temperaturas del concreto y ambiente durante la construcción del pavimento, la calidad de los agregados y la fricción de la losa con su soporte.

Las juntas también se pueden cortar mientras el concreto está fresco cuando se trata de obras con bajo nivel de tránsito, con velocidad de circulación restringida o en aquellas vías en las que la regularidad superficial no sea un parámetro de gran importancia.

El espaciamiento de estas fisuras, llamadas de retracción o contracción, oscila entre 15 y 40 m, según las características del concreto, la fricción de la losa con su apoyo y las condiciones climáticas durante la construcción del pavimento y apenas termina ésta.

Figura 2.15 Juntas de pavimento



Fuente: Revista IMCYC (2013)

También la revista IMCYC (2013) de juntas en la construcción de concreto ACI – 224. 2R – 95 describe a las juntas de contracción las cuales son juntas transversales cuya función es aliviar los esfuerzos de tensión resultantes de la contracción y alabeo del concreto. No se intenta con ellas aliviar los efectos de grandes expansiones, sin embargo, los pavimentos no se expanden en un volumen mayor que cuando el concreto es colocado, de manera que estas juntas puedan absorber los movimientos requeridos. En juntas convencionales de ranura para contracción (figura 2.15 a y figura 2.15 b), una ranura de por lo menos $\frac{1}{4}$ del espesor de la losa, (o por lo menos $\frac{1}{3}$ del espesor de la losa para pavimentos construidos en base estabilizada, de acuerdo con pCA 1992a) es cortado o formado en la superficie del pavimento para forzar a que las grietas ocurran en la ubicación de la junta. Para ranuras cortadas, el concreto es aserrado tan pronto como sea posible después del colocado. El aserrado es retrasado hasta que el concreto no se desmiembre. Las ranuras transversales se cortan primero. De acuerdo a la Asociación Americana de pavimentos de Concreto (APCaA 1991), las juntas de contracción en espacios de 20 a 25 m pueden cortarse primero en algunos casos. El corte inicial debe ser por lo menos de 3 mm de ancho, para crear una junta funcional, las juntas pueden volverse a cortar y a ensanchar más tarde para crear un depósito sellador adecuado. Para ranuras formadas, una tira de metal o fibra se coloca durante el colocado del concreto y se retira en cuanto se completa el fraguado inicial. La ranura generalmente se sella más tarde.

Las observaciones del comportamiento de pavimentos simples de concreto existentes han mostrado que el espaciamiento de estas juntas no debe ser mayor a 24 veces el espesor de la losa (generalmente 21 veces para bases estabilizadas, y 24 veces para no estabilizadas), y no más de 6 m, independientemente del espesor. El ACPaA (1991) recomienda que el espaciamiento de juntas de contracción para pavimentos reforzados no exceda de 9 m.

La transferencia de cargas en la junta de contracción como se muestra en la figura 15 (a), se logra por el engranaje del agregado de la porción inferior agrietada de la losa. Para asegurar un engranaje del agregado, es necesario el mantenimiento de la junta para tenerla libre de desechos. El PCA (1991 a) recomienda que el espaciamiento de juntas

transversales para pavimentos simples de hormigón no exceda 4.5 cm cuando el engranaje del agregado proporcione transferencia de carga en las juntas. La transferencia de cargas del engranaje agregado no es siempre eficiente. Para cargas más pesadas y para más de 80 a 120 semitráilers por carril, las pasajuntas se colocan a través de la junta para mejorar la transferencia de cargas como se muestra en la figura 15 (b).

Las pasajuntas generalmente son de diseño estándar que varía según practicas locales o regionales. Se espacian generalmente a 30 cm y se colocan a media profundidad de la losa. Puesto que las losas se mueven en relación una contra otra, en forma perpendicular a la junta. Es necesario que las barras sean alineadas adecuadamente dentro de ± 8 mm para un anclaje de 40 cm, de la longitud del anclaje y lisas y recubiertas en por lo menos un lado de la junta, para permitirle libertad de movimiento. La adherencia, el doblaje, o un mal alineamiento de las barras provocan restricción, complican la función adecuada de la junta, y pueden provocar un agrietamiento prematuro o astillamiento. Durante la construcción, canastas prefabricadas (figura 2.16) distribuyen a las barras y las sostienen en su lugar durante la colocación del hormigón y contienen el extremo recubierto de la varilla en camisas a prueba de mortero; los insertadores de las pasajuntas también se utilizan en pavimentos con cimbras deslizantes.

Las pasajuntas usuales en la práctica corriente son cilíndricas de acero lisas. En el pasado se utilizaron varios tamaños y formas. Las barras cuadradas (figura 2.17 a) fueron reexaminadas. Otra aproximación propuesta es el uso de una placa continua de metal o tira, en algún lugar de pasajuntas discretos. Las varillas cuadradas podrían permitir una transferencia total de cargas en las caras superior e inferior, si se utiliza material adecuado en los lados. Reduciría la restricción por contracción y el movimiento térmico entre losas adyacentes, (figura 2.17 b) que resultaría de los anclajes, o generalmente de las pasajuntas.

Los anclajes pueden ser recubiertos de lubricante con base en parafina, emulsiones de asfalto, aceite de cimbra, o grasa, para evitar la adherencia al hormigón. Los herrajes deben tener una vida útil igual a la del pavimento. Muchos departamentos de carreteras requieren pasajuntas recubiertos de epoxi y canastas de anclaje. Algunos usan pasajuntas con un revestimiento inoxidable. En el pasado, las pasajuntas variaban en diámetro de

1” a 2” (25 a 50 mm), y para carreteras se usaba de 1 ¼ “ a 2 “ (30 a 40 mm) de diámetro para losas mayores de 21.5 cm de espesor. Las recomendaciones de la PCA (1992 a) para pasajuntas en calles de ciudad y pavimentos de carreteras se describen en la tabla2.1

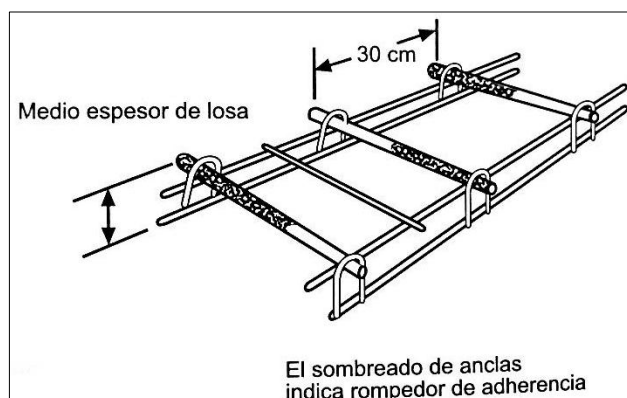
El PCA (1992a, 1992b) también recomienda que las juntas de contracción sean esriajadas, o que se ajuste al espaciamiento de paneles, de manera que estas no caigan dentro de 1.5 m de canales o cubetas colección o registros. Las juntas sesgadas de contracción también se utilizan en algunos pavimentos de carreteras para reducir los esfuerzos de la transferencia de cargas, porque cada rueda de un eje cruza la junta independientemente. Para pavimento de calles, la falla en continuar las juntas transversales de contracción de pavimento a través de la guarnición y canal, es probable que cause agrietamiento en la guarnición (y en el canal) adyacentes a la junta del pavimento.

Tabla 2.1 Pasajuntas para estacionamientos, calles de ciudad y carreteras

Uso	Espesor de losa	Diámetro de pasajuntas	Empotramiento del pasajunta	Longitud total del pasajunta
Pavimento	mm	mm	mm	mm
Estacionamiento ACI 330 R	125	15	125	300
	150	20	150	350
	175	25	150	350
	200	25	150	350
	225	30	180	400
Calles de ciudad (PCA 1992) pavimentos reforzados junteados con espaciamientos de juntas mayores a 20 pies (6 m)	150	20	125	360
	165	22	125	360
	180	25	150	400
	190	28	180	400
	225	32	200	430
Carreteras (ACP a 1991)	250	30	190	450
	250	40	225	500

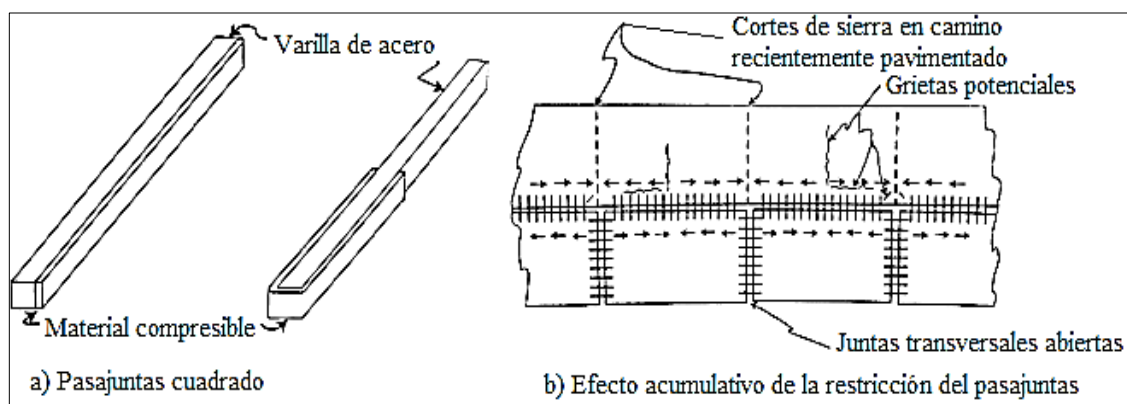
Fuente: Revista IMCYC (2013)

Figura 2.16 Ensamble de pasajuntas



Fuente: Revista IMCYC (2013), recuperado de Gustaferrero 1980

Figura 2.17 Ensamblaje de pasajuntas



Fuente: Revista IMCYC (2013)

2.4.2.2 Juntas de alabeo

El concreto se puede agrietar si se ve sometido a cambios diferenciales en la humedad y en la temperatura. En un día caluroso, la superficie del pavimento tiene mayor temperatura que su apoyo, obligando a las losas a levantarse en el centro y a apoyarse en los extremos, lo que produce esfuerzos que pueden generar fisuras; en la noche, el fenómeno se invierte y los esfuerzos de tracción se desarrollan en la cara inferior del pavimento.

Los gradientes de humedad también inducen esfuerzos en el pavimento, pero de menor magnitud y casi siempre opuestos a los generados por los gradientes térmicos; esto se

debe a que una mayor temperatura, en condiciones normales, va acompañada, de un menor contenido de humedad. Las fisuras inducidas en el pavimento por los gradientes térmicos y por la retracción del concreto, son características propias del comportamiento del material, e inevitables, por lo cual el diseño de las juntas está orientado, a controlar la dirección y aparición descontrolada de dichas fisuras.

Pero se ha comprobado, por medio de la observación de antiguos pavimentos construidos con juntas muy separadas entre sí, que las fisuras por ello generadas, llamadas de alabeo, tienen una separación que oscila entre 4.50 y 6.00 m y se localizan intercaladas entre las de contracción.

Figura 2.18 Losa en estado ideal y con elementos alabeados por temperatura



Fuente: Revista de InterCemen (2016), recuperado de diseño y construcción de pavimentos de hormigón

2.4.2.3 Juntas de construcción

Son aquellas que se construyen por razones constructivas, pueden ser transversales o longitudinales.

Figura 2.19 Junta transversal de construcción



Fuente: Elaboración propia

Las juntas de construcción se colocan en los lugares donde ha concluido la jornada de trabajo; separan áreas de concreto colocado en distintos momentos. En las losas para pavimentos, las juntas de construcción comúnmente se alinean con las juntas de control o de separación, y funcionan también como estas últimas.

Figura 2.20 Trabajos en junta transversal de construcción

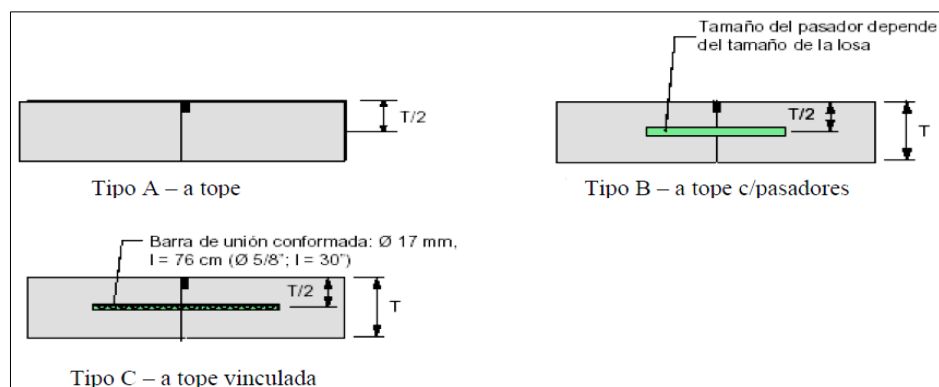


Fuente: AASHTO (1993), recuperado de la revista diseño de estructuras de pavimentos

También, las juntas de construcción separan construcciones contiguas colocadas en diferentes momentos, tales como la colocación al final del día o entre fajas de pavimentación. La transferencia de cargas se logra mediante el empleo de pasadores.

Pueden ser transversales o longitudinales. En la (figura 2.20) se observa las consideraciones de construcción según el método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.

Figura 2.21 Tipos de juntas de construcción



Fuente: AASHTO (1993), recuperado de la revista diseño de estructuras de pavimentos

Las juntas transversales de construcción se ejecutan al final de cada jornada de trabajo, o cuando por alguna contingencia se debe suspender el vaciado del hormigón, también debido a necesidades del proyecto, por ejemplo en los cambios de pendiente, en el ingreso a puentes, etc.

Figura 2.22. Junta transversal de construcción



Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (2006), recuperado de

Lineamientos Generales para el Diseño Geométrico de Juntas

El mecanismo de transferencia de carga en la junta transversal entre losa y losa se lleva a efecto con dispositivos de transferencia de carga (pasadores de varilla lisa de acero). Los

dispositivos de transferencia de carga, trabazón de agregados y la presencia de bermas de concreto tienen efecto sobre el valor esfuerzo deformación.

Además de las juntas longitudinales descritas, se presentan juntas de construcción transversales, cuando se suspenden las labores de colocación del concreto, bien sea por la finalización de la jornada laboral, por alguna interrupción en el suministro del material o por averías en alguno de los equipos empleados para su producción, transporte o colocación.

Pero esa interrupción debe ser tan larga como para que el concreto ya colocado haya alcanzado su fraguado final. El tiempo en que esto sucede depende de las propiedades del concreto, del empleo o no de aditivos retardadores y de las condiciones climáticas.

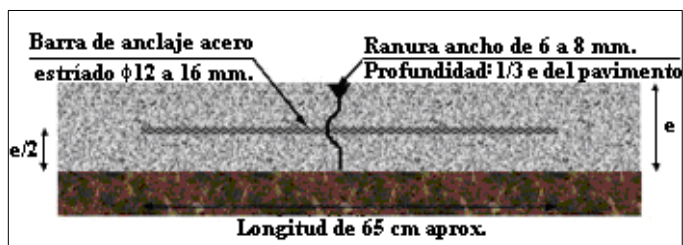
Figura 2.23 Junta transversal de construcción



Fuente: Elaboración propia

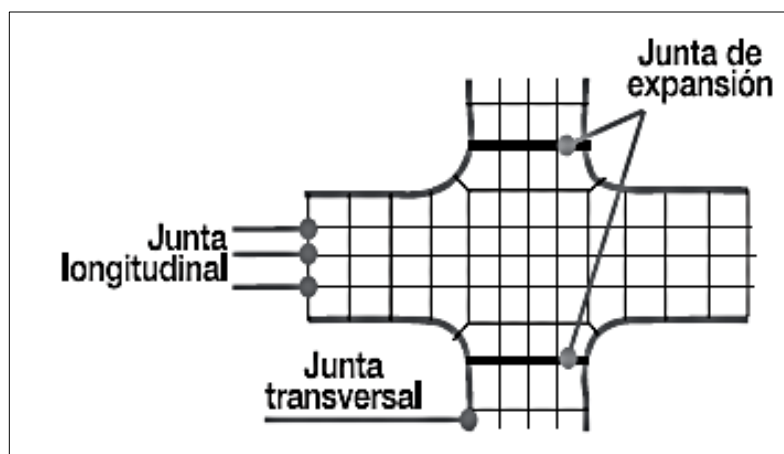
Las juntas longitudinales de construcción son las que se construyen entre dos carriles que se hormigonan en días diferentes.

Figura 2.24. Junta longitudinal de construcción



Fuente: Lineamientos Generales para el Diseño Geométrico de Juntas (2012)

Figura 2.25 Localización de las juntas longitudinales de doble sentido



Fuente: Instituto Colombiano de Productores de Cemento (2016)

Figura 2.26 Junta longitudinal de construcción en la calle Padilla



Fuente: Elaboración propia

También la revista IMCYC de juntas en la construcción de concreto ACI – 224. 2R – 95 indican a las juntas de construcción de extremo anclado, son más comunes con transferencia de cargas a lo largo de la junta (figura 2.15 c), las juntas de construcción se utilizan en interrupciones planeadas y no planeadas en la construcción, tales como al finalizar el colocado del día.

En algunos casos se utilizan las juntas de construcción machimbradas, como se indica en la figura 2.15 (e), y 2.15 (f). El tipo de extremo anclado mostrado en la figura 2.15 (c) es quizá el más común para juntas de construcción transversales en el trabajo de las

carreteras. Cuando se utilizan las juntas longitudinales de construcción machimbradas, la práctica común es colocar el hormigón en carriles alternados. La cuña es creada por cimbra deslizante o cimbrada con placas especiales de metal o tiras de madera sujetadas a cimbras estacionarias. Las cuñas no ancladas (figura 2.15 f) originan muchas fallas de astillamiento en donde las dimensiones son inadecuadas. No son recomendables para usarse en pavimentos de carreteras o aeropuertos. Estas no proporcionan en realidad gran transferencia de carga cuando están abiertas, y, así, no proporcionan beneficio alguno al pavimento. Una vez que han comenzado a cortarse, es probable que ocurra una avería progresiva y el mantenimiento es extremadamente difícil.

2.4.2.4 Juntas de expansión o aislamiento

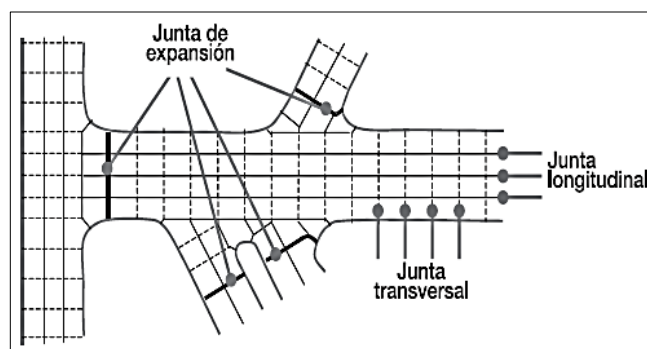
Se ejecutan en posición transversal al eje de cambio. Tiene el fin de permitir el movimiento horizontal del pavimento con respecto a estructuras existentes, como estribos de puentes, alcantarillas, etc. Se utilizan también en la unión de dos tramos de diferente dirección.

Figura 2.27 Junta de expansión



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.28 Localización de juntas en un cruce de vía



Fuente: Instituto colombiano de productores de cemento (2016)

En general el pavimento se construye con juntas, con o sin pasajuntas, de acuerdo al tránsito y las condiciones ambientales. Se recomienda el uso de pasajuntas para tránsitos intensos y pesados.

El espaciamiento entre juntas de contracción de pavimentos de hormigón simple depende de factores principalmente locales, como calidad de materiales y condiciones climáticas. La norma AASHTO (1993), recomienda que el espaciamiento entre juntas en pies no debe ser mayor a dos veces el espesor de la losa en pulgadas, dicho de otra manera no debe ser mayor a 24 veces el espesor de la losa para pavimentos sobre sub-base no estabilizada. Para sub-bases estabilizadas no debe ser mayor a 21 veces el espesor de la losa.

De acuerdo a recomendaciones, la separación entre juntas no debe ser mayor a 6.10m. Para el caso de pavimentos de hormigón armado con juntas, el espaciamiento máximo es de 9.10 m, y en las juntas longitudinales que generalmente coinciden con las marcas de carril, deben diseñarse con separaciones de 2.50 a 4.00 metros (8 a 13 pies).

Tabla 2.2 Espaciamiento de juntas de acuerdo al tipo de agregados

Tipo de agregado	Espaciamiento máximo (m)
Granito triturado	6
Caliza triturada	6
Grava calcárea	6
Grava silícea	4.50
Grava tamaño máx. $\leq 3/4''$	4.50
Escoria	4.50

Fuente: Guide for design of pavement structures, AASHTO (1993)

Tabla 2.3 Dimensiones en pasajuntas en pavimentos urbanos

Espesor del pavimento (cm)	Diámetro de la pasajunta		Longitud (cm)	Espaciamiento (cm)
	cm	cm		
10-15	1.60	5/8	30	45
15-18	1.90	3/4	38	38
18-20	2.50	1	38	30
20-25	3.20	1 1/4	38	30

Fuente: Guide for design of pavement structures, AASHTO (1993)

También la revista IMCYC de juntas en la construcción de concreto ACI – 224. 2R – 95 describe a las juntas de expansión o de aislamiento que se construyen con un espacio a través del espesor de la losa para permitir el movimiento (figura 2.15 d). Estas juntas de expansión no se usan ya en pavimentos de líneas principales, excepto cuando las juntas de expansión con pasajuntas para transferencia de cargas se usan en puentes. Las juntas de aislamientos se usan en estructuras fijas, como registros y coladeras de drenaje, y en intersecciones en T u otras intersecciones no simétricas. La distancia libre a través de la junta se mantiene a menudo en aproximadamente 2 cm, aunque también se usan aberturas de 12.5 mm y 25 mm. Puesto que la junta no tiene engranaje de agregado, es

necesario proporcionarle algún tipo de transferencia de carga. Los bordes engrosados (figura 2.15 h) se utilizan en juntas de expansión para reducir o eliminar la necesidad de pasajuntas. Cuando se especifiquen los bordes engrosados, hay que considerar el costo, la factibilidad de construcción, y la restricción que puedan causar a la contracción de la losa.

La suficiencia estructural de una junta de expansión es determinada en gran parte por su mecanismo de transferencia. Si se provee una transferencia adecuada de carga, la deflexión de las losas es minimizada, y la acción de “bombeo” (eyección de agua y materiales) reducida. Es necesario mantener periódicamente las juntas, y en algunos casos reemplazar el material de relleno en la junta.

Los tipos comunes de relleno incluyen materiales fibrosos, bituminosos y corcho. Es necesario sellar las juntas periódicamente para evitar la filtración de agua de la superficie. El resello de juntas se logra mejor durante un período frío, cuando la junta se ha abierto, permitiendo así la colocación del sellador.

Las juntas de expansión pueden también cerrarse gradualmente en pavimentos que tengan juntas de contracción no selladas, que pueden llenarse de material incompresible. Esta es una situación muy indeseable que deberá evitarse por medio del diseño correcto, buena construcción y mantenimiento.

Casi todos los estados han discontinuado el uso de juntas de expansión, excepto en estructuras fijas, porque parecen innecesarias y son difíciles de construir en un tren de cimbra deslizante de pavimento. Algunos estados usan juntas de contracción haciendo cada tercera o cuarta junta una junta, de expansión; este sistema provoca que las juntas adyacentes se abran y fallen.

2.5 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA GESTIÓN DE CONSERVACIÓN

La gestión de conservación parte de una premisa básica: la red de carreteras es un patrimonio que debe ser mantenido y mejorado para asegurar condiciones adecuadas de desempeño durante el máximo de su vida útil.

El objetivo de la gestión de conservación es posibilitar que la red de carreteras, resista el desgaste causado por el tráfico, clima y las condiciones del entorno de la zona en que se ubican; prevenir que se generen situaciones de deterioro críticas y asegurar al usuario una circulación continua, segura, eficiente, confiable y que cause el menor daño al medio ambiente. Estos objetivos se logran a través de la ejecución de una serie de acciones de conservación aplicadas oportunamente en el tiempo.

Existe un momento preciso para efectuar ciertos trabajos de conservación de un camino. Al ejecutar actividades antes de lo requerido, se pierde la oportunidad de haber utilizado el capital en algo más rentable durante el período del adelanto (costo de oportunidad del capital). Cuando se posterga la conservación, tanto en el refuerzo como en el mantenimiento rutinario, la pérdida es mucho mayor, pues el tipo de intervención necesaria será de rehabilitación, que tiene un costo mucho más alto que el correspondiente a trabajos efectuados de manera oportuna.

Adicionalmente, postergar la conservación trae como consecuencia el aumento de los costos de operación de los usuarios, traduciéndose en un aumento de los costos de transporte. En el caso de los caminos de tierra o de ripio, por sus características técnicas, puede contarse con un margen de tiempo más flexible para efectuar las intervenciones.

Las tareas principales en la gestión de conservación son identificar para cada camino:

- i) el momento de la intervención.
- ii) el tipo de intervención; ambas tareas permitirán obtener el óptimo rendimiento de los recursos invertidos.

La gestión de conservación no se aplica exclusivamente a los pavimentos, sino a toda la estructura de la carretera, sea esta puentes, obras de arte en general, túneles, drenajes, demarcaciones, por mencionar solo algunas.

El objetivo final es poder manejar todos estos elementos a través de un conjunto complementario de actividades que permitan un funcionamiento armónico de la infraestructura.

Cada actividad de conservación debe ejecutarse habitualmente dentro de un lapso preciso de tiempo. El punto de partida para determinarlo es el conocimiento cabal de los caminos de la red vial, así como también de los efectos del tránsito en los caminos. Este conocimiento permite estimar los momentos oportunos para los diferentes tipos de

intervención. La opción de tiempo significa la posibilidad de adelantar acciones de conservación. Una vez detectados los momentos óptimos, puede decidirse sobre la conveniencia de anticipar ciertas intervenciones.

Esta opción consiste en definir la dimensión técnica de la intervención. Pueden proponerse varias alternativas para satisfacer las necesidades inmediatas (reforzar la superficie, evitar la destrucción de la estructura básica del camino, etc.). La diferencia que existe entre las distintas opciones radica en el costo de la intervención, el tiempo que se necesita para ejecutarla y su durabilidad.

La regla general es que las intervenciones óptimas suelen ser aquéllas que tengan una orientación a mediano o largo plazo. Los motivos que se tengan para elegir una u otra opción de dimensionamiento, pueden ser de carácter operacional o financiero, al igual que en el caso de las opciones de tiempo.

2.5.1 Mantenimiento periódico

Son las actividades que requieren ser ejecutadas una o más veces por año en una sección de la carretera. Por lo general se refieren a reparaciones localizadas de pequeños defectos en la calzada y el pavimento, pero muy dispersas. Las necesidades de estas actividades pueden hasta cierto grado, ser estimadas y planificadas. No obstante, esta denominación se aplica generalmente a intervenciones que se requieren en períodos mayores de un año, para mantener la vía en un nivel de servicio de bueno a regular. Se trata normalmente de **operaciones como sellos**, reciclados y recapados de pavimentos (incluyendo los refuerzos necesarios para aumentar el período de servicio en buenas condiciones) o la reposición de la capa de grava en caminos no pavimentados. Suele llamarse preventiva, porque precisamente previene la aparición de daños mayores.

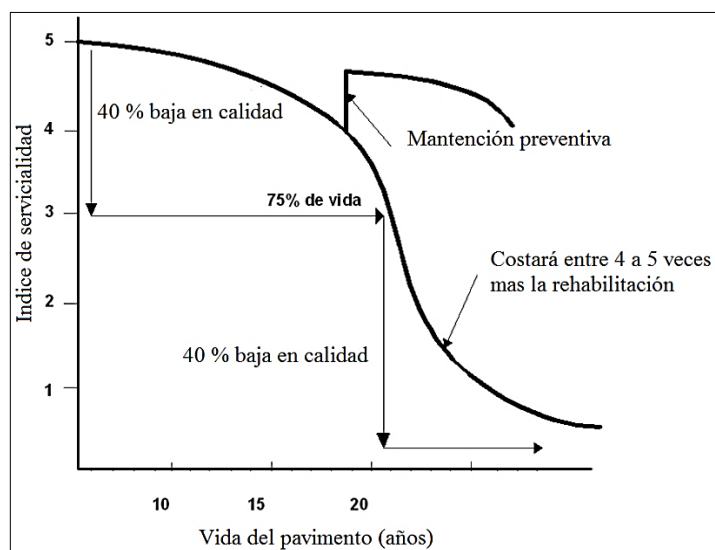
La tarea de sellados en el pavimento de hormigón se identifica como un mantenimiento menor, el cual bajo el concepto de calidad en lo funcional del rodaje se encuentra en la zona de calidad de rodaje con características de regular a excelente.

2.5.1. Índice de servicialidad

Un criterio para valorar el estado de un camino es el de la “calificación actual” o como se lo denomina servicialidad. Existen en la actualidad diversos indicadores, todos, tienen

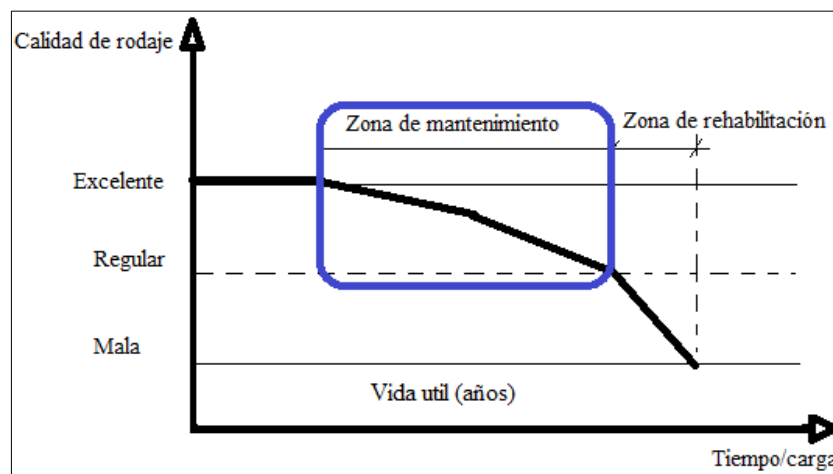
en común la preponderancia de las irregularidades (rugosidad) por sobre todos los otros factores utilizados en el cálculo de tales indicadores (grietas, ahuellamientos, deformaciones, etc.).

Figura 2.29 Índice de servicialidad



Fuente: Manual de carreteras, recuperado de Carpetas de rodadura de micro-aglomerados. Fernández O. (2007)

Figura 2.30 Comportamiento de un pavimento: Funcional – Estructural

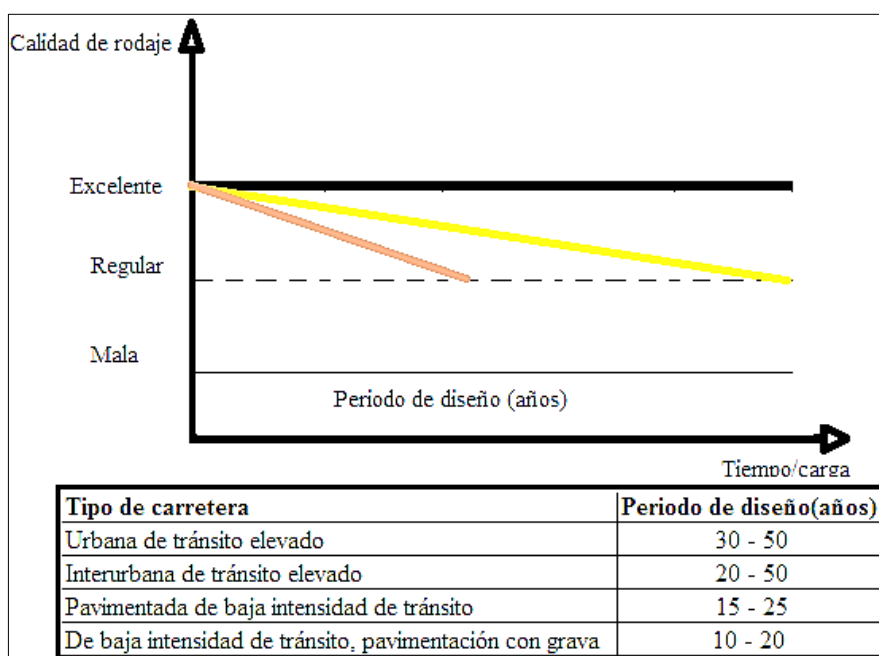


Fuente: Manual 5 de conservación vial

La estructura está sujeta a mantenerse en función en la zona que se encuentre, por lo que en la zona de mantenimiento, se va a realizar un mantenimiento menor de sellado, resellado de juntas, o sellado de grietas y fisuras, para evitar llegar a la zona de

rehabilitación, funcionalmente en la zona de mantenimiento el usuario no tiene inconveniente según sea la falla, mientras que en la zona de rehabilitación el usuario no se siente conforme con la calidad de rodaje. Según la estructura se basa en la buena calidad, espesor y la conformación de los estratos inferiores, los cuales pueden o no tener capa base o subbase granular, depende de la conformación de la capa subrasante granular.

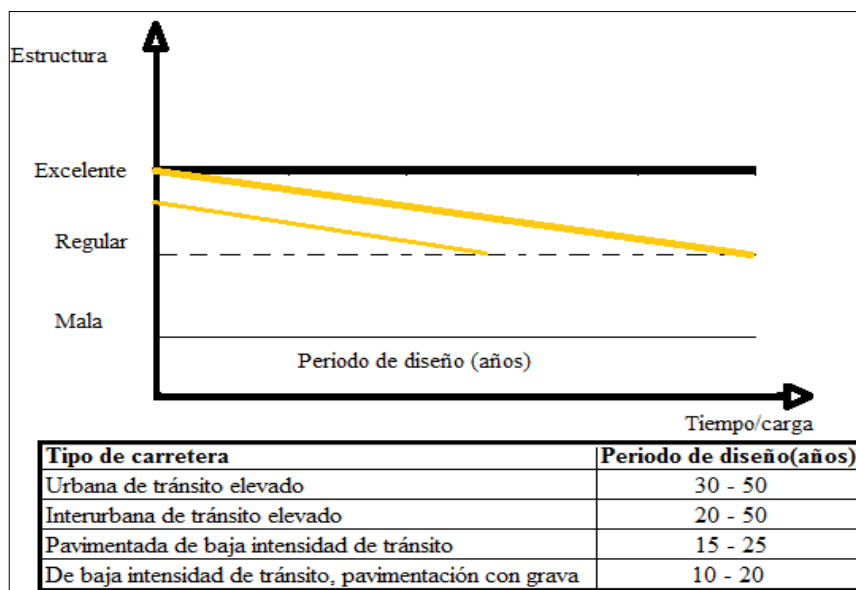
Figura 2.31 Relación de comportamiento – estructura



Fuente: Manual 5 de conservación vial

La calidad de rodaje en el tiempo va a depender de la estructura, es decir el diseño, con todos los factores que intervienen en él, la calidad y capacidad de los estratos inferiores, dependiendo si soporta una base o una subbase, pero necesariamente la subrasante debe estar muy bien preparada, el espesor de losa fundamental en la condición de la vida útil de la misma, a menor proyección de cargas, de espesor y otros, la vida útil es menor, por lo tanto, baja la condición de la estructura.

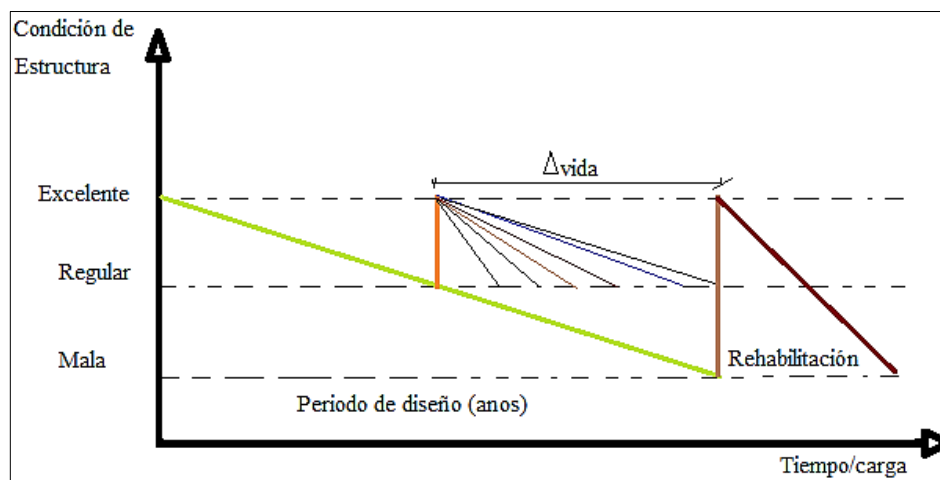
Figura 2.32 Comparación de comportamiento - estructura



Fuente: Manual 5 de conservación vial

La relación del comportamiento de la estructura en función a la condición y zonas identificadas como indicadas para el mantenimiento o una rehabilitación está muy ligada a la calidad de los sellados, el material de sello y el colocado del mismo.

Figura 2.33 Comportamiento en función a la vida



Fuente: Manual 5 de conservación vial

La vida del pavimento es dependiente del tipo de manteniendo en el cual tiene incidencia el material y la calidad del mismo según requiera el mantenimiento.

La servicialidad comprende la capacidad funcional y estructural, el manual de la administradora de carreteras define la servicialidad funcional y estructural.

2.5.1.1 Servicialidad funcional

La servicialidad funcional del pavimento interpreta la percepción de la calidad de la superficie de rodadura que experimenta el usuario. Por lo tanto, se relaciona fundamentalmente con la rugosidad o, más exactamente, con la regularidad que presenta la superficie y que, en una carretera bien diseñada, es el principal factor que define el nivel de la servicialidad funcional que presta.

2.5.1.2 Servicialidad estructural

Representa la condición física en que se encuentra el pavimento; depende de las grietas y otras fallas presentes que afectan adversamente la capacidad para soportar el tránsito que debe servir. Es decir, se refiere a las fallas de fondo, que alteran o reducen la capacidad estructural del pavimento.

2.5.2 Rugosidad

El manual de carreteras, en su volumen 4, define a la rugosidad del pavimento como la irregularidad superficial de una capa de rodadura. Es el parámetro de estado más característico de la condición funcional de esta y el que incide directamente en los costos de operación de los vehículos. Se mide a través del índice de rugosidad internacional (IRI).

También es importante mencionar otros indicadores de calidad como el ensayo de PSI (índice de servicialidad presente), el PCI, índice de condición del pavimento, el Manual de Carreteras en su Volumen 5, referenciado de la AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), indica los valores y rangos para el valor de PSI según la tabla de escala de calificaciones AASHTO.

Tabla 2.4 Calificación del índice de servicialidad presente según AASHTO....59

PSI	
Calificación	Estado del pavimento
4.50 - 5.00	Excelente
3.10 - 4.40	Bueno
2.60 - 3.00	Regular a bueno
2.10 - 2.50	Regular a malo
1.10 - 2.00	Malo
0.00 - 1.00	Muy malo

Fuente: Manual 5 de conservación vial

2.5.3 Índice de condición del pavimento (PCI)

El manual de conservación vial de la administradora boliviana de carreteras hace referencia a los rangos de calificación del PCI, desarrollado por el cuerpo de ingenieros de la US Army con fondos provistos por la US Air Force, para pavimentos de aeropuertos. Posteriormente fue verificado y adoptado por la FAA y la US Naval Facilities Engineering Command. La metodología PCI esta descrita en la norma ASTM 5340-98, la cual da los lineamientos para determinar el índice de condición del pavimento.

Tabla 2.5 Rangos de calificación del PCI

PCI	
Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

Fuente: Manual 5 de conservación vial

La Norma ASTM 5340–98, define 15 patologías en los pavimentos de hormigón de cemento portland (PCC) y establece las definiciones y guías para la cuantificación de las fallas y posterior determinación del PCI. Las fallas que considera el método son las siguientes:

- | | |
|---|--|
| 1. Estallidos | 8. Pérdidas repentinas |
| 2. Rotura de esquina | 9. Bombeo |
| 3. Fisuras longitudinales, transversales y diagonales | 10. Desprendimientos, fisuras erráticas, mapa de fisuras |
| 4. Fisura de durabilidad (D) | 11. Asentamientos |
| 5. Daño en sello de juntas | 12. Losa fragmentada |
| 6. Bacheos, 10. Desprendimientos, fisuras | 13. Fisuras por retracción |
| 7. Bacheos - corte para instalaciones | 14. Desprendimiento en junta |
| | 15. Desprendimiento en esquina |

El Manual 5 de la Administradora de Carreteras de Bolivia refiere a los valores límites del IRI, si se considera a un pavimento perfectamente liso se le asigna un valor de IRI de 0, caminos con rugosidad moderada reciben valores de IRI de alrededor de 6 m/km, y casos extremos de carreteras no pavimentadas con muchos baches resultan en valores de IRI superiores a 20 m/km.

Existen diversos valores referenciales del IRI para carreteras nuevas por tipo de superficie. La Administradora boliviana de carreteras como institución vial del país deberá realizar los estudios correspondientes para determinar umbrales y rangos de aceptación según el tipo de carpeta de rodado ya sea que esta corresponda a una etapa de construcción, pavimentación o rehabilitación.

A modo de referencia se indican algunos valores referenciales de rugosidad para pavimentos nuevos y umbrales del IRI.

Valores iniciales del IRI según el manual de carreteras de la dirección de vialidad de Chile, indica los siguientes valores de IRI según su tipo de superficie.

Tabla 2.6 Valores de IRI según su tipo de superficie

IRI		
Tipo de pavimento	Unidad	Calificación
Pavimentos de hormigón	m/km	1.1 – 1.8

Fuente: Manual 5 de conservación vial

Tabla 2.7 Valores límites del IRI para considerar una intervención en **m/ km**

IRI						
Condición	Brasil	Chile	Uruguay	España	Honduras	E.E.U.U.
Excelente	1.00 - 1.90	-	< 3.20	0 - 1.50	-	< 0.95
Bueno	1.90 - 2.70	0.00 - 3.00	3.20 - 3.90	1.50 - 2.50	< 3.50	0.95 - 1.50
Regular	2.70 - 3.50	3.00 - 4.00	4.00 - 4.60	2.50 - 4.00	3.50 - 6.00	1.50 - 2.70
Malo	3.50 - 4.60	-	-	-		-
Pésimo	> 4.60	> 4.00	> 4.60	> 4.00	> 6.00	> 2.70

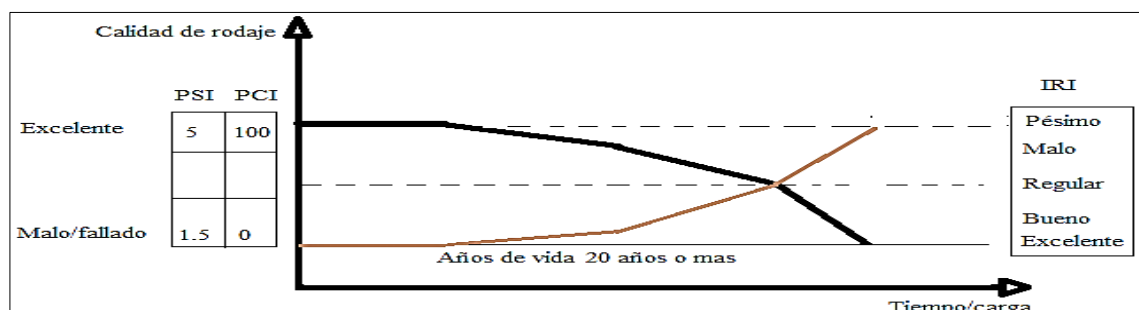
Fuente: Manual 5 de conservación vial

El valor del IRI tiene correlación con el índice de serviciabilidad y para pavimentos de hormigón indican el Manual 5 de la Administradora de Carreteras (ABC), la siguiente formula.

$$PSI_{H^o} = 5.769 - 1.589 * \sqrt{IRI}$$

Los tres parámetros, son indicadores de la calidad de la losa, incidente en la funcionalidad de la superficie, el siguiente grafico muestra el comportamiento de estos parámetros.

Figura 2.34 Indicadores de Calidad



Fuente: Manual 5 de conservación vial

2.5 FALLAS EN EL PAVIMENTO DE HORMIGÓN

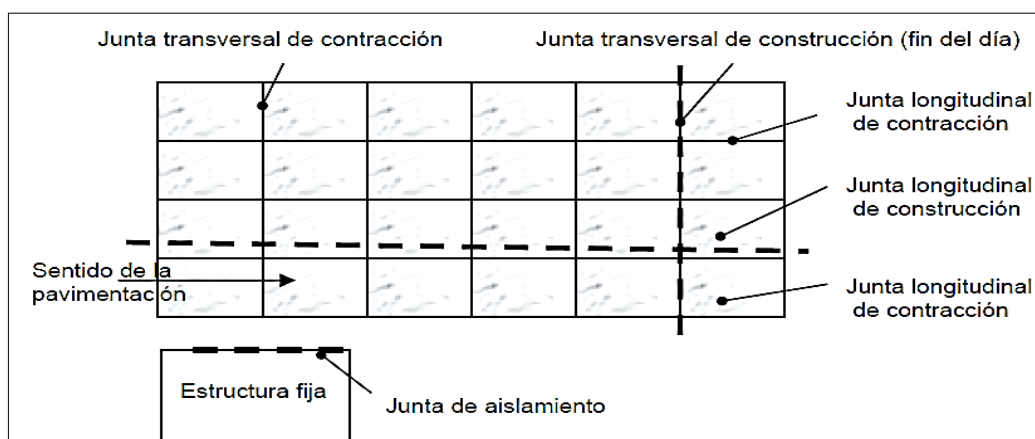
Las fallas en los pavimentos pueden ser de orden funcional o estructural. Las fallas funcionales afectan a la comodidad en la circulación, las estructurales ponen en riesgo la integridad de la estructura, lo que a su vez repercute negativamente en la situación funcional.

Las fallas en los pavimentos rígidos se clasifican en cuatro grupos: deterioros de las juntas, agrietamientos, deterioros superficiales y otros deterioros.

Los deterioros en juntas afectan al desempeño del pavimento por ser las juntas las zonas de unión entre las diversas losas. En este grupo podemos encontrar deficiencias del sellado y saltaduras. Los agrietamientos pueden ser transversales, longitudinales o de esquina. Cualquier grieta es signo de un esfuerzo que el hormigón no ha podido soportar. Se convierten en discontinuidades en las losas que alteran su respuesta a las solicitaciones. Los deterioros superficiales más comunes son descascaramientos, pulido de agregados y fisuración tipo malla. Son deterioros funcionales. En el último grupo encontramos fallas como levantamientos localizados, escalonamientos en juntas y grietas, bombeo, baches y fragmentación múltiple. Esta última corresponde al máximo nivel de degradación estructural que puede alcanzar un pavimento.

Este trabajo basa la investigación en deterioros de las juntas, deterioro por agrietado y fisurado en las losas del pavimento de hormigón.

Figura 2.35 Tipos de juntas en pavimentos de concreto



Fuente: Control de calidad en el material sellante (2007)

2.5.1 Deficiencias de juntas en estructuras de pavimento de hormigón

Las deficiencias en el material de sello según Altamirano Kauffmann L.F,(2007), recuperado de la revista guía “Deterioro en Pavimentos de Hormigón”, indica a la deficiencia en el material sellador como la condición que posibilita la acumulación de material en las juntas o permita una significativa infiltración de agua. La acumulación de material incompresible impide el movimiento de la losa, posibilitando que se produzcan fallas, como grietas, fisuras, levantamiento, despostillamientos de juntas y otros.

Las causas más frecuentes para que el material de sello sea deficiente, son: El endurecimiento por oxidación del material sellante, la pérdida de adherencia con los bordes de las losas y el material sellador, el levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas, la escasez y/o ausencia del material sellante.

En cuanto a la severidad, él refiere tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) de acuerdo con lo siguiente:

B (Bajo), el material de sello se encuentra en general en buena condición en toda la sección o muestra evaluada; pueden presentarse, pero solo en cantidad reducida, algunos de los defectos arriba indicados, pero no existe riesgo de infiltración de material incompresible.

M (Mediano), el material de sello se encuentra en general en condición regular, en toda la sección o muestra; uno o más defectos de la relación arriba indicados ocurren en grado moderado; el material de sello necesita ser reemplazado en un período de dos años.

A (Alto), el material de sello se encuentra en general en condición pobre, o bien no existe; en toda la sección o muestra, uno o más defectos de la relación arriba indicada ocurren con grado de severidad alto, las juntas requieren ser selladas o reselladas a la brevedad.

Así mismo mide las deficiencias del material de sello mediante la no contabilización de losa en losa, sino el refiere la calificación asignada a la condición del material de sello en toda el área de dicha losa evaluada.

2.5.2 Tipo de fisuramiento en las losas de pavimento de hormigón

Según ACI (1993), la fisuración ocurre cuando la losa está sujeta a una pérdida de humedad muy rápida provocada por una combinación de factores que incluyen las temperaturas del aire, el hormigón, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del hormigón. Estos factores pueden combinarse de manera que provoquen niveles altos de evaporación superficial tanto en clima caluroso como en clima frío.

Si la humedad se evapora de la superficie del hormigón recién colocado, más rápido de lo que puede ser reemplazada por el agua de exudación, el hormigón superficial se contrae.

Debido a la restricción proporcionada por el hormigón debajo de la capa superficial que se seca, en el hormigón débil, plástico y en proceso de rigidización se desarrollan tensiones de tracción que provocan fisuras poco profundas pero de profundidad variable, que pueden formar un patrón poligonal aleatorio, o bien pueden aparecer básicamente paralelas unas a otras. Estas fisuras a menudo son bastante anchas en la superficie. Su longitud varía entre pocos milímetros y más de un metro, y su separación puede ser de pocos milímetros o de hasta 3 m. Las fisuras por retracción plástica comienzan como fisuras de poca profundidad, pero pueden convertirse en fisuras cuya profundidad abarque la totalidad de la altura del elemento.

Como la fisuración se debe a un cambio diferencial de volumen del hormigón, las medidas de control para ser exitosas, requieren reducir el cambio diferencial de volumen entre la superficie y otras partes del hormigón.

De manera general las fisuras en la losa de pavimento de hormigón se clasifican en: fisuras transversales y fisuras longitudinales.

Martínez F. (2004), describe a las fisuras como discontinuidades en las losas del pavimento, en primera instancia tienen un efecto estético que evoluciona hacia deterioros serios como desprendimientos, baches y otros. Las fallas como las fisuras

provocan una redistribución de los esfuerzos en cada una de las capas componentes de los pavimentos, es decir evolucionan en tipo, magnitud y grado de severidad.

Figura 2.36 Fisuramiento de losa



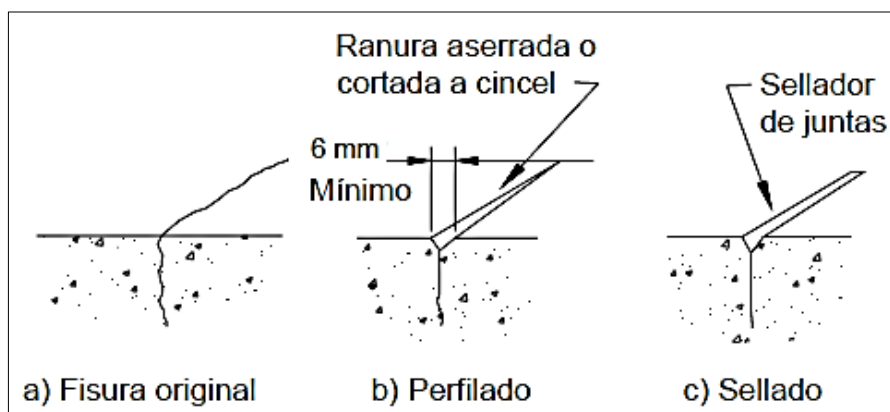
Fuente: Elaboración propia

2.5.2.1 Fisuras transversales

Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente perpendicular al eje del pavimento, o en forma oblicua a este, dividiendo la misma en dos planos con orientación perpendicular al eje del pavimento.

Las fisuras transversales según Martínez F. (2004), en su revista Deterioro en pavimentos son causadas por una combinación de los siguientes factores: excesivas repeticiones de cargas pesadas (fatiga), deficiente apoyo de las losas, asentamientos de la fundación, excesiva relación longitud / ancho de la losa o deficiencias en la ejecución de éstas. La ausencia de juntas transversales o bien losas con una relación longitud / ancho excesivos, conducen a fisuras transversales o diagonales, regularmente distribuidas o próximas al centro de las losas, respectivamente. Variaciones significativas en el espesor de las losas provocan también fisuras transversales.

Figura 2.37 Vista frontal de fisura



Fuente: ACI 224 (2004), recuperado en la revista Causas, evaluación y reparación de fisuras en estructuras de hormigón

Figura 2.38 Fisuras en calles



Fuente: Elaboración propia

Descrita para el nivel de severidad bajo se encuentran las fisuras finas, no activas, de ancho promedio igual y menor a 3 mm, este criterio se repite en el manual (tomo 4) de la Administradora boliviana de carreteras.

Figura 2.39 Fisura transversal en la calle Padilla



Fuente: Elaboración Propia

2.5.2.2 Fisuras longitudinales

Son fisuras con orientación y fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente paralela al eje de la carretera, dividiendo la misma en dos planos.

Martínez F. (2004), en su revista Deterioro en pavimentos indica que las fisuras longitudinales son causadas por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la fundación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales. Con frecuencia la ausencia de juntas longitudinales y/o losas, con relación ancho / longitud excesiva, conducen también al desarrollo de fisuras longitudinales.

Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo a las características de las fisuras, según la siguiente guía y clasificación mediante evaluación visual según:

B (bajo), descrita para el nivel de severidad bajo:

Fisuras finas, no activas, de ancho promedio menor de 3 mm.

Fisuras selladas de cualquier ancho, con el material de sello en condición satisfactoria; no hay signos visibles de desportillamiento y/o dislocamiento.

M (mediano), Existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras activas, de ancho promedio entre 3 y 10 mm.

Fisuras de hasta 10 mm de ancho acompañadas de desportillamiento y dislocamiento de hasta 10 mm.

Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición insatisfactoria y/o desportillamiento y/o dislocamiento menor de 10 mm.

A (alto), Existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras de ancho mayor de 10 mm.

Fisuras selladas o no, de cualquier ancho, con desportillamientos severos y/o dislocamiento mayor de 10 mm.

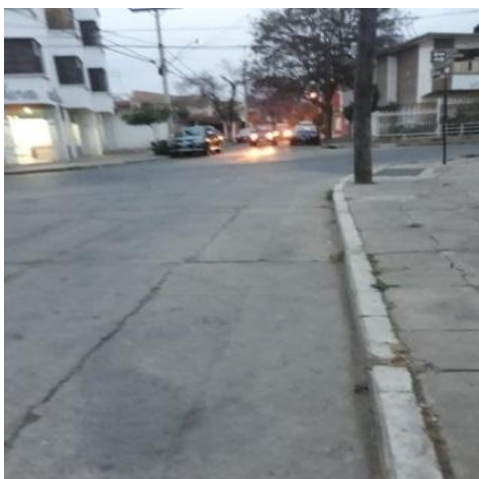
Se tiene en cuenta la medición visual y según identificada la severidad de la fisura, esta puede medirse:

En metros lineales, totalizando metros lineales en la sección o muestra.

En términos de número de losas afectadas, totalizando el número de estas que evidencien fisuras longitudinales.

Si existen dos fisuras en una misma losa, se adopta el nivel de severidad de la fisura predominante.

Figura 2.40 Fisura longitudinal en la calle Padilla



Fuente: Elaboración propia

2.5.3 Tipo de agrietamientos en las losas de pavimento de hormigón

Las grietas en las losas de hormigón no se pueden evitar por completo, el tipo más común son las que se materializan cuando el agua se evapora durante el endurecimiento de la losa. Este grupo de deterioro incluye todas las discontinuidades y grietas que afectan las losas del pavimento con aberturas mayores a 3mm.

Existen grietas, transversales, longitudinales, de esquina, grietas en extremo de pasadores, grieta en bloque o fracturación múltiple, grieta en tapa de pozos y/o sumideros.

2.5.3.1 Grietas transversales

Son grietas que se presentan perpendicular al eje de circulación de la vía, pueden extenderse desde la junta transversal, hasta la junta longitudinal este tipo de daños se presentan en todo tipo de pavimentos rígidos.

Las causas que las pueden ocasionar son: el asentamiento de la losa o la subrasante, losas de longitud excesiva, junta de contracción aserrada o formada tardíamente, espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones, gradiente térmico que origina labeos, problemas de drenaje, cargas excesivas y otros.

Figura 2.41 Grietas en intersección de calles



Fuente: Elaboración propia

2.5.3.2 Grietas longitudinales

Son grietas predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa.

Las causas que las pueden ocasionar son el asentamiento de la base o subrasante, falta de apoyo de la losa, originado por la erosión de la base, alabeo térmico, losa de ancho excesivo, carencia de una junta longitudinal, mal posicionamiento de las dovelas y/o barras de anclaje, aserrado tardío de la junta, contracción del concreto, y otros.

Figura 2.42 Grietas longitudinales en calles



Fuente: Elaboración propia

2.6 SELLOS

Según el método AASHTO(1993), recopilado en la revista Diseño de pavimentos rígidos, la función principal de un sellador de juntas es minimizar la infiltración de agua a la estructura del pavimento y evitar la intrusión de materiales incompresibles dentro de las juntas que pueden causar deterioros en éstas.

En la selección del sello se debe considerar su vida útil esperada, el tipo de sello, tipo de junta, datos climáticos y el costo de control de tránsito en cada aplicación del sello, en todo el período económico de análisis. El tipo de junta es muy influyente en la selección del material de sello. Se podría optimizar enormemente el costo del proyecto considerando esto en la selección del sello.

Todo material de sellos de juntas de pavimentos de concreto, deben cumplir con las características de impermeabilidad, deformabilidad, resiliencia, adherencia, resistencia, estables y durables.

Finalmente, el sellado se hará antes de la entrega al tránsito y previa limpieza de la junta, con la finalidad de asegurar un servicio a largo plazo del sellador. Los siguientes puntos son esenciales para las tareas de sellado:

Inmediatamente antes de sellar, se deben limpiar las juntas en forma integral para librarlas de todo resto de lechada de cemento, compuesto de curado y demás materiales extraños.

Para limpiar la junta, se puede usar arenado, cepillo de alambre, chorro de agua o alguna combinación de estas herramientas. Las caras de la junta se pueden imprimir inmediatamente después de la limpieza.

Es necesario usar el soplado con aire como paso final de la limpieza, sobre la cara donde se adherirá el sellador.

Luego de la limpieza es importante colocar la tirilla de respaldo a emplear, la cual deberá impedir efectivamente la adhesión del sellador a la superficie inferior de la junta. La tirilla de respaldo deberá ser eficiente para la no adhesión alguna entre el sellador y la losa de hormigón.

La función principal de un sellador de juntas y otros defectos que se encuentren en la capa de rodadura construida, es minimizar la infiltración de agua a la estructura del pavimento y evitar la intrusión de materiales incompresibles dentro de las juntas y deficiencias que se encuentren en la superficie, las cuales puedan causar la rotura de ésta.

En la selección del sello se debe considerar su vida útil esperada, el tipo de sello, tipo de junta, datos climáticos y el costo de control de tránsito en cada aplicación del sello, en todo el período económico de análisis. El tipo de junta es muy influyente en la selección del material de sello. Se podría optimizar enormemente el costo del proyecto considerando esto en la selección del sello.

El artículo Pavimento de Losas de Concreto Hidráulico (2011), publicado por el Instituto de Desarrollo Urbano de la Alcaldía Mayor de Bogotá-Colombia, instruye que el sistema

de sellado de juntas para pavimentos de concreto hidráulico debe garantizar la hermeticidad del espacio sellado, la adherencia del sello a las caras de la junta, la resistencia a la fatiga por tracción y compresión, el arrastre por las llantas de los vehículos, la resistencia a la acción del agua, los solventes, los rayos ultravioletas, la acción de la gravedad y el calor, con materiales estables y elásticos. Se espera que la vida útil del sellante sea al menos de cinco (5) años.

El tiempo de aplicación de los sellos en las juntas, debe ser pasados los veintiochos (28) días de edad del concreto o cuando se haya alcanzado el ochenta por ciento (80%) de la resistencia máxima de diseño del mismo y tan pronto como las condiciones climáticas lo permitan, antes de que el pavimento sea abierto al tránsito, incluyendo tránsito de construcción. En el momento de la aplicación del componente de sello, la temperatura debe estar por encima de diez grados centígrados (10 °C) y el clima no debe estar lluvioso. El sello se debe realizar preferiblemente en las horas del día, cuando la junta esté en el intermedio de su movimiento esperado. En caso de requerirse aplicar el material de sello antes de la edad especificada, se deben utilizar imprimantes que creen una barrera de vapor y garanticen una total adherencia del material sellante a los bordes o labios de la junta.

La recomendación para la apertura al tránsito, con el fin de evitar que las losas de concreto sufran esfuerzos por aplicación de cargas vehiculares que generen procesos de fisuración o deterioro prematuro, la apertura al tránsito tanto de construcción, como el tránsito temporal o definitivo, se debe hacer teniendo en cuenta los siguientes criterios: Los esfuerzos que se van a aplicar deben estar en un nivel aceptable, de acuerdo con la resistencia del concreto en el momento de la apertura. Para tal fin, el constructor debe elaborar un análisis de esfuerzos que tenga en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de vehículo en el momento de la apertura, ya sea tránsito de construcción, tránsito temporal o tránsito definitivo.
- El vehículo que circulará en la apertura al tráfico puede ser diferente del vehículo de diseño. En ocasiones las cargas de los vehículos de servicio o de construcción pueden ser mayores que las cargas del vehículo de diseño.
- Dimensiones de la losa, como espesor, longitud, ancho y factor de esbeltez.

- Transferencia de carga en el momento de la apertura y grado de confinamiento de la losa. Es posible que en el momento de abrir al tráfico no se hayan construido los carriles adyacentes y no se tenga el nivel de transferencia o el grado de confinamiento contemplado en el diseño.

Antes de abrir al tráfico, las juntas deben estar totalmente selladas, de acuerdo con lo especificado. No se dará el servicio antes de que el concreto haya alcanzado una resistencia a la flexión del ochenta por ciento (80 %) de la especificada a veintiocho (28) días, indistintamente de que se trate de concretos convencionales o especiales de resistencias tempranas altas. Para el caso de mezclas usando cementos adicionados se debe revisar en función de efecto que tenga el porcentaje de la adición sobre el desarrollo de la resistencia.

El material de sello depende de su capacidad de adhesión con la cara de la junta. Los sellos líquidos pueden ser de asfalto, caucho colocado en caliente, compuesto elastoméricos, siliconas y polímeros. Los materiales son colocados en las juntas en forma líquida, permitiéndoseles fraguar.

Cuando se instalan los sellos líquidos es necesario el uso de un cordón o varilla de respaldo, la cual no debe adherirse ni al concreto ni al sellador ya que si esto sucede se induce tensión en el mismo. También ayuda a definir el factor de forma y a optimizar la cantidad de sello a usar. El diámetro del cordón debe ser 25 % más grande que el ancho del reservorio para asegurar un ajuste hermético.

El factor de forma (relación ancho/profundidad) del sellador es una consideración muy importante a tener en cuenta, ya que si éste no es el adecuado, se pueden generar esfuerzos excesivos dentro del sello que acorta la vida útil de éste. Un sellador con un factor de forma inferior a uno desarrolla menos esfuerzos que un sellador con un factor de forma mayor a uno.

También la elección del material sellante depende de ciertas características para su elección, como la longitud de la losa, del factor de forma y del análisis del costo a lo largo de la vida útil.

2.6.1 Clasificación de sellos

De manera general Jiménez R.R.(2016) en un block de la revista digital “ARGOS” clasifica los tipos de sello en juntas debido a su capacidad de formación, forma de aplicación y sellantes moldeados en sitio.

Elásticos, como sellos que tienen la capacidad de recuperar casi en la totalidad de forma después de ser sometidos a esfuerzos de compresión o tracción (su capacidad de deformación admisible es mayor al 25 %).

Elasto – Plásticos, como sellos que presentan una capacidad de deformación entre el 12.5 % y el 25 %.

Plasto Elásticos y plásticos, como sellos que presentan una capacidad de deformación muy limitada, usualmente hasta el 5 % y ante esfuerzos de tracción y compresión generalmente presentan deformación permanente.

De acuerdo a su forma de aplicación se subdividen en:

En campo, corresponde a los sellos que son aplicados colocando el material directamente en la junta que ha sido preparada con antelación, los mismos que también pueden sellar grietas y fisuras.

Preformados, corresponde a sellos que son elaborados en fábricas y que deben ser instalados.

Los sellantes moldeados en sitio, se subdividen en masillas, sellos termoplásticos (se debe calentar antes de ser aplicados), sellos termoplásticos de aplicación en frío, sellos termoestables y sellantes rígidos.

Se recomienda para realizar la correcta elección del tipo de sellante a utilizar, tener en cuenta ciertas propiedades físicas y químicas tales como:

La adhesión del sellante debido a la posible necesidad de utilizar un imprimante si no presenta la capacidad de adherir en condiciones tales como presencia de humedad.

La cohesión y la trabajabilidad del material ante los esfuerzos a los cuales será sometido a lo largo de su vida útil.

La deformación en compresión y tracción.

La resistencia a la tracción.

La dureza para evitar la penetración en el sello de objetos que podrían restringir el movimiento una vez se encuentre en servicio.

La temperatura de aplicación del sellante para evitar inconvenientes en su homogeneidad, entre otros.

Se debe hacer énfasis en el ancho de la junta, el cual es muy importante debido a que el ancho máximo está orientado a cuál es el límite en el cual el producto no cura adecuadamente, y la mínima abertura a sellar con el producto seleccionado, al igual que el factor de forma el cual es la relación entre el ancho y la profundidad de la junta y el factor de recuperación en % de la longitud original del ancho de la junta después que cesa el esfuerzo que produjo la deformación a compresión o a tracción.

Tabla 2.8 Características de los sellos de acuerdo a su deformación admisible

Tipo de sello	Factor de recuperación (R)	Deformación admisible	Factor de forma
Elástico	➤ 90 %	➤ 25 %	2: 1 (ancho de junta > 10 mm) 1: 1 (ancho de junta < 10 mm)
Elasto plástico	50 % - 90 %	12.5 % - 25 %	1:1
Plasto elástico	19 % - 50 %	5 % - 12.5 %	1:2
Plástico	< 10 %	< 5 %	1:1 – 1:2

Fuente: Jiménez R.R.(2016)

Sellantes de acuerdo a su composición química: Se dividen en 4 grupos

- Selladores de bajo desempeño.- Masillas para calefateado con base en aceites, masillas bituminosas, sellantes de polibutenos y butílicos.

- Selladores de medio desempeño.- Sellos acrílicos, sellos acrílicos siliconados
- Selladores de alto desempeño.- Polisulfuros, poliuretanos, siliconas.
- Selladores epóxicos.- Sellos epóxicos, sellos epóxicos con poliuretano.

Calculo del movimiento de una junta y su ancho mínimo.

Para el cálculo del movimiento de la losa se utiliza la siguiente expresión:

$$\Delta l = CI (\alpha * \Delta T + \epsilon)$$

Δl .- Cambio de dimensión de la junta.

C.- Factor de reducción debido a la fricción con la subrasante (0.65 bases estabilizadas y 0.8 para bases granulares).

I.- Distancia entre juntas (entre 25 y 30 veces el espesor de losa, una distancia entre 3.5 m y 5 m, sin acero de refuerzo).

α = Coeficiente de dilatación térmica del concreto ($1.1 * 10^{-5} / ^\circ\text{C}$).

ϵ =Coeficiente de contracción por secado ($4.5 * 10^{-4}$ a los 56 días)

ΔT = Gradiente térmico.

Ancho mínimo = $(\Delta l / \text{deformación admisible } \%) * 100$

La deformación admisible depende del tipo de sello.

Deformación % = $(\Delta l / \text{ancho mínimo}) * 100$

La elección del sellante y sus implicaciones considera las propiedades de los distintos tipos de sellantes presentes en el mercado, es importante utilizar el más adecuado dependiendo de las condiciones a las cuales estará sometido, métodos constructivos a emplear, de modo que se puedan minimizar las patologías relacionadas con la selección y aplicación inadecuada del sellante.

2.6.1.1 Sellador asfáltico

Para el sellado de las juntas se usa un material que puede ser a base de asfalto, poliuretano, polisulfuro, epoxipolisulfuro o silicona. Los tipos de aplicación de material sellante pueden ser los siguientes, que serán regidos por la norma indicada:

Aplicación en frío	: según ASTM D 1850
Elastoméricos aplicado en caliente	: según ASTM D 3406
Elástico aplicado en caliente	: según ASTM D 1190
Sellante aplicado en caliente	: según ASTM D 3405

2.6.1 Cemento asfáltico

Según (ASTM) recuperado de la tesis “Aplicaciones de las emulsiones asfálticas y los asfaltos diluidos en mezclas asfálticas en frío utilizando agregados del río Aguaytía-Ucayali”. UNI. Medina Ramírez V. (2006), define al asfalto como un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido, principalmente, por betunes que pueden ser naturales u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se presenta en proporciones variables en la mayoría de los petróleos crudos.

El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientes normales.

Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas del agregado y por lo tanto es un excelente cemento para unir partículas del agregado en un pavimento de mezcla caliente. De acuerdo a su consistencia, mediante el ensayo de penetración, los asfaltos sólidos producidos en el Perú son: CAP PEN 40/50, CAP PEN 60/70, CAP PEN 85/100, CAP PEN 120/150. De estos tipos de asfaltos los de mayor demanda en el mercado nacional son: CAP PEN 60/70 y CAP PEN 85/100. La siguiente tabla muestra el uso del asfalto según el clima.

Tabla 2.9 Cementos asfálticos graduados por penetración en función al clima

Pavimentación	Clima				
	Muy cálido	Cálido	Moderado	Frio	Frígido
AEROPUERTOS					
Pistas de despegue	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Caminos auxiliares	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Aparcamiento	60-70	60-70	60-70	85-100	85-100
CARRETERAS					
Tráfico muy pesado	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Trafico medio ligero	40-50	60-70	60-70	85-100	120-150
CALLES					
Tráfico muy pesado	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Trafico medio ligero	40-50	60-70	85-100	85-100	120-150
CAMINOS PARTICULARES					
Industriales	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Comerciales,estac.serv.	40-50	60-70	60-70	85-100	85-100
Residenciales	60-70	60-70	85-100	85-100	85-100
APARCAMIENTOS					
Industriales	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Comerciales	40-50	60-70	60-70	85-100	85-100
ZONA DE RECREOS					
Pistas de tenis	60-70	60-70	85-100	85-100	85-100
Terrenos de juego	60-70	60-70	85-100	85-100	85-100
BORDILLOS	40-50	40-50	60-70	85-100	85-100

Fuente: Materiales que conforman una mezcla asfáltica (2006), recuperado de Tesis

“Aplicaciones de las Emulsiones Asfálticas y los Asfaltos Diluidos en mezclas Asfálticas en frío Utilizando agregados del Río Aguaytía-Ucayali”. UNI. Medina

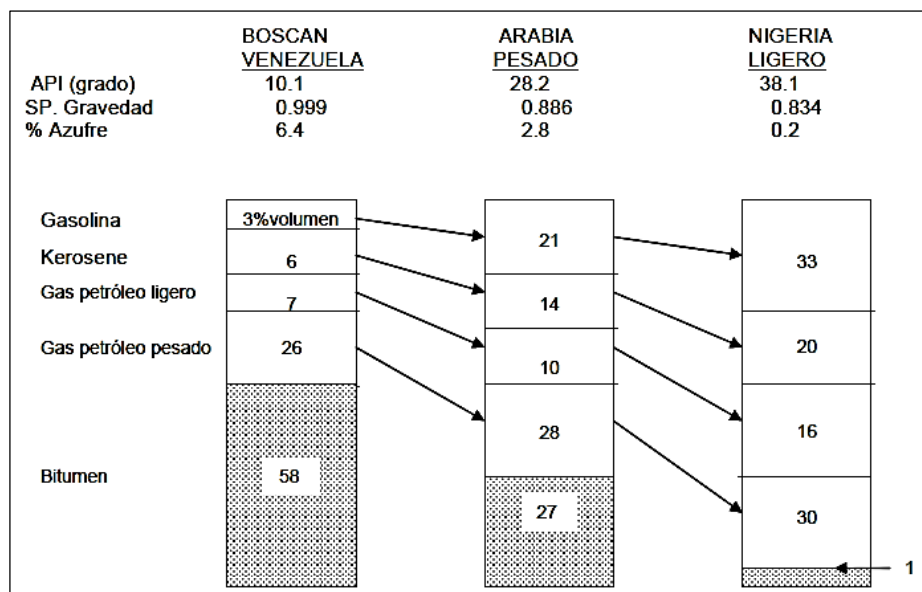
Ramírez V.

Material aglomerante sólido o semisólido de color negro o pardo oscuro, que se ablanda gradualmente al calentarse y cuyos constituyentes predominantes son hidrocarburos pesados, que se obtienen de la refinación del petróleo. Es un material altamente cementante, termoplástico, repelente al agua y es resistente a la mayoría de los ácidos, álcalis y sales.

Es un material que proporciona una buena unión y cohesión entre agregados, incrementando por ello la resistencia con la adición de espesores sumamente pequeños, tiene la propiedad de resistir la acción mecánica de disgregación, es un material impermeabilizante para la estructura de un pavimento y otros.

Mezclador: El crudo de petróleo varía en composición de fuente a fuente, con diferente rendimiento de cemento asfáltico residual y otras fracciones destilables. La siguiente figura muestra algunos porcentajes en volumen de las fracciones de tres crudos.

Figura 2.43 Variación del crudo del petróleo



Fuente: Ordoñez H.A., Minaya y Gonzáles (2001), recuperada del Manual de ensayos para el pavimento

2.7 ADITIVO

Sustancia que se agrega para poder dar una cualidad específica al producto final, ya sea para mejorarla o para otra opción según sus resultados de análisis.

Silicio en polvo

Mineral formado por la combinación de SiO_2 que pertenece a la familia de los silicatos SiO_4 . Estos silicatos son una tercera parte de los elementos conocidos; el 95 % de los materiales de la corteza son silicatos, el 60 % de ellos son feldespatos, el 12 % cuarzo y el resto piroxeno, anfíboles y arcillas; los elementos más abundantes son el oxígeno (O con 47 %), silicio (Si con 28 %) y el aluminio (Al con 8%). Estos son componentes químicos complejos, se clasifican por la estructura de los enlaces OSi, son tan fuertes que adoptan la forma de tetraedro, siendo de ahí su permanencia en la corteza terrestre.

El silicio es un elemento vital en numerosas industrias y al ser óxido de silicio un importante constituyente del hormigón es que nace la idea de la aplicación en el sellado de juntas, grietas y fisuras en el pavimento de hormigón.

El silicio en mineral es un componente importante en la corteza terrestre (27.80 % en peso) después del oxígeno (46.60 %). Sea bajo una forma amorfa o cristalina, se le encuentra en numerosos tipos de rocas, granitos, arenas, arcillas, etc. Figura 2.44.

Figura 2.44 Silicio en polvo



Fuente: Elaboración propia

Una prueba de laboratorio hecha por la corporación minera de Bolivia (COMIBOL), en el año 2017 determinó que arenas silíceas de Zudáñez (Chuquisaca) tiene una pureza del 92% lo cual aventajara a este municipio para emplazar una fábrica de vidrios y comercialización de silicio. En una reunión, técnicos del ministerio pidieron planos

catastrales, coordenadas geodésicas a los pobladores de Zudáñez del área donde hay la materia prima. Los pobladores de Zudáñez identificaron 2 terrenos que podrían ser cedidos al ministerio de desarrollo productivo para la instalación de la fábrica.

Los técnicos del ministerio estimaron que la construcción de la fábrica tomaría construirse un año en ser construida según consultas que se hicieron sobre proyectos similares en Paraguay. El gobierno nacional espera cubrir con este proyecto la demanda de botellas de la industria de vinos y singanis del sur del país, entre otros beneficios que según expertos se puede dar uso en la industria.

También <https://www.eldiario.com.bo.>,(2017), describe al silicio, como un elemento vital en numerosas industrias. El dióxido de silicio (arena y arcilla) es un importante constituyente del hormigón y los ladrillos, y se emplea en la producción de cemento portland. Por sus propiedades semiconductoras se usa en la fabricación de transistores, células solares y todo tipo de dispositivos semiconductores”.

En Bolivia, en Tarija se garantiza recursos naturales de silicio, con bases fundamentales y estudios de captación y producción de minerales se garantiza su existencia en la comunidad de San Juan del Oro, en Yunchara 50.00 km de largo por 500 metros de ancho y unos 300.00 metros de profundidad en Padcaya”, por lo que es importante estudiar las aplicaciones de este producto en la industria.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DE LOS SELLOS EN LOSAS DEL PAVIMENTO DE HORMIGÓN

3.1 MATERIAL DE LOSA DE PAVIMENTO DE HORMIGÓN

3.1.1 Agregados Pétreos

3.1.1.1 Grava

La procedencia del material granular (grava triturada 3/4), es de la clasificadora Erika Srl, situada en la comunidad El Rancho Sud, Provincia Méndez a 8 Km de la ciudad de Tarija, la cual hace la extracción de áridos del río Guadalquivir.

Figura 3.1 Material acopiado de la clasificadora



Fuente: Elaboración propia

3.1.1.2 Gravilla

La obtención y extracción del material de gravilla triturada para la elaboración de las losas en el laboratorio es de procedencia de la clasificadora Erika Srl. al igual que los demás áridos, cuyo origen es del río Guadalquivir.

Figura 3.2 Material acopiado de la gravilla



Fuente: Elaboración propia

3.1.1.3 Arena

La arena usada para la elaboración de las briquetas de las losas de hormigón en el laboratorio y empleada en los ensayos fue de procedencia de la misma clasificadora de áridos antes mencionados, los cuales son materiales lavados.

3.1.1.4 Cemento

El cemento que se empleó para la elaboración de briquetas tipo losa de hormigón fue de procedencia de la distribución de la cementera El Puente, del tipo IP-30, el cual se obtuvo de una tienda de venta de la ciudad de Tarija.

3.2 ENSAYOS PARA ELABORAR LOSA DE HORMIGÓN

3.2.1 Ensayos de caracterización para losa

Los ensayos requeridos para la elaboración de briquetas a ensayar son los siguientes:

3.2.1.1 Granulometría de agregados (AASHTO: T 27) (ASTM: C-136)

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 tanto grueso como fino.

El objetivo es obtener el porcentaje de material que pasa cada criba 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 muestra, que debe estar dentro de las especificaciones establecidas.

Figura 3.3 Tamices para determinar la granulometría de árido grueso



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.1 Resultado de granulometría del agregado grueso (grava triturada)

Peso total (gr.) = 5000		% que pasa del total
Tamices	tamaño	
	(mm)	
3"	75.00	100.00
2 1/2"	63.00	100.00
2"	50.80	100.00
1 1/2"	38.10	100.00
1"	25.40	87.90
3/4"	19.00	67.30
1/2"	12.50	31.80
3/8"	9.50	12.42
Nº 4	4.75	3.98
Nº 8	2.36	0.88
Nº 10	2.00	0.18
Nº 16	1.18	0.18
Nº 30	0.60	0.18
Nº 50	0.30	0.18
Nº 100	0.15	0.18
Nº 200	0.075	0.18
Base	-	0.15

Fuente: Elaboración propia

Las figuras y hoja de cálculos de agregados se observan en el anexo 1, caracterización de áridos.

Tabla 3.2 Resultado de granulometría del agregado grueso (gravilla triturada)

Peso total (gr.) = 5000		
Tamices	tamaño (mm)	% que pasa del total
2 1/2"	63.00	100.00
2"	50.80	100.00
1 1/2"	38.10	100.00
1"	25.40	100.00
3/4"	19.05	100.00
1/2"	12.50	99.80
3/8"	9.50	76.44
Nº 4	4.75	21.04
Nº 8	2.36	2.04
Nº 10	2.00	0.08
Nº 16	1.18	0.08
Nº 30	0.60	0.08
Nº 50	0.30	0.08
Nº 100	0.15	0.08
Nº 200	0.075	0.08
Base	-	0.05

Fuente: Elaboración propia

Las figuras y hoja de cálculos de agregados se observan en el anexo 1

Tabla 3.3 Resultado de granulometría de agregado fino (arena triturada lavada)

Peso total (gr.) = 500		
Tamices	tamaño (mm)	% que pasa del total
2 1/2"	63.00	100.00
2"	50.80	100.00
1 1/2"	38.10	100.00
1"	25.40	100.00
3/4"	19.00	100.00
1/2"	12.50	100.00
3/8"	9.50	100.00
Nº 4	4.75	94.40
Nº 8	2.36	85.00
Nº 16	1.18	63.08
Nº 30	0.60	41.74
Nº 50	0.30	23.26
Nº 100	0.15	8.06
Nº 200	0.075	2.40
Base	-	0.32

Fuente: Elaboración propia

Las figuras y hoja de cálculos de agregados se observan en el anexo 1, caracterización de áridos.

3.2.1.2 Método para determinar el equivalente de arena (ASTM: D2419)

El equivalente de arena está definido como el porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, partículas arcillosas, húmica y eventualmente ferruginosas presentes en un agregado pétreo fino (bajo el tamiz Nº4=4.75 mm).

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 (Nº 4).

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

Arena: Equivalente de arena

Para realizar la práctica de equivalente de arena, se procedió a mezclar bien el material (arena a temperatura ambiente), mezclando correctamente y se agregó a las probetas para el ensayo.

Figura 3.4 Preparación de material



Fuente: Elaboración propia

Se adicionó 6.75 ml del defloculante, la arena y luego se rellenó las tres muestras con agua destilada hasta completar los 300 ml de la probeta.

Figura 3.5 Adicionando la arena a las probetas



Fuente: Elaboración Propia

Se hizo la primera lectura de límites observables a los 20 minutos, la segunda lectura a los 30 minutos y la toma de lectura tres de las tres muestras ensayadas a las 24 horas.

Determina el resultado del porcentaje de arena

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

Resultado del ensayo de equivalente de arena

$$E. A. = \frac{10.50}{11.10} * 100 = 94.59 \%$$

$$E. A. = \frac{10.30}{11.30} * 100 = 91.15 \%$$

$$E. A. = \frac{10.30}{11.30} * 100 = 91.15 \%$$

Tabla 3.4 de valores del equivalente de arena para el sellador

Muestra del equivalente de arena	Unidad	Valor
Equivalente de arena (muestra 1)	%	89.19
Equivalente de arena (muestra 2)	%	91.15
Equivalente de arena (muestra 3)	%	91.89
Promedio (%)		90.74

Fuente: Elaboración propia

El equivalente de arena resultante es el promedio de las tres lecturas, el mismo que resulta igual a 92.30 % , mayor al 50% que la norma específica como mínimo.

3.2.1.3 Determinación del peso específico de los áridos

Arena: Peso específico

Se preparó la arena de manera que se puso a saturar un día anterior, para que ésta esté durante 24 horas reposando en agua y así poder realizar la práctica de peso específico en una muestra de 500 gramos.

Con la muestra saturada a 24 horas se separó el agua y se procedió a secar las caras de las partículas con un secador hasta que la misma deba ser sometida a la prueba del cono. Como se muestra en la siguientes figuras, se debe tener cuidado en el secado de caras de la arena, cuando el material haya llegado a estar en condiciones, se debe agregar al matraz y tomar el peso, sin olvidar de hacer la calibración del matraz a través del método del peso-volumen, posteriormente con el material en el matraz se agrega agua hasta llenar 500 ml, luego se devuelve el material sin perder partícula a una bandeja para dejarlo secar en el horno durante 24 horas a una temperatura de 105 °C, ahy se toma la última lectura para proceder al cálculo correspondiente y determinar el peso específico de la arena y su porcentaje de absorción.

Figura 3.6 Pasos seguidos en la obtención del peso específico de arena



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5 Resultados del peso específico de la arena

P. E. a granel (gr/cm ³)	P. E. saturado con sup. seca (gr/cm ³)	P. E. aparente (gr/cm ³)	% de absorción
2.53	2.60	2.74	2.94
2.52	2.60	2.73	2.90
2.54	2.61	2.75	2.88

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6 Resultados promedios del peso específico de la arena

P. E. a granel (gr/cm ³)	P. E. saturado con sup. seca (gr/cm ³)	P. E. aparente (gr/cm ³)	% de absorción
2.53	2.61	2.74	2.91

Fuente: Elaboración propia

Grava: Peso específico

Este método tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando es sumergido en agua por un periodo de tiempo.

Resumen del método

Se prepara la muestra pesando porciones de 5000 g de agregado, tanto de la grava y gravilla en estado seco, se sumergirá la muestra, material retenido en el tamiz N° 4 durante 24 horas para quitar las impurezas y el material fino del agregado, después del periodo de inmersión se secará la muestra con un paño con el fin de eliminar el exceso de agua superficial, se pesará y se asignará como variable B, se volverá a sumergir, se determinará el peso sumergido y se designará como variable C.

Se secará la muestra en el horno a una temperatura de 105°C, y se determinará el peso seco, designado como variable A, con estos datos se realizará el cálculo del peso específico.

Figura 3.7 Pesaje del material



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8 Muestra saturada



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9 Muestras para peso específico de agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7 Resultados peso específico del agregado grueso

P. E. a granel (gr/cm ³)	P. E. saturado con sup. seca (gr/cm ³)	P. E. aparente (gr/cm ³)	% de absorción
2.57	2.61	2.68	1.61

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8 Resultados peso específico del agregado grueso (gravilla)

Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico saturada con sup. Seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	Porcentaje de absorción (%)
2.56	2.61	2.70	2.09

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.4 Peso unitario de los agregados (ASTM: C 29 M) (AASHTO T 19)

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.

Resumen del método

Este ensayo se realizará para peso suelto y peso compactado. El peso suelto se determina llenando el recipiente con el agregado hasta el ras de la superficie del cilindro, se enrasa el excedente y se toma el peso suelto, repitiendo el mismo tres veces.

Para el peso compactado se realiza en tres capas, para ello se llena 1/3 de la parte del cilindro con el agregado, se apisona con una barra metálica, mediante 25 golpes, esto se realiza con las dos capas faltantes y 3 veces para corroborar el ensayo.

Finalmente, se llena el recipiente con la última capa hasta la superficie y se compacta con 25 golpes y se enrasa el excedente, procediendo a pesar, con ello, se determina el peso unitario compactado y se toma el promedio de estos valores como válidos.

Tabla 3.9 Resultados peso unitario del agregado grueso (suelto)

N° de Muestra	Peso unitario suelto (g/cm ³)
1	1.32
2	1.32
3	1.32
Promedio	1.32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10 Resultados peso unitario del agregado grueso (compactado)

N° muestra	Peso unitario compactado (g/cm ³)
1	1.44
2	1.44
3	1.44
Promedio	1.44

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11 Resultados peso unitario de gravilla (suelto)

N° Muestra	Peso unitario suelto (g/cm ³)
1	1.33
2	1.33
3	1.33
Promedio	1.33

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12 Resultados peso unitario de gravilla (compactado)

N° Muestra	Peso unitario compactado (g/cm ³)
1	1.41
2	1.41
3	1.41
Promedio	1.41

Fuente: Elaboración propia

Peso unitario: Arena

Figura 3.10 Procedimiento del ensayo de peso unitario del material fino



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.13 Resultados peso unitario del agregado fino (suelto)

N° Muestra	Peso unitario suelto (g/cm ³)
1	1.67
2	1.67
3	1.67
Promedio	1.67

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14 Resultados peso unitario del agregado fino (compactado)

N° Muestra	Peso unitario compactado (g/cm ³)
1	1.74
2	1.74
3	1.74
Promedio	1.74

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.5 Ensayo de desgaste de los ángeles (ASTM : C131) (AASHTO: T96)

Este ensayo es para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, plano de debilitamiento, plano de cristalización, forma de las partículas, cuyo objetivo es determinar la dureza de los materiales pétreos que se emplean en mezclas asfálticas.

Se tamizará el material de acuerdo a la (Tabla 3.15) y se mezclarán las cantidades de acuerdo a lo indicado. La muestra preparada se introducirá a la máquina de los ángeles junto con las esferas de metálicas de acuerdo al tipo de gradación del material a ser analizado, se asegurará la máquina y se procederá a dar 500 revoluciones. Finalizado el tiempo de rotación se sacará el material y se tamizará en la criba N° 12, el material retenido se lavará, se secará al horno a una temperatura constante de 105 °C y finalmente se tomará el peso de la muestra seca.

Tabla 3.15 Número de esferas para ensayo de agregados gruesos

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (g)			
Pasa	Retenido				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N° 4			2500±10	
N° 4	N° 8				5000±10
Peso total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
N° de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		15	15	15	15

Fuente: Guía de laboratorio de tecnología del hormigón

Figura 3.11 Máquina de los ángeles en el proceso del ensayo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.16 Resultados promedio del ensayo de grava

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM C131
B	5000	3862	22.76	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17 Resultados promedio del ensayo de gravilla

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM C131
B	5000	4298.47	14.04	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

Las figuras y hoja de cálculos de agregados se observan en el anexo 1

3.3 DOSIFICACIÓN DE LOSAS DE HORMIGÓN

La dosificación de la mezcla se realizó según la recomendación de la norma ACI-211.1, mediante la cual se realizó el cálculo de las proporciones de los materiales de agregados, más cemento IP30 de la fábrica el Puente para la elaboración de losas de hormigón con trabazón de agregado.

Para la elaboración de briquetas de ensayo se procedió a dosificar la mezcla y elaborar los elementos a ensayar en laboratorio, siguiendo el procedimiento según normativa.

Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.

Tabla 3.18 Asentamiento

Consistencia	Asentamiento cm
Muy seca	0-2,0
Seca	2,0-3,5
Semi - seca	3,5-5,0
Media	5,0-10,0
Húmeda	10,0-15,0
Muy húmeda	15,0 o más

Fuente: Procedimiento de Diseño ACI-211

Tabla 3.19 Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción

Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en pulg. (mm.)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 - 15	1/2"(12) - 3/4"(19)	3/4"(19)	3/4"(19) - 1"(25)	3/4"(19) - 1 3/4"(44)
19 - 29	3/4"(19) - 1	1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38) - 3"(76)
30 - 74	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)
75 o más	1 1/2"(38) - 3"(76)	6"(152)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76) - 6"(152)

Fuente: Procedimiento de Diseño ACI-211

Tabla 3.20 Relación asentamientos y tamaños máximos de agregados

Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)			
		9.51 3/8"	12.70 1/2"	19.00 3/4"	25.40 1"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de hormigón			
0	0	213	185	171	154
25	1	218	192	177	161
50	2	222	197	183	167
75	3	226	202	187	172
100	4	229	205	191	176
125	5	231	208	194	179
150	6	233	212	195	182
175	7	237	216	200	187
200	8	244	222	206	195

Fuente: Procedimiento de Diseño ACI-211

Tabla 3.21 Relación de resistencia a la compresión y agua-cemento

Resistencia a la compresión Kg/cm ²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0.72	0.65
175	-	0.65	0.58
210	0.7	0.58	0.53
245	0.64	0.53	0.49
280	0.59	0.48	0.45
315	0.54	0.44	0.42
350	0.49	0.40	0.38

Fuente: Procedimiento de Diseño ACI-211

Tabla 3.22 Relación del tamaño máximo nominal y módulo de finura de la arena

Tamaño máximo		Módulo de finura de la arena			
mm.	pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.7	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25.4	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
38.1	1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
50.8	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
76.1	3"	0.82	0.80	0.78	0.76
152.0	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Procedimiento de Diseño ACI-211

Tabla 3.23 Resultados pesos secos de las proporciones de material por (m³) de concreto

Ingrediente	Peso Seco kg/m³	Volumen absoluto lt/m³	Peso específico gr/cm³
Cemento	430.00	136.51	3.15
Agua	172	172	1
Grava	933.40	348.28	2.68
Arena	940.39	343.21	2.74

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24 Resultado de proporciones de mezcla para 5 briquetas cúbicas

cantidades de material + un 30% tomando como perdida		
cemento	2.24	kg
agua	0.89	lts.
grava	3.64	kg
gravilla	1.21	kg
arena	4.89	kg

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Molde de losa

El molde empleado para la losa a ensayar, en formación de junta, grieta y fisura es construido de madera, con dimensiones de (10 * 10 * 8) cm³, modelados de acuerdo al trabajo realizado por Tejerina V.I.R.,(2018),Analizar el Comportamiento del Cemento Asfáltico Reciclado Mezclado con Sellador Silícico en las Juntas de Pavimento Rígido. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Tarija, Bolivia.

Figura 3.12 Molde de ensayo



Fuente: Elaboración propia

Con los moldes preparados se procedió a dosificar en laboratorio, teniendo los áridos limpios, secos, los instrumentos listos para proceder a obedecer el cálculo de dosificación.

Se elaboró para 10 moldes de madera de dimensión volumétrica: $V = (\text{lado1} * \text{lado2} * H)$

$V(5\text{moldes}) = (10 * 10 * 8) = 80 \text{ cm}^3$, de acuerdo a los datos de la Tabla 3.24. proporciones de mezcla resultante para 5 briquetas cúbicas, doblándose esta cantidad se dosifico 10 moldes.

Se tomó en cuenta el 30 % de pérdidas por que los moldes eran pequeños y cabía la posibilidad de mayores pérdidas de material. Se inició con el pesado de material a emplear, se procedió con la mezcla durante un tiempo para lograr la homogenización del material dosificado y posteriormente con los moldes ya listos y aceitados para evitar el pegado de ellos, se depositó la mezcla.

Figura 3.13 Mezclado de material



Fuente: Elaboración propia

Dentro de este procedimiento se verifico los datos de asentamiento en el cono de Abrams, golpes de ensayo de acuerdo a la normativa y enrasado de excedente de material.

Figura 3.14 Moldes con la mezcla



Fuente: Elaboración propia

Luego de ser dosificados los moldes se esperó 24 horas, teniendo en cuenta que estos no pierdan demasiado calor hasta el desmoldado y se los llevo a ser curados en agua. Las muestras dosificadas fueron 39 unidades, tanto para juntas, grietas y fisuras.

Tomando en cuenta los días de curado se procedió a la rotura e inducción de carga para lograr las fisuras y grietas de las muestras.

3.4 MATERIAL PARA LA COMBINACIÓN DEL SELLADOR ASFÁLTICO

3.4.1 Cemento asfáltico

El asfalto que se empleó en la mezcla del sellador es de procedencia del proyecto de asfaltado de la carretera interprovincial puente Méndez-Sella Méndez, del tipo 85/100 Pen (procedencia peruana).

Figura 3.15 Asfalto en tambor de 200 Kg



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25 Ficha técnica del cemento asfáltico de valores de producción

Asfalto 85-100PEN			
Prueba	Método ASTM	Resultado	Unidad
Gravedad específica 25/25 °C	ASTM D – 70	10000-10015	-
Viscosidad a 135 °C	ASTM D – 2170	Mínimo 170	cSt
Penetración a 25°C,100 g, 5s	ASTM D – 5	85-100	1/10 mm
Índice de penetración	AASHTO	-2.00 - +1.00	-
Punto de inflamación	ASTM D – 92	Mínimo 232	°C
Ensayo a la mancha(20 % xileno)	ASTM D – 1328	Negativo	-
Solubilidad en tricloroetileno	ASTM D – 2042	Mínimo 99	%
Penetración retenida	ASTM D – 1754	Mínimo 47	%
Ductilidad a 25 °C, 5cm/min	ASTM D – 113	Mínimo 75	cm
Punto de ablandamiento	ASTM D – 36	41.40-53.20	°C

Fuente: Ficha del cemento asfáltico 85/100

3.4.2 Silicio en polvo

El silicio en polvo, producto químico como aditivo y/o modificador, se compró de una distribuidora de productos químicos de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, como sílice en polvo y finura inferior al tamiz N°200 (0.075 mm).

Figura 3.16 Presentación de sílice en polvo



Fuente: Elaboración propia

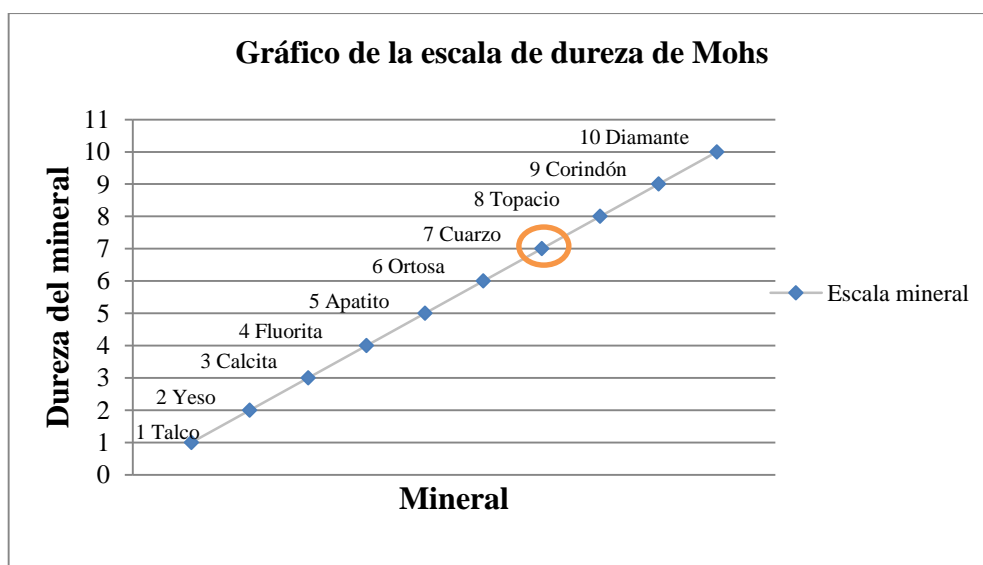
FICHA TÉCNICA DE SILICIO EN POLVO

El silicio procede de rocas ricas en sílice, tanto intrusivas como extrusivas y sedimentarias como las areniscas. Es por causa de su estabilidad química y física el

mineral detrítico más abundante, y entre todos los minerales casi el único que constituye un compuesto químico puro, ya que su composición suele ser 100% de SiO₂ (46.7% de Si y 53.3% de O₂).

El cuarzo o bióxido de silicio SiO₂ cristaliza en el sistema trigonal. Se presenta en cristales prismáticos terminados generalmente en una combinación de romboedros positivos y negativos que en ciertas ocasiones tienen idéntico desarrollo y producen el efecto de una bipirámide hexagonal. Tiene una dureza de 7 en escala de Mohs; peso específico de 2.33 g/cm³; carece de exfoliación evidente, tiene propiedades piroeléctricas y piezoeléctricas.

Figura 3.17 Escala de dureza de los minerales



Fuente: Elaboración propia

El color del cuarzo varía de incoloro a blanco lechoso, amarillo, morado y gris. Las variedades transparentes o traslúcidas microcristalinas tienen nombres especiales como: variedad cristalina, cristal de roca, cuarzo rutilado, ojo de gato, venturina, cuarzo ferrífero, citrino, cuarzo ahumado, amatista y cuarzo rosa.

Este mineral es útil debido a sus propiedades inherentes, entre las cuales se pueden citar las siguientes: es químicamente inerte en un rango muy amplio de pH, lo que permite su aglutinamiento sin dejar residuos ajenos a la mezcla, conservando sus características físicas, aún en condiciones de carga y temperatura refractaria; molida se emplea como material de relleno en pastas de pulir, así como filtro de líquidos y para tratamientos abrasivos en la forma de chorros de arena. Los requerimientos que establecen las

industrias consumidoras son muy específicos y particulares. El uso en cada rama industrial es diverso, utilizándose como materia prima, producto terminado y en algunos casos se llega a usar sin eliminar los contaminantes. La materia prima es empleada principalmente en las industrias del vidrio y cerámica, metalúrgica y fundición, construcción, abrasivos, productos químicos a base de sílice, industria del petróleo y electrónica.

Desde un punto práctico, la mineralogía de los materiales más comunes actúa como llenantes minerales, los más comunes están: Silicatos, óxidos, carbonatos, sulfatos, sulfuros, fosfatos y otros materiales de alteraciones minerales.

La granulometría del llenante mineral va directamente ligada con la finura que tienen las partículas y es una de las características más importantes que influye al momento de obtener un filler óptimo para ser utilizado en mezclas asfálticas.

Debido a la finura del llenante mineral, éste presenta una mayor actividad química frente al asfalto. Es técnicamente conveniente conocer la distribución de tamaños de las partículas menores al tamiz No. 200, debido a que éstas ejercen una influencia importante en las propiedades del material, ayudando también a prever su comportamiento a futuro.

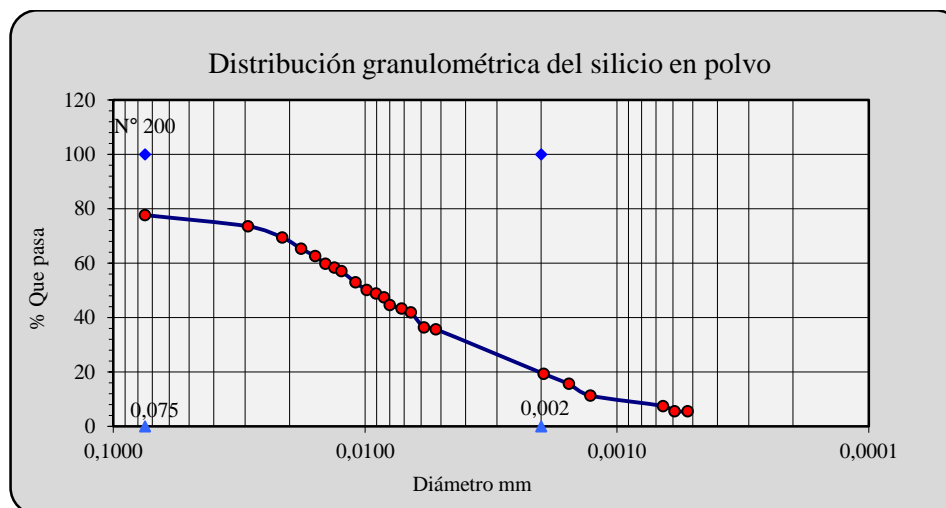
Silicio en polvo

La composición mineralógica del llenante mineral es un factor importante al momento de evaluar la adhesión de las partículas. Si se utiliza un filler, al adicionarlo al asfalto se presenta una adhesión mecánica causada por el aumento o reducción de su viscosidad de la composición sello. La mineralogía de la mayoría de materiales utilizados como llenantes minerales para mezclas asfálticas está constituida de minerales compuestos por sílice o dióxido de silicio, con más cantidad en algunos y con menos en otros. Siendo dicho componente el más importante en cuanto al comportamiento de los materiales con el asfalto. El silicio es el constituyente común de las rocas ígneas, el cuarzo y la arena. Actúa como desecante, es decir que quita la humedad del lugar en que se encuentra. Su comportamiento en las mezclas asfálticas se basa en gran importancia debido a su contenido de silicio, este elemento electropositivo es el más abundante de la corteza terrestre después del oxígeno, tiene un punto de fusión de 1.411°C , un punto de ebullición de 2.355°C , una densidad relativa teórica de 2,33 y su masa atómica es

28,086. A temperaturas normales el silicio no es atacado por el aire, pero a temperaturas elevadas reacciona con el oxígeno formando una capa de sílice que impide continuar la reacción.

La granulometría por medio del método del hidrómetro tipo 152-H demuestra que las partículas del material silicio en polvo, tiene las características emplazadas en la siguiente gráfica.

Figura 3.18 Granulometría de silicio en polvo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26 Valores característicos de silicio en polvo

Característica	Unidad	Valor
Pureza	%	76.12
Peso específico	g/cm ³	2.33
Material limoso	%	94.49
Material arcilloso	%	5.51
Granulometría	Todas las partículas pasan el tamiz N° 200	

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Agregado fino como componente para sellos

La procedencia del material (arena triturada con contenido de filler), que propongo a ser un agregado más del sellador presentado a evaluar, es de procedencia de la clasificadora Erika Srl. la misma que no es arena que pasa por el proceso de lavado, sino mantiene su contenido de material fino entre sus partículas.

Características del agregado fino como parte componente del sellador asfáltico.

En esta prueba se ensayó 3 muestras, de las cuales se hizo el tamizado en el equipo proctor eléctrico mecanizado del laboratorio.

Tabla 3.27 Resultados de granulometría del agregado pétreo (arena triturada)

Peso total (gr.) = 500		
Tamices	tamaño (mm)	% que pasa del total
2 1/2"	63.00	100.00
2"	50.80	100.00
1 1/2"	38.10	100.00
1"	25.40	100.00
3/4"	19.00	100.00
1/2"	12.50	100.00
3/8"	9.50	100.00
Nº 4	4.75	100.00
Nº 8	2.36	94.00
Nº 16	1.18	80.80
Nº 30	0.60	62.40
Nº 50	0.30	39.86
Nº 100	0.15	18.46
Nº 200	0.075	1.66
Base	-	0.78

Fuente: Elaboración propia

Las figuras y hoja de cálculos de agregados se observan en el anexo 1, de caracterización de áridos en 3 ensayos.

Para el ensayo de equivalente de arena

Resultado del ensayo de equivalente de arena

$$E. A. = \frac{9.50}{17.50} * 100 = 54.29 \%$$

$$E. A. = \frac{9.80}{16.40} * 100 = 59.76 \%$$

$$E. A. = \frac{9.40}{17.60} * 100 = 53.41 \%$$

Tabla 3.28 de valores del equivalente de arena para el sellador

Muestra del equivalente de arena	Unidad	Valor
Equivalente de arena (muestra 1)	%	54.29
Equivalente de arena (muestra 2)	%	59.76
Equivalente de arena (muestra 3)	%	53.41
Promedio (%)		55.82

Fuente: Elaboración propia

3.5 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

El sellador usado en pavimentos tiene como objetivo formar un compuesto elástico y adhesivo, resistente a los cambios de temperatura y a las diferentes cargas que tiene que soportar durante su vida útil, manteniendo sus características de adherencia, y otros. Para el presente objetivo, solo se va a verificar los ensayos de penetración y punto de ablandamiento, para obtener resultados de adicionar sílice en polvo a la mezcla en caliente del asfalto convencional tipo 85-100, usado en el medio por tener especificaciones favorables para clima templado según especificación de fabricación.

Tabla 3.29 Ensayos de caracterización del cemento asfáltico y el aditivo

% de aditivo	Penetración	Punto de ablandamiento	Ductilidad
Dato del número de veces ensayadas			
0	3	1	3
1	3	1	3
3	3	1	3
6	3	1	3
8	3	1	3
10	3	1	3
Promedio	18	6	18

Fuente: Elaboración propia

3.5.1 Ensayo de penetración de asfalto (ASTM: D5) (AASHTO: T49-97)

Este método describe un procedimiento para determinar el grado de dureza, mediante un equipo denominado penetrómetro. Este ensayo de penetración se realiza por medio de un cono estándar que penetra verticalmente dentro de la muestra, bajo condiciones específicas de temperatura, carga y tiempo. Si no se mencionan específicamente otras condiciones, se determina la penetración normal a 25 °C.

Resumen del ensayo

Se diluyó la muestra de cemento asfáltico a temperatura cuidada de evitar que se sobrecaliente luego se agregó y se enfrió la muestra en un baño hasta una temperatura determinada. La penetración se realizó con una aguja cargada con 100 g y la carga se aplicó durante 5 segundos cronometrados. La unidad de penetración es la décima de milímetro.

En consecuencia, se procedió al ensayo de verificación de dureza mediante el ensayo con asfalto calentado, diluido y ensayado en condiciones normales, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 3.30 Resultados de penetración del asfalto

Muestra	Con carga de 100 g., 25 °C, 5 s (0.1 mm)			
				Promedio
Tara 1	96	94	93	94.33
Tara 2	94	96	94	94.67
Tara 3	95	96	94	95.00

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.30, muestra los resultados y sus promedios de las lecturas del ensayo de penetración del asfalto en condiciones normales.

Tabla 3.31 Resultados de penetración del asfalto más el 1 % de silicio

Muestra	Con carga de 100 g., 25 °C, 5 s (0.1 mm)			
				Promedio
Tara 1	96	97	97	96.67
Tara 2	98	97	99	98.00
Tara 3	99	98	97	98.00

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.31, muestra los resultados y sus promedios de las lecturas del ensayo de penetración del asfalto más la adición del 1 % de silicio como modificador, donde se aprecia cambios poco significativos en los resultados obtenidos en el ensayo de penetración.

Tabla 3.32 Resultados de penetración del asfalto más el 3 % de silicio

Muestra	Con carga de 100 g., 25 °C, 5 s (0.1 mm)			
				Promedio
Tara 1	97	100	97	98.00
Tara 2	101	98	98	99.00
Tara 3	98	100	98	98.67

Fuente: Elaboración propia

La (tabla 3.32), muestra el promedio de las lecturas del ensayo de penetración del asfalto más la adición de silicio en polvo del 3% como modificador, cuyos cambios de ablandamiento son poco apreciables.

Tabla 3.33 Resultados de penetración del asfalto más el 6 % de silicio

Muestra	Con carga de 100 g., 25 °C, 5 s (0.1 mm)			Promedio
Tara 1	101	101	104	102.00
Tara 2	110	110	115	111.67
Tara 3	115	110	115	113.33

Fuente: Elaboración propia

La (tabla 3.33), muestra el promedio de las lecturas del ensayo de penetración del asfalto el 6 % de silicio, donde se observa que el producto provoca ablandamiento al cemento asfáltico hasta valores de 112.5, depurándose el valor de lectura de 102 cm por no encontrarse en el rango de margen de error.

Tabla 3.34 Resultados de penetración del asfalto el 8 % de silicio en polvo

Muestra	Con carga de 100 g., 25°C, 5 s (0.1 mm)			Promedio
Tara 1	190	194	194	192.67
Tara 2	192	195	195	194.00
Tara 3	194	195	196	195.00

Fuente: Elaboración propia

La (tabla 3.34), muestra los resultados y el promedio de las lecturas del ensayo de penetración del asfalto más la adición de silicio en polvo del 8% como modificador. Aquí se aprecian cambios importantes de ablandamiento en el cemento asfáltico, de una dureza 85-100 a una dureza promedio de 193.89 décimas de milímetro lecturadas en el penetrómetro.

Tabla 3.35 Resultados de penetración del asfalto el 10 % de silicio en polvo

Muestra	Con carga de 100 g, 25°C, 5 s (0.1 mm)			Promedio
Tara 1	196	198	196	196.67
Tara 2	200	198	200	199.33
Tara 3	200	199	200	199.33

Fuente: Elaboración propia

La (tabla 3.35), muestra los resultados y sus promedios de las lecturas del ensayo de penetración del asfalto más la adición de silicio en polvo del 10 % como modificador, aquí se aprecian cambios de dureza a este porcentaje similares a los resultados con la adición del 8 %.

3.5.2 Ensayo de ductilidad (ASTM D113, AASHTO T51-00)

Este método de ensayo determina la ductilidad de un asfalto como la longitud, medida en cm, la cual se somete a alargamiento antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta confeccionada con una muestra se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas.

A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de 25 +/- 0,5 °C y a una velocidad de 5 cm/min +/- 5%.

Resumen del ensayo

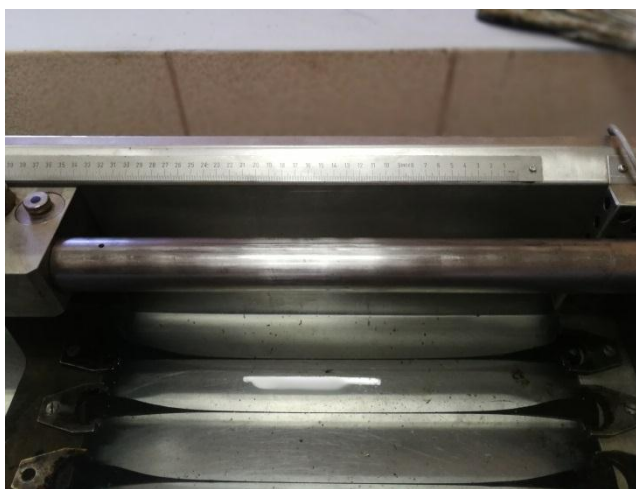
Se debe alistar los moldes a ensayar, para ellos con vaselina y talco se hace una mezcla y se rebosa las briquetas normadas para el ensayo, luego se calienta la muestra y se vierte en las briquetas ya listas hasta llenar el espacio de almacenamiento para el ensayo, luego se reserva hasta un tiempo de 15 minutos y se enraza calentando una espátula y quitando el exceso de material. Posterior a ello, se calienta el agua a temperatura especificada de 25 °C, una vez enfriado a un tiempo aproximado de 30 minutos, se procede a desmoldar y ensayar las muestras. La ductilidad será la longitud medida en centímetros, distancia a la cual se alargará antes de romper la muestra, cuando se tira de un extremo del espécimen ensayado a una velocidad constante especificada por el equipo de ductilímetro.

Figura 3.19 Procedimiento del ensayo de ductilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20 Muestras en el ductilímetro



Fuente: Elaboración propia

Ensayo con 0 % de adición de modificador

Briqueta 1 = 100 cm

Briqueta 2 = 102 cm

Briqueta 3 = 105cm

Figura 3.21 Briquetas con 0 % de adición de silicio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.36 Resultados de ductilidad del asfalto 85-100

Promedio (cm)	Especificaciones	
	Min	Max
102.33	>100 cm	-

Fuente: Elaboración propia

Con la adición del 1 % de silicio al asfalto se tiene los siguientes resultados, para ello se previno de un mezclado rápido y continuo, evitando el quemado o la burbuja en el asfalto caliente:

Briqueta 1 = 70.00 cm

Briqueta 2 = 70.00 cm

Briqueta 3 = 75.00 cm

Tabla 3.37 Resultados de ductilidad del asfalto más el 1 % de silicio

Promedio (cm)	Especificaciones	
	Min	Max
71.66	>100 cm	-

Fuente: Elaboración propia

Con la adición del 3 % de silicio al asfalto se tiene los siguientes resultados:

Briqueta 1 = 62.00 cm

Briqueta 2 = 64.00 cm

Briqueta 3 = 66.00 cm

Tabla 3.38 Resultados de ductilidad del asfalto más el 3 % de silicio

Promedio (cm)	Especificaciones	
	Min	Max
64.00	>100 cm	-

Fuente: Elaboración propia

Con la adición del 6 % de silicio al asfalto se tiene los siguientes resultados:

Briqueta 1 = 60.00 cm

Briqueta 2 = 60.00 cm

Briqueta 3 = 61.00 cm

Tabla 3.39 Resultados de ductilidad del asfalto más el 6 % de silicio

Promedio (cm)	Especificaciones	
	Min	Max
60.33	>100 cm	-

Fuente: Elaboración propia

Con la adición del 8 % de silicio al asfalto se tiene los siguientes resultados:

Briqueta 1 = 58.00 cm

Briqueta 2 = 56.00cm

Briqueta 3 = 55.00 cm

Tabla 3.40 Resultados de ductilidad del asfalto más el 8 % de silicio

Promedio (cm)	Especificaciones	
	Min	Max
56.33	>100 cm	-

Fuente: Elaboración propia

Con la adición del 10 % de silicio al asfalto se tiene los siguientes resultados:

Briqueta 1 = 54.00 cm

Briqueta 2 = 52.00 cm

Briqueta 3 = 54.00 cm

Tabla 3.41 Resultados de ductilidad del asfalto más el 10 % de silicio

Promedio (cm)	Especificaciones	
	Min	Max
53.33	>100 cm	-

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.22 Muestras en el ductilímetro del asfalto más el 10 % de silicio



Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Ensayo del punto de ablandamiento (ASTM: D36-89)

El punto de ablandamiento es otra medida de consistencia y se determina usualmente con el aparato del anillo y bola. Se establece entonces un punto de ablandamiento-fluidez, determinado por la temperatura aplicada al material, según su especificación técnica del producto asfáltico, los valores normales oscilan entre 41.40 a 53.20 °C

Resumen del método

El ensayo consiste en llenar de asfalto diluido en un anillo de dimensiones normalizadas, para luego dejar enfriar a temperatura ambiente durante 20 minutos, en la superficie central de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso específico. Luego se somete a la muestra a un baño de agua, se calienta el baño de tal manera que la temperatura del agua aumente constantemente y posteriormente se registra el dato observado a la temperatura en el momento en que la bola de acero provoca deformación hasta fondo del vaso de cristal. Esta temperatura es el punto de ablandamiento medido en (°C).

Tabla 3.42 Resultados de ablandamiento del asfalto en condiciones normales

Promedio (°C)	Especificaciones °C	
	Min	Max
45.50	41.40	53.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.43 Resultados de ablandamiento del asfalto más el 1 % de silicio

Promedio (°C)	Especificaciones °C	
	Min	Max
44.50	41.40	53.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.44 Resultados de ablandamiento del asfalto más el 3 % de silicio

Promedio (°C)	Especificaciones °C	
	Min	Max
44.00	41.4	53.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.45 Resultados de ablandamiento del asfalto más el 6 % de silicio

Promedio (°C)	Especificaciones °C	
	Min	Max
42.50	41.40	53.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.46 Resultados de ablandamiento del asfalto más el 8 % de silicio

Promedio (°C)	Especificaciones °C	
	Min	Max
42.00	41.40	53.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.47 Resultados de ablandamiento del asfalto más el 10 % de silicio

Promedio (°C)	Especificaciones °C	
	Min	Max
40.50	41.40	53.20

Fuente: Elaboración propia

En los ensayos de caracterización se pudo observar que los cambios con la adición de silicio en polvo en las propiedades del cemento asfáltico normales cambiaron, pasando de un cemento asfáltico de grado 85 – 100 (0.1mm), a un cemento de grado 192 - 199.33 (0.1 mm) de dureza, quiere decir con un comportamiento muy blando y plástico con la

adición de 8 % y 10 % de silicio, con características ideales según especificación del producto para climas fríos, en el ensayo de ductilidad se observó que el producto colapsó en el alargamiento y no se vio rotura en las muestras ensayadas.

3.6 PREPARACION Y DOSIFICACIÓN DEL SELLADOR ASFÁLTICO

3.6.1 Preparación del sellador asfáltico

Guía de aplicación de materiales para el sellador asfáltico en el laboratorio

- 1.- Preparado de materiales (pesos y proporciones)
- 2.- Mezclado del silicio y arena hasta conseguir una mezcla homogénea.
- 3.- Llevar la muestra a una hornilla para el mezclado con la proporción del cemento asfáltico.
- 4.- Mezclar durante un tiempo determinado según la paleta de mezclado, teniendo cuidado de no permitir la formación de burbujas y sobrecalentado del material sellador, se recomienda mantener la temperatura de mezclado a 110 °C.
- 5.- Vertido del sellador a temperaturas superiores de 5 °C, sugerido según el criterio de normativas de sellos en caliente.

Guía de aplicación de materiales para el sellador asfáltico en el sitio

Procedimiento de ejecución:

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. Identificar las zonas de fisuras y grietas a sellar, procediendo a marcarlas e identificarlas para trabajarlas. Estas marcas indican el inicio y final de cada grieta y fisura.
3. Realizar la limpieza de la superficie utilizando escobillado y un chorro de aire a presión (presión mínima 120 psi). Tanto el espacio formado por las fallas, como el área adyacente a la misma, debe estar libre de polvo o de cualquier otro material.

4. Aplicar el material sellante tomando especial cuidado de producir una adherencia efectiva del sellado con las paredes de la fisura y/o grieta.

El trabajo de sellado solo se debe realizar cuando la temperatura ambiente sea superior a 5° C e inferior a 30°C.

Habilitar el tránsito luego de 8 horas de colocado el sellado

5. Hacer la limpieza general del sitio de trabajo, retirar las señales y dispositivos de seguridad.

3.6.2 Dosificación del sellador asfáltico

La dosificación del sello asfáltico se debe realizar bajo restricción de rangos que según normativa se manejan para el uso de productos modificadores en la concepción de selladores asfálticos, pero a carencia de una normativa propia en nuestro país, la tesis de investigación sobre evaluación de tecnología basada en el uso del silicio como material modificador de una mezcla se realiza para los siguientes datos los cuales se pretende evaluar:

Tabla 3.48 Detalle del número de muestras de ensayos

Muestra	Número de muestras		
	Juntas	Grietas	Fisuras
0 % Si + 50 % C.A. + 50 % arena	3	3	3
1 % Si + 50 % C.A. + 49 % arena	3	3	3
3 % Si + 50 % C.A. + 47 % arena	3	3	3
6 % Si + 50 % C.A. + 44 % arena	3	3	3
8 % Si + 50 % C.A. + 42 % arena	3	3	3
10 % Si + 50 % C.A. + 40 % arena	3	3	3
Promedio	18	18	18
Promedio total muestras	54		

Fuente: Elaboración propia

La dosificación del sellador se hizo teniendo en cuenta cemento asfáltico, silicio y arena

Tabla 3.49 Datos de porcentajes propuestos para la elaboración del sellador asfáltico

Producto	% Propuestos					
Cemento asfáltico	50	50	50	50	50	50
Silicio	0	1	3	6	8	10
Arena	50	49	47	44	42	40

Fuente: Elaboración propia

Se procedió al cálculo en función del peso de materiales y porcentajes a usar para el sellador

Cemento asfáltico en condiciones normales

3 juntas

3 grietas

3 fisuras

Porcentaje 50 % = 124.00 g de cemento asfáltico

Porcentaje 50 % = 124.00 g de arena

Tabla 3.50 Pesos de material al 0 % de silicio

Material	Unidad	Peso
Cemento asfáltico	g	124.00
Silicio	g	0.00
Arena	g	124.00

Fuente: Elaboración propia

Cemento asfáltico con un porcentaje de 50 % C.A. + 1 % Si + 49 % arena

Obtención del peso de silicio a agregar:

124 C. A. → 50 %

$$X \rightarrow 1 \% \text{ Si}$$

$$\text{Si} = 2.48 \text{ g}$$

Obtención del peso de la arena a agregar:

$$124 \text{ C. A.} \rightarrow 50 \%$$

$$X \rightarrow 49 \% \text{ arena}$$

$$\text{Arena} = 121.52 \text{ g}$$

Tabla 3.51 Pesos de material al 1 % con aditivo

Material	Unidad	Peso
Cemento asfáltico	g	124.00
Silicio	g	2.48
Arena	g	121.52

Fuente: Elaboración propia

Cemento asfáltico con un porcentaje de 50 % C.A. + 3 % Si + 47 % arena

Obtención del peso de silicio a agregar:

$$105 \text{ C. A.} \rightarrow 50 \%$$

$$X \rightarrow 3 \% \text{ Si}$$

$$\text{Si} = 6.30 \text{ g}$$

Obtención del peso de la arena a agregar:

$$105 \text{ C. A.} \rightarrow 50 \%$$

$$X \rightarrow 47 \% \text{ Arena}$$

$$\text{Arena} = 98.70 \text{ g}$$

Tabla 3.52 Pesos de material al 3 % con aditivo

Material	Unidad	Peso
Cemento asfáltico	g	105.00
Silicio	g	6.30
Arena	g	98.70

Fuente: Elaboración propia

Cemento asfáltico con un porcentaje de 50 % C.A. + 6 % Si + 44 % arena

Obtención del peso de silicio a agregar:

$$89 \text{ C.A.} \rightarrow 50 \%$$

$$X \rightarrow 6 \% \text{ Si}$$

$$\text{Si} = 10.68 \text{ g}$$

Obtención del peso de la arena a agregar:

$$89 \text{ C.A.} \rightarrow 50 \%$$

$$X \rightarrow 44 \% \text{ arena}$$

$$\text{Arena} = 78.32 \text{ g}$$

Tabla 3.53 Pesos de material al 6 % con aditivo

Material	Unidad	Peso
Cemento asfáltico	g	89.00
Silicio	g	10.68
Arena	g	78.32

Fuente: Elaboración propia

Cemento asfáltico con un porcentaje de 50 % C.A. + 8 % Si + 42 % arena

Obtención del peso de silicio a agregar:

110 C. A. → 50 %

X → 8 % Si

Si = 17.60 g

Obtención del peso de la arena a agregar:

110 C. A. → 50 %

X → 42 % arena

Arena = 92.40 g

Tabla 3.54 Pesos de material al 8 % con aditivo

Material	Unidad	Peso
Cemento asfáltico	g	110.00
Silicio	g	17.60
Arena	g	92.40

Fuente: Elaboración propia

Cemento asfáltico con un porcentaje de 50 % C.A. + 10 % Si + 40 % arena

Obtención del peso de silicio a agregar:

112 C. A. → 50 %

X → 10%Si

Si = 22.40 g

Obtención del peso de la arena a agregar:

112 C. A. → 50%

X → 40 % arena

Arena = 89.60 g

Tabla 3.55 Pesos de material al 10 % con aditivo

Material	Unidad	Peso
Cemento asfáltico	g	112.00
Silicio	g	22.40
Arena	g	89.60

Fuente: Elaboración propia

Las proporciones en pesos de las cantidades de los materiales se emplearon para sellar juntas, grietas y fisuras en las losas de hormigón elaboradas en el laboratorio.

3.6.2.1 Sellado de juntas, grietas y fisuras en el laboratorio

Con la ropa adecuada de manipulación de materiales sellantes en caliente se debe proceder a los siguientes pasos para sellar juntas grietas y fisuras con el fin de proporcionar resultados de selladores asfálticos más la adición de silicio y arena de la clasificadora Erika.

Preparación del armado de juntas con un factor de forma de 1:1.5 según especificación en la tabla 2.8

Los materiales a emplear en la preparación de las briquetas a ensayar para la junta fueron: Balanza, moldes, tirilla o cordón de respaldo, pletinas de plancha de 1cm de ancho, bandeja de calentado de material, espátula de mezcla, cono metálico de aplicación del sellador, guantes y barbijo.

Moldes de dosificación.- Se volverán a emplear los moldes de dosificado de las losas para soportar las juntas armadas.

Figura 3.23 Preparado de la losa para vaciar el sellador



Fuente: Elaboración propia

Se verificó midiendo el ancho del factor de forma para la junta de la losa, para el colocado del material sellante.

Figura 3.24 Medido e identificado del ancho de junta



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las grietas (> 3 mm de grosor de abertura) y fisura (< 2 mm de grosor de abertura), se procede a la preparación de las mismas.

Se procede a realizar una abertura con amoladora en las caras, con el objetivo de permitir el ingreso del material sellador entre sus caras.

Figura 3.25 Aserrado en la superficie de la grieta



Fuente: Elaboración propia

Se limpia bien las caras con una escobilla dejando el reservorio a sellar limpio, luego se aplica el sellador en los diferentes porcentajes propuestos.

Figura 3.26 Proceso de preparación de grietas y fisuras



Fuente: Elaboración propia

Tirilla de respaldo para juntas.- Material de respaldo (backer rod), debe tener un diámetro de 25 % mayor al de la caja de la junta, indicado por ASTM D-5249, donde el diámetro o factor ancho de la junta es 1 cm y de profundidad 1.5 cm.

Figura 3.27 Tirilla de respaldo



Fuente: Elaboración propia

Soportes laterales (pletinas de fierro de 1 cm de ancho), para evitar se pierda material sellador en las juntas.

Figura 3.28 Briqueta con sellador



Fuente: Elaboración propia

✓ Colocado del sellador a juntas, grietas y fisuras

Con el material sellante listo, después de haber obtenido los pesos de cada elemento del sello se procede a realizar la mezcla de la arena y el silicio, se debe lograr una mezcla homogénea, luego a fuego lento se agrega el cemento asfáltico diluido y un mezclado en forma rotacional de toda la pasta hasta obtener una mezcla de sellado homogénea y controlada al fuego, evitando burbujas, o quemar el producto para posteriormente agregar a las briquetas de ensayo.

Se repitió el ensayo con todos los porcentajes y los respectivos cuidados ya que es un material asfáltico preparado y vertido en caliente.

Figura 3.29 Colocado del sellador a grietas y fisuras



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.30 Colocado del sellador a juntas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.31 Muestras de juntas, grietas y fisuras dosificadas



Fuente: Elaboración propia

Después de esperado el tiempo que el sellador repose hasta enfriar en las juntas, grietas y fisuras se procedió con los ensayos para evaluar el sellador asfáltico obtenido.

3.7 ENSAYOS CON SELLADOR EN JUNTAS, GRIETAS Y FISURAS

3.7.1. Ensayo para determinar la textura en juntas, grietas y fisuras

Ensayo estándar para la medición de la profundidad de macrotextura de un pavimento utilizando una técnica volumétrica (mancha de arena), según la norma de referencia: ASTM E965 / NLT-335. Este ensayo es aplicable a cualquier tipo de pavimento, tanto bituminoso como de hormigón. El método sirve como herramienta para caracterizar la textura superficial del pavimento y determinar la calidad de los acabados finales.

El área de prueba fue medida y seleccionada; tomándose un área homogénea y seca que no posea defectos.

La porosidad fue medida mediante el ensayo del método mancha de arena en función de un área dada en la briqueta elaborada y preparada según indica la normativa.

$$\text{Área} = 8 \text{ cm} * 10 \text{ cm}$$

$$\text{Área} = 80 \text{ cm}^2$$

Calculo de la profundidad de la textura en la cara de la junta

$$\text{MTD} = \frac{4 * V}{\text{Pi} * (D)}$$

$$\text{MTD} = \frac{4 * (0.83 \text{ cm}^3)}{\text{Pi} * (10 \text{ cm})}$$

$$\text{MTD} = 0.01 \text{ cm} = 0.1 \text{ mm}$$

Calculo del volumen de la muestra.

$$V_{\text{total}} = A * \text{profundidad briqueta}$$

$$V_{\text{total}} = (80 \text{ cm}^2 * 4.5 \text{ cm})$$

$$V_{\text{total}} = 360 \text{ cm}^3$$

Cálculo de la porosidad de la cara de la junta.

$$\rho(j) = \frac{\text{Volumen de poros}}{\text{Volumen total}} * 100\%$$

$$\rho(j) = \frac{0.80}{360} * 100\%$$

$$\rho(j) = 0.22 \%$$

Área de la losa = 8cm * 10 cm

Área = 80 cm²

Cálculo de la profundidad de la textura en la cara de la grieta - fisura

$$\text{MTD} = \frac{4 * V}{\text{Pi} * (D)}$$

$$\text{MTD} = \frac{4 * (3.75 \text{ cm}^3)}{\text{Pi} * (10 \text{ cm})}$$

$$\text{MTD} = 0.0477 \text{ cm} = 0.477 \text{ mm}$$

Cálculo del volumen de la muestra.

$$V_{\text{total}} = A * \text{profundidad briqueta}$$

$$V_{\text{total}} = (80 \text{ cm}^2 * 4.5 \text{ cm})$$

$$V_{\text{total}} = 360 \text{ cm}^3$$

El volumen de poros

$$V_{\text{poros}} = A * \text{profundidad de textura}$$

$$V_{\text{poros}} = 80 \text{ cm}^2 * 0.0477 \text{ cm}$$

$$V_{\text{poros}} = 3.82 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto la porosidad es calculada por el método de la mancha de arena en un área dada en la cara de la grieta y fisura.

$$\rho(\mathbf{g}) = \frac{\text{Volumen de poros}}{\text{Volumen total}} * 100\%$$

$$\rho(\mathbf{g}) = \frac{3.82}{360} * 100\%$$

$$\rho(\mathbf{g}) = 1.06 \%$$

Mediante este ensayo se pudo obtener la porosidad en la cara de la junta y la porosidad en la cara de la grieta-fisura, partiendo de la obtención de la profundidad de la textura en la cara analizada a partir de un área definida.

Tabla 3.56 Textura de caras en la losa de pavimento de hormigón

Elemento	profundidad de la textura (mm)	Porosidad (%)
Junta	0.1	0.22
Grieta – fisura	0.477	1.06

Fuente: Elaboración propia

Rugosidad

El parámetro de estado más característico de la condición funcional de una superficie y el que incide directamente en los costos de operación de los vehículos es medido a través del índice de rugosidad internacional (IRI). En la presente tesis de investigación de selladores con la adición de silicio en briquetas elaboradas en el laboratorio a partir de la definición de profundidad de textura como lo indica en el apartado 3.7.1, clasifica a la cara de las juntas como una rugosidad plana lisa, mientras que en el caso de las caras de las grietas y fisuras inducidas para el ensayo de selladores asfálticos es clasificada como una superficie plana rugosa la cual tiene influencia en la trabajabilidad del sellador propuesto.

3.7.2 Ensayo para determinar la adherencia del sellador en juntas, grietas y fisuras

Se procedió a ensayar las briquetas selladas en el equipo de corte, cada una de las muestras en el equipo de corte directo en el laboratorio de suelos, teniendo en cuenta la deformación horizontal a la respuesta del desplazamiento y desprendimiento por una fuerza impuesta a una velocidad de 1.5 mm/min, con la ayuda de un soporte metálico, para el sostenimiento de cada briqueta a ensayar.

Se tomó los resultados del ensayo para determinar la adherencia a una velocidad y fuerza dada para observar el comportamiento de los selladores propuestos.

Figura 3.32 Ensayo de adherencia de los selladores



Resultados de ensayo a corte directo

Las siguientes tablas tienen los datos de lecturas obtenidas del ensayo en el laboratorio en juntas.

Tabla 3.57 Lecturas en juntas con asfalto en condiciones normales

Cemento asfáltico 85-100	
Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 1	
cm	mm
0.50	0.00
1.00	1.00
1.50	1.00
Muestra 2	
0.50	0.00
1.00	0.00
1.50	1.00
Muestra 3	
0.50	0.00
1.00	1.00
1.50	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.58 Resultados en juntas con dosificación (0.5:0.01:0.49)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 4	
cm	mm
0.50	0.00
1.00	1.00
1.50	1.00
Muestra 5	
0.50	0.00
1.00	1.00
1.50	1.00
Muestra 6	
0.50	0.00
1.00	1.00
1.50	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.59 Resultados en juntas con dosificación (0.5:0.03:0.47)

Longitud de deformación	Longitud de separación
Muestra 7	
cm	mm
1.00	0.50
2.00	0.70
3.00	1.00
4.00	1.20
Muestra 8	
1.00	0.50
2.00	0.70
3.00	1.00
4.00	1.50
Muestra 9	
1.00	0.50
2.00	0.70
3.00	0.80
4.00	1.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.60 Resultados en juntas con dosificación (0.5:0.06:0.44)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 10	
cm	mm
2.00	0.50
2.50	0.70
3.00	1.00
4.00	1.50
4.50	2.00
Muestra 11	
2.00	0.50
2.50	0.80
3.00	1.00
4.00	2.00
4.50	2.50
Muestra 12	
2.00	0.50
2.50	0.50
3.00	0.80
4.00	1.00
4.50	2.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.61 Resultados en juntas con dosificación (0.5:0.08:0.42)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 13	
cm	mm
1.50	0.50
2.00	0.50
2.50	0.70
3.00	1.00
3.50	2.00
4.50	3.00
Muestra 14	
1.50	0.00
2.00	0.50
2.50	0.50
3.00	1.00
4.00	2.00
4.50	3.00
Muestra 15	
1.50	0.00
2.00	0.50
2.50	0.50
3.00	1.50
4.00	2.00
4.50	3.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.62 Resultados en juntas con dosificación (0.5:0.1:0.4)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 16	
cm	mm
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	2.00
2.00	2.50
2.50	3.00
3.00	4.00
3.50	4.50
Muestra 17	
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	1.50
2.00	2.50
2.50	3.00
3.00	4.00
3.50	4.50
Muestra 18	
0.50	0.50
1.00	1.50
1.50	1.50
2.00	2.50
2.50	3.00
3.00	4.00
3.50	4.50

Fuente: Elaboración propia

Fisuras: Las siguientes tablas detallan lecturas obtenidas en el laboratorio de briquetas con fisuras.

Tabla 3.63 Lecturas en briquetas con fisuras con asfalto en condiciones normales

Cemento asfáltico 85-100	
Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 1	
cm	mm
0.50	0,5
1.00	1.00
1.50	-
Muestra 2	
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	1.00
Muestra 3	
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.64 Lecturas en briquetas con fisuras con dosificación (0.5:0.01:0.49)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 4	
cm	mm
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	1.00
2.00	1.20
Muestra 5	
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	1.00
2.00	1.00
Muestra 6	
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	1.00
2.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.65 Lecturas en briquetas con fisuras con dosificación (0.5:0.03:0.47)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 7	
cm	mm
1.00	0.50
2.00	0.70
3.00	1.00
4.00	1.20
Muestra 8	
1.00	0.50
2.00	0.70
3.00	1.00
4.00	1.50
Muestra 9	
1.00	0.50
2.00	0.70
3.00	0.80
4.00	1.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.66 Lecturas en briquetas con fisuras con dosificación (0.5:0.06:0.44)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 10	
cm	mm
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	1.00
2.00	1.00
Muestra 11	
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	1.00
2.00	1.00
Muestra 12	
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	0.50
2.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.67 Lecturas en briquetas con fisuras con dosificación (0.5:0.08:0.42)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 13	
cm	mm
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	1.00
2.00	1.00
2.50	1.50
3.00	2.00
3.50	2.00
Muestra 14	
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	0.50
2.00	1.00
2.50	1.00
3.00	1.50
Muestra 15	
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	0.50
2.00	1.00
2.50	1.00
3.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.68 Lecturas en briquetas con fisuras con dosificación (0.5:0.1:0.4)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 16	
cm	mm
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	1.00
2.00	1.00
2.50	1.50
3.00	2.00
3.50	2.00
Muestra 17	
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	1.00
2.00	1.00
2.50	1.00
3.00	1.50
3.50	2.00
Muestra 18	
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	1.00
2.00	1.00
2.50	1.50
3.00	1.50
3.50	2.00

Fuente: Elaboración propia

Todas las muestras fueron ensayadas con el objetivo de valorar el comportamiento de los sellos para los diferentes porcentajes ofrecidos.

Grietas: las siguientes tablas muestran las lecturas en el laboratorio.

Tabla 3.69 Lecturas en briquetas con grietas con asfalto en condiciones normales

Cemento asfáltico	
Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 1	
cm	mm
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	1.00
Muestra 2	
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	1.00
Muestra 3	
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.70 Lecturas en briquetas con grietas con dosificación (0.5:0.01:0.49)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 4	
cm	mm
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	1.00
2.00	-
Muestra 5	
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	1.00
2.00	-
Muestra 6	
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	1.00
2.00	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.71 Lecturas en briquetas con grietas con dosificación (0.5:0.03:0.47)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 7	
cm	mm
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	1.00
2.00	-
Muestra 8	
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	1.00
2.00	1.50
Muestra 9	
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	1.50
2.00	2.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.72 Lecturas en briquetas con grietas con dosificación (0.5:0.06:0.44)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 10	
cm	mm
0.50	0.50
1.00	0.50
1.50	1.50
2.00	2.00
2.50	2.00
3.00	-
Muestra 11	
0.50	0.00
1.00	0.50
1.50	1.50
2.00	2.00
2.50	2.00
3.00	-
Muestra 12	
0.50	0.00
1.00	1.00
1.50	2.00
2.00	2.00
2.50	2.00
3.00	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.73 Lecturas en briquetas con grietas con dosificación (0.5:0.08:0.42)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 13	
cm	mm
0.50	0.50
1.00	1.00
1.50	2.00
2.00	2.50
2.50	2.50
3.00	-
Muestra 14	
0.50	0.50
1.00	1.50
1.50	2.00
2.00	2.00
2.50	2.50
3.00	2.50
Muestra 15	
0.50	0.50
1.00	1.50
1.50	2.00
2.00	2.50
2.50	2.50
3.00	2.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.74 Lecturas en briquetas con grietas con dosificación (0.5:0.1:0.4)

Longitud de deformación	Longitud separación
Muestra 16	
cm	mm
0.50	0.50
1.00	2.00
1.50	3.00
2.00	3.50
2.50	3.50
3.00	4.00
3.50	4.50
Muestra 17	
0.50	0.50
1.00	2.00
1.50	3.50
2.00	3.50
2.50	4.00
3.00	4.00
3.50	4.50
Muestra 18	
0.50	0.50
1.00	2.00
1.50	3.50
2.00	3.50
2.50	4.00
3.00	4.50
3.50	4.50

Fuente: Elaboración propia

3.7.2.1 Adherencia en selladores asfálticos

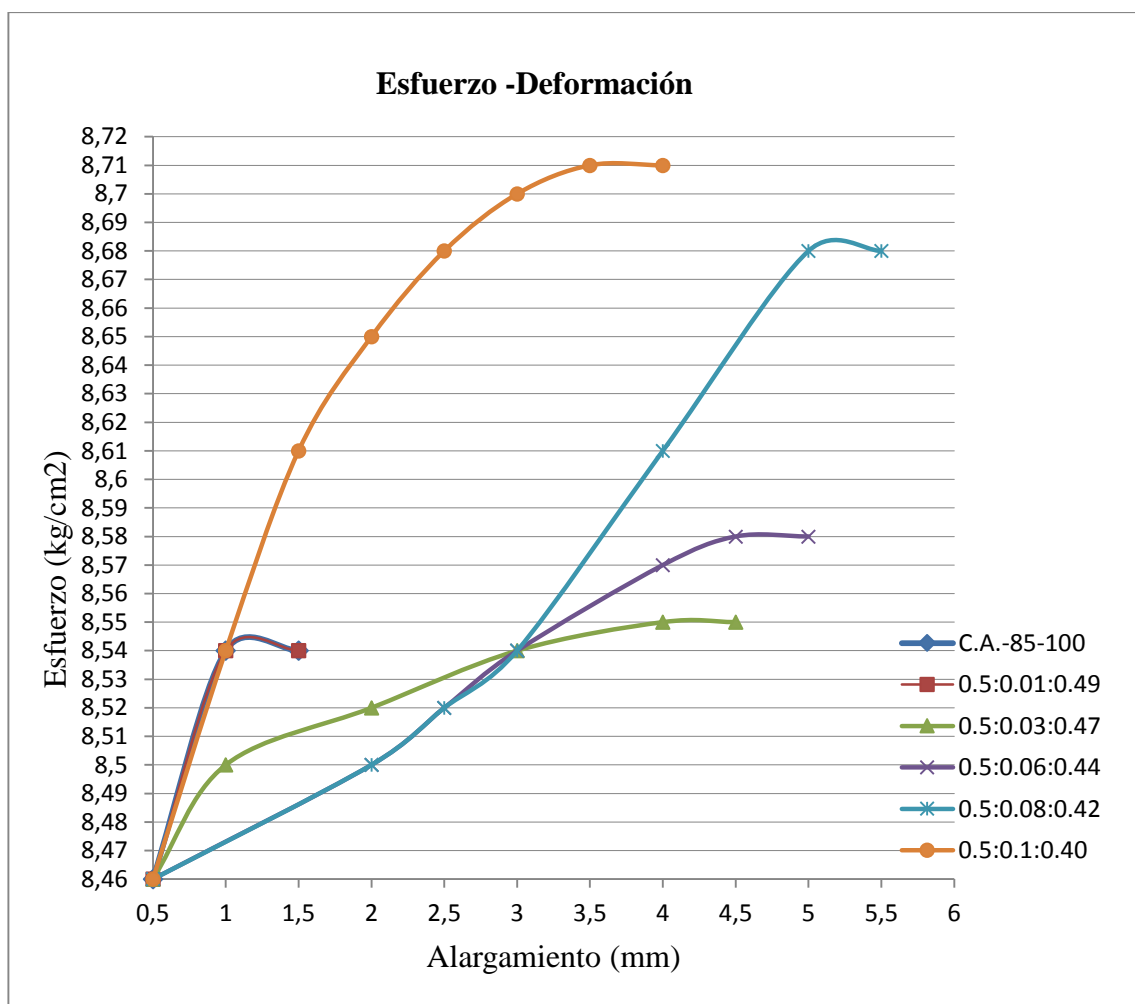
La determinación de la adherencia entre las caras de las juntas, grietas y fisuras en la presente investigación está basada en la descripción de las juntas, grietas y fisuras indicadas según la norma ACI 224.2R.95, y tiene por objeto determinar la fuerza de adhesión entre caras lisas y no lisas de una losa propuesta con trabazón de agregado tanto para juntas, grietas y fisuras.

Se ensaya selladores asfálticos con el uso de polvo de silicio como aditivo y arena de la clasificadora Erika situada en la comunidad de Rancho Sud de la provincia Méndez, con áridos procedentes del río Guadalquivir; para el ensayo de resistencia a la tracción se emplea el equipo de corte directo del laboratorio de suelos de la Universidad Juan Misael Saracho de Tarija, Bolivia, para ello se tiene moldes metálicos, los cuales sirven como abrazaderas de cada una de las losas ya listas después de dosificadas, se empleó una velocidad constante de 1.5 mm/min, posterior a ello la losa fue tensionada para obtener los siguientes resultados de adherencia, bajo una fuerza generada por el equipo de ensayo con deformaciones a una velocidad constante y un área de contacto. El valor de la fuerza tensionante se produce al deslizamiento continuo horizontal hasta provocar el desprendimiento del material en el ensayo.

Análisis de la adherencia en las juntas

Las tablas 3.57, 3.58, 3.59, 3.60, 3.61 y 3.62 de resultados del ensayo de tracción, que determina la adherencia de los selladores a los diferentes porcentajes estudiados en las juntas, permite la valoración de la capacidad en fuerza de adhesión entre caras lisas hasta lograr el desprendimiento.

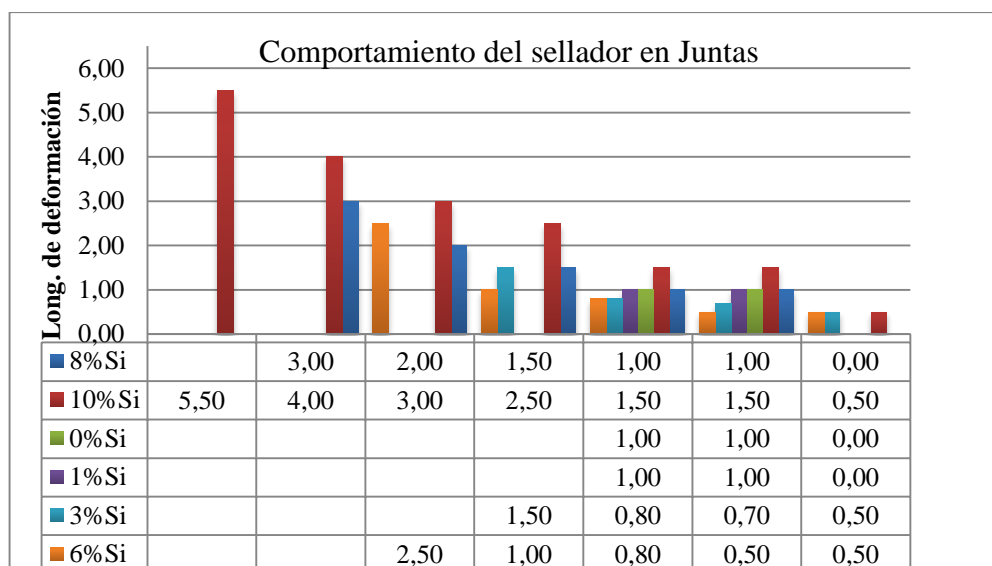
Figura 3.33 Esfuerzo deformación de los selladores en juntas



Fuente: Elaboración propia

La grafica permite observar el esfuerzo deformación los selladores, con un sellador normal sin modificador se tiene una deformación máxima de 1.5 cm, frente al esfuerzo de 8.54 kg/cm², con el sellador de adicionado 1 % de silicio un alargamiento o deformación de 1.5 y un esfuerzo de 8.54 kg/ cm² similar o el mismo que el sellador patrón, Con el sellador de 0.5:0.030:0.47 tolera 4 cm de deformación y esfuerzo de 8.55 kg/cm² trabaja mucho mejor que los primeros. Con el sellador de 0.5:0.06:0.44, soporta un alargamiento de 4.5 cm a un esfuerzo de 8.58 kg/cm², 0.5 cm de longitud de separación más que el anterior. Con el sellador del 8 % y el 10 % es superior la resistencia deformable respecto a los anteriores selladores en comportamientos mostrados en la (figura 3.33).

Figura 3.34 Barras comparativas entre selladores en juntas



Fuente: Elaboración propia

Para el sellado de juntas se utilizan materiales viscosos que después de aplicados cambian a un estado sólido duro y resistente a la rodadura.

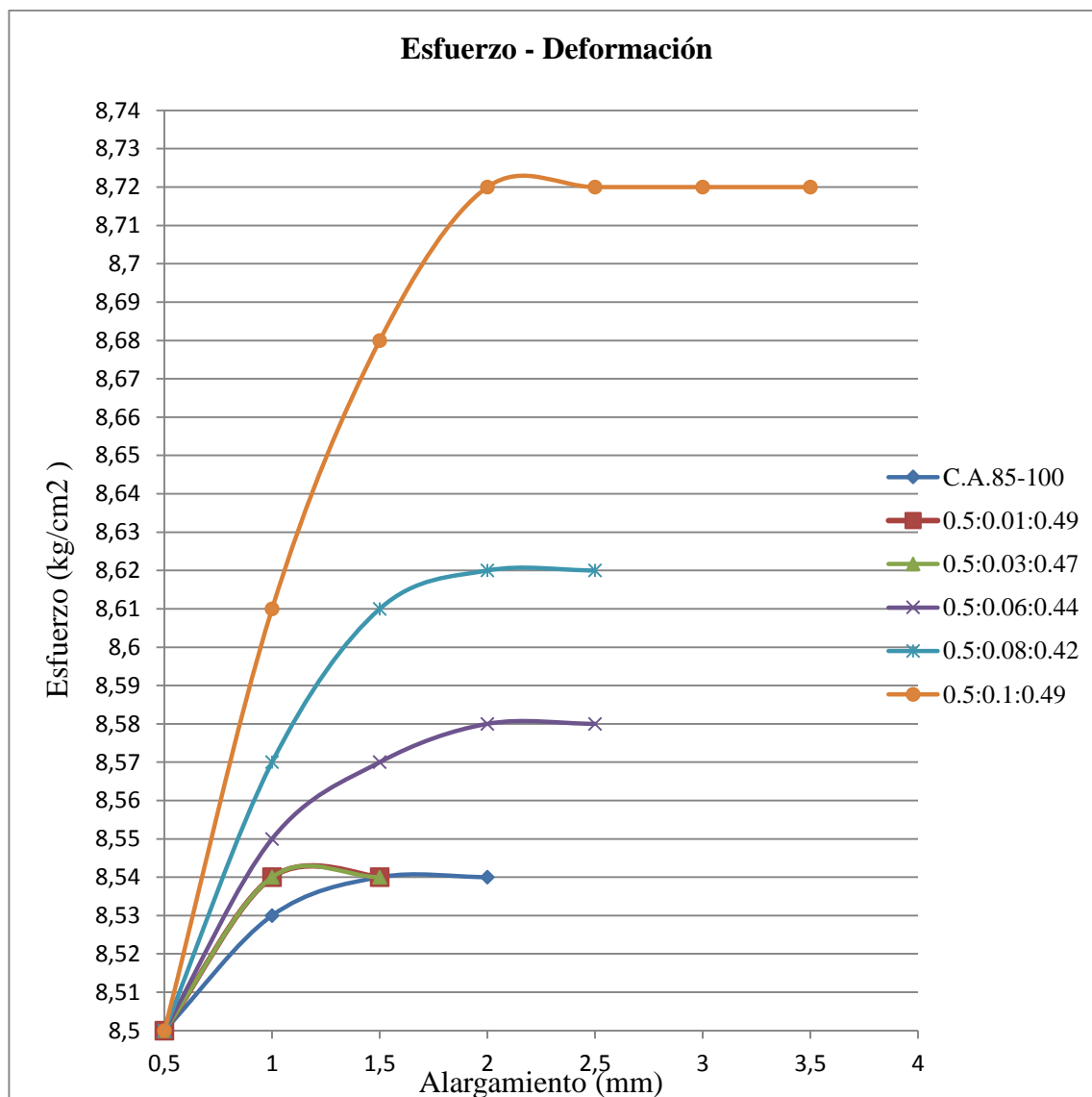
En el gráfico 3.34 tipo columna se observa el comportamiento del alargamiento en las muestras de juntas con los selladores obtenidos, producto que se logró con el mezclado de acuerdo a la dosificación estudiada, donde la capacidad del producto resiste hasta valores superiores al sellador en condiciones normales, vale decir, sin adicionar silicio, mostrándose como un producto de más adhesividad pero de bajo endurecimiento a corto tiempo. Este permite la expansión moderada y materializa la impermeabilidad de los elementos a sellar. También se observa que el desprendimiento es gradual ascendente en función al porcentaje modificado con el silicio.

Análisis de la adherencia en grietas

Las (tablas 3.69, 3.70, 3.71, 3.72, 3.73, 3.74), son los resultado del ensayo de tracción el equipo de corte, el que nos permite determinar el esfuerzo de tracción soportados por los selladores con la adición de silicio y arena para la composición de selladores asfálticos. Así se puede determinar la capacidad de adherencia en grietas de una losa de 8 cm de espesor y 3 mm de abertura, la (figura 3.34) muestra el esfuerzo deformación de los

selladores, que con un sellador normal sin modificar se tiene una deformación máxima de 1.5 mm, y un esfuerzo de 8.54 kg/cm². Similares resultados en grietas con los sellos de 1 % y 3 % en lo que respecta al alargamiento o deformación y en los porcentajes de 6 %, 8 % y 10 % permiten longitudes de alargamiento de 2.5 hasta 3 mm a esfuerzos de 8.58 a 8.72 kg/cm² donde es producida la rotura.

Figura 3.35 Esfuerzo deformación de los sellos en grietas

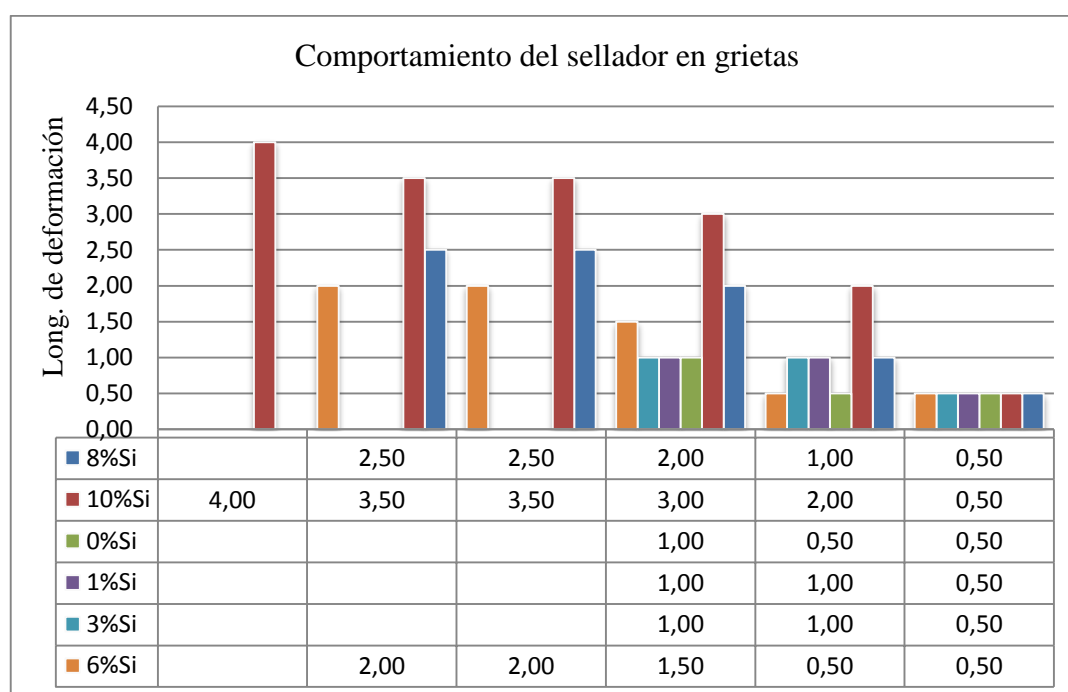


Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.35 del esfuerzo deformación en grietas ensayadas con sellador en condiciones normales, y selladores con adición de silicio, se observa que el aumento de

adherencia aumenta en forma gradual, el comportamiento del sellador sin adición de silicio y con adición del 1 % de silicio, solo transitan en la zona elástica de la gráfica indicada , mientras que los selladores con adición de 6 % de aditivo alcanza una tensión máxima de 2 mm con un esfuerzo de 8.58 kg/cm². En cuanto al 8 % alcanza un alargamiento de 2 mm y una deformación 8.62 kg/cm² y se rompe, mientras que con el porcentaje de 10 % de silicio alcanza un alargamiento de 2.00 a 2.50 mm para una tensión de 8.72 kg/cm².

Figura 3.36 Comportamiento de los selladores en grietas



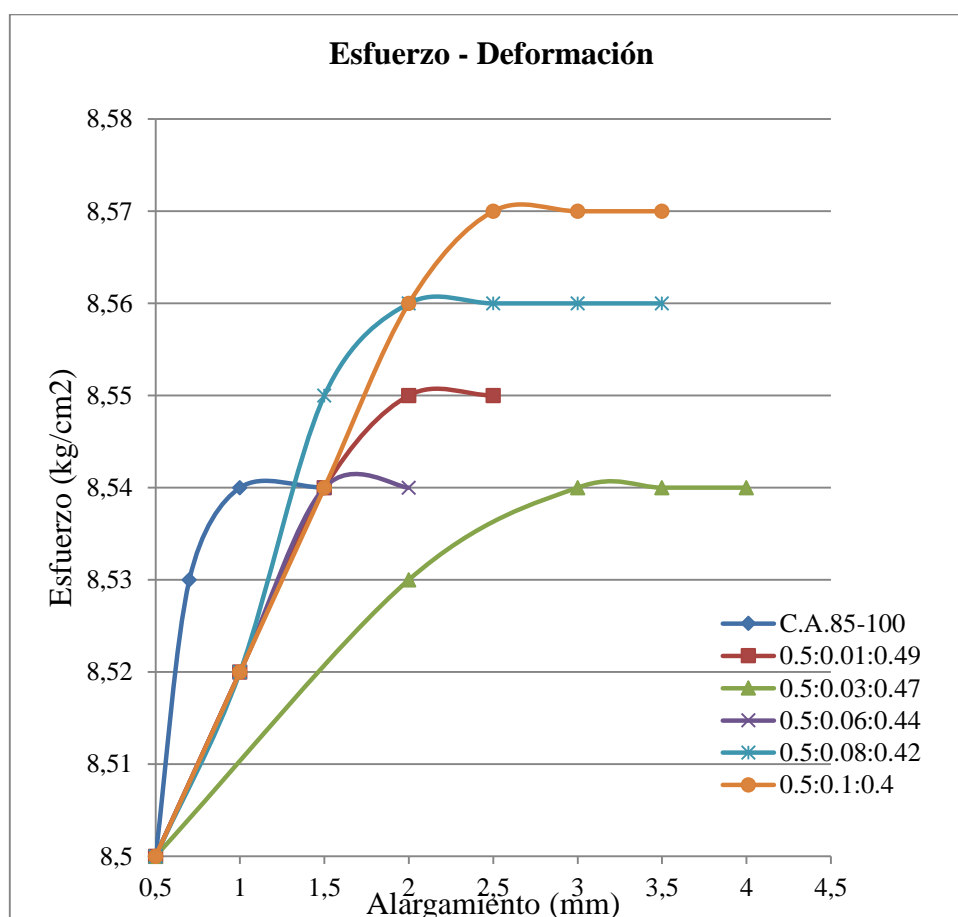
Fuente: Elaboración propia

La (figura 3.36), muestra la variación de los porcentajes aplicados a las muestras selladas en grietas. Los selladores usados en las losas agrietadas deben ser compuestos elásticos y adhesivos, resistentes a los cambios de temperatura y a las diferentes cargas que tiene que soportar durante su vida útil, En el gráfico se observa que a mayores porcentajes, es decir 6 %, 8 % y 10 % el alargamiento es mayor, y a menores porcentajes y el sello en condición normal, con adición de 1 % de silicio y 3 % , se mantiene con 0.50 y 1 mm de alargamiento respecto a la fuerza aplicada.

Análisis de la adherencia en fisuras

Los datos de la tabla 3.63, 3.64, 3.65, 3.66 3.67 y 3.68 permiten el gráfico siguiente en el cual se observa el comportamiento esfuerzo deformación en losas selladas a sus fisuras de 2 mm de abertura, en las que se ensayó selladores asfálticos con la adición de silicio en polvo y arena de la clasificadora Erika. Según el comportamiento a la tracción se muestra el gráfico.

Figura 3.37 Esfuerzo deformación de los sellos en fisuras



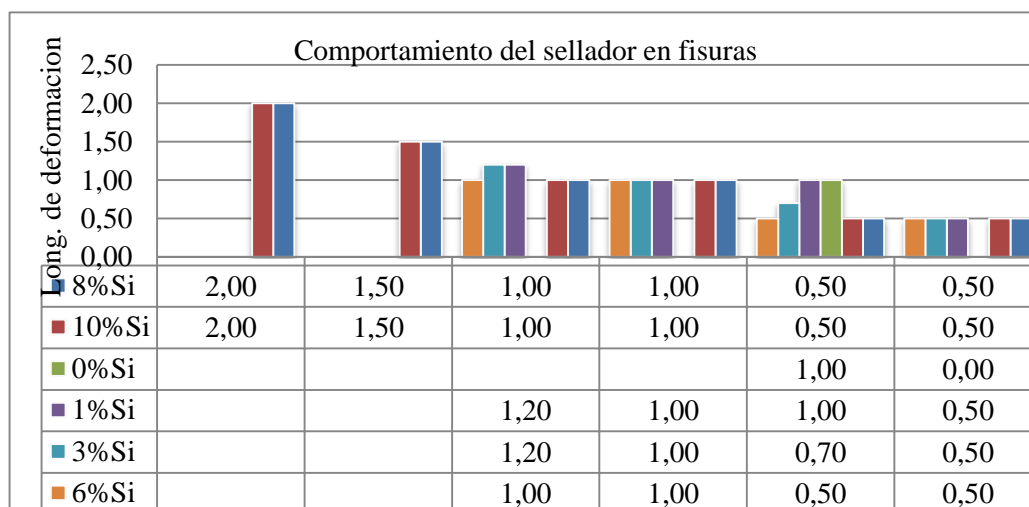
Fuente: Elaboración propia

En el análisis de la (figura 3.37), se observa los diferentes comportamientos del esfuerzo deformación o alargamiento que puede soportar cada sello ensayado. En el sello en condiciones normales, se observa en su zona elástica con 1.00 mm de alargamiento, mientras que al 1 % de adicionado silicio soporta un alargamiento de 1.50 mm con un

esfuerzo de 8.55 kg/cm², con el 3 %, 2 mm en la zona elástica, más 1.50 mm en la zona plástica hasta llegar a su punto de máxima tensión de 8.54 kg/cm² donde es provocada su rotura o desprendimiento total. Respecto al 6 % el sello tolera un alargamiento de 1.50 mm y un esfuerzo de 8.54 kg/cm² en este porcentaje se puede decir que sufrió un desfase por el área que hizo contacto, porque los resultados son asintóticos a porcentajes superiores. En el caso del 8 %, se mantuvo con 1.50 mm en su zona elástica, y se muestra como un material plástico más 1.00 mm hasta lograr su máxima tensión a los 8.56 kg/cm², donde fue provocada su rotura o desprendimiento de las muestras. En el sello con el 10 % de silicio ensayado en las losas fisuradas su comportamiento es elástico hasta los 2.00 mm de alargamiento, mientras que se observó un alargamiento de 1.00 mm en la zona plástica del sellador rompiéndose a una tensión de 8.57 kg/cm² a los 3.00 mm de alargamiento del sellador.

En el siguiente gráfico se observa el comportamiento del material en todas las muestras fisuradas respecto a la longitud de separación

Figura 3.38 Comportamiento de los selladores en las fisuras



Fuente: Elaboración propia

La respuesta en el análisis en fisuras dentro de lo que corresponden tienen similar respuesta que las primeras, sin embargo, se observa la importancia del área de contacto en cada losa ensayada.

Con el uso del 100 % del asfalto puro se obtiene un sello patrón de características viscosas, de baja densidad con contenidos de minerales diversos y con longitud de separación muy corta. Con los selladores de baja adición de silicio también se obtiene un producto similar al primero aumentando muy levemente su aumento, mientras que en los adicionados con 8 % y 10 % de silicio, se permitió una longitud de 1.00 mm más de separación que el de condiciones normales, eso permite definir que mejora en un 100 % más de longitud de separación para estos selladores.

3.7.3 Trabajabilidad en juntas, grietas y fisuras

La trabajabilidad en un sellador es la propiedad del sellador que determina su facilidad de colocado, moldeado, acabado del sellador asfáltico, facilidad con que el material sellante puede manejarse y colocarse en una posición inicial hasta una posición final tanto en las juntas, grietas como en las fisuras de la losa de hormigón.

Esta propiedad característica física depende de las proporciones, el tipo de sellador, el ancho y/o forma del elemento a sellar, la temperatura a la que se encuentra expuesto en el colocado y uso, para la determinación de la trabajabilidad en juntas, grietas y fisuras selladas se evalúa desde el punto de vista de los ensayos de recuperación elástica y expansión de los selladores.

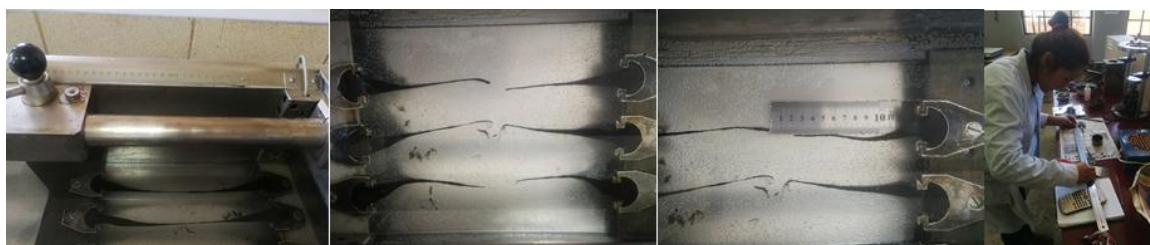
El concepto de trabajabilidad es medido a través del comportamiento y la aplicación del material en la cavidad de la junta, la cual toma en cuenta la textura de la cara con la que va a hacer contacto el sellador, la capacidad de adherirse, la facilidad de acomodarse en la cavidad sellada y el buen acabado del producto en la junta. Para el ensayo tenemos los siguientes porcentajes de silicio en polvo como modificador del sellador asfáltico del 1 %, 3 %, 6 %, 8 % y 10 % y un sellador sin adición de silicio, arena de la clasificadora Erika ubicada en la comunidad de Rancho sud con áridos procedentes del río Guadalquivir, cemento asfáltico 85/100 Pen como producto ligante.

Desde el criterio de recuperación elástica los selladores asfálticos experimentales a diferentes porcentajes de adición de silicio, arena y cemento asfáltico se observa un resultado favorable a la recuperación elástica a mayor adición de silicio, resultados mostrados en la (tabla 3.70) del ensayo de recuperación elástica.

Ensayo de recuperación elástica

El objetivo es establecer un procedimiento para determinar el grado de elasticidad del sellador asfáltico modificado con silicio en polvo y arena de la clasificadora Erika.

Figura 3.39 Ensayo de recuperación elástica



Fuente: Elaboración propia

Se prepararon las muestras a ensayar, y se desarrollaron en las briquetas normalizadas de ductilidad, en tiempo normalizado y a temperatura de 25 °C y ensayado a velocidad de 5 cm/min la cual se corta intencionalmente transcurridos 20 cm de recorrido a una distancia equidistante de ambos extremos para observar la capacidad de contracción del sellador. Transcurridos 60 minutos, se calcula la distancia de contracción sufrida por la muestra con la cual se determina la recuperación elástica porcentual. Se anota la longitud recuperada entre ambos extremos cortados de la muestra.

Se calcula el porcentaje de recuperación como:

$$R(\%) = \frac{d}{20} * 100$$

Donde d (cm) es la distancia entre los extremos cortados de la muestra.

Ensayo de recuperación elástica del sellador 0.5 C.A.: 0.5 Ar

$$R(\%) = \frac{1.00}{20} * 100$$

$$R = 5.00 \%$$

Ensayo de recuperación elástica del sellador 0.5 C.A.: 0.01 Si: 0.49 Ar

$$\mathbf{R(\%)} = \frac{1.10}{20} * 100$$

$$\mathbf{R = 5.50 \%}$$

Ensayo de recuperación elástica del sellador 0.5 C.A.: 0.03 Si: 0.47 Ar

$$\mathbf{R(\%)} = \frac{1.30}{20} * 100$$

$$\mathbf{R = 6.50 \%}$$

Ensayo de recuperación elástica del sellador 0.5 C.A.: 0.06 Si: 0.44 Ar

$$\mathbf{R(\%)} = \frac{1.55}{20} * 100$$

$$\mathbf{R = 7.75 \%}$$

Ensayo de recuperación elástica del sellador 0.5 C.A.: 0.08 Si: 0.42 Ar

$$\mathbf{R(\%)} = \frac{2.00}{20} * 100$$

$$\mathbf{R = 10.00 \%}$$

Ensayo de recuperación elástica del sellador 0.5 C.A.: 0.1 Si: 0.40 Ar

$$\mathbf{R(\%)} = \frac{2.20}{20} * 100$$

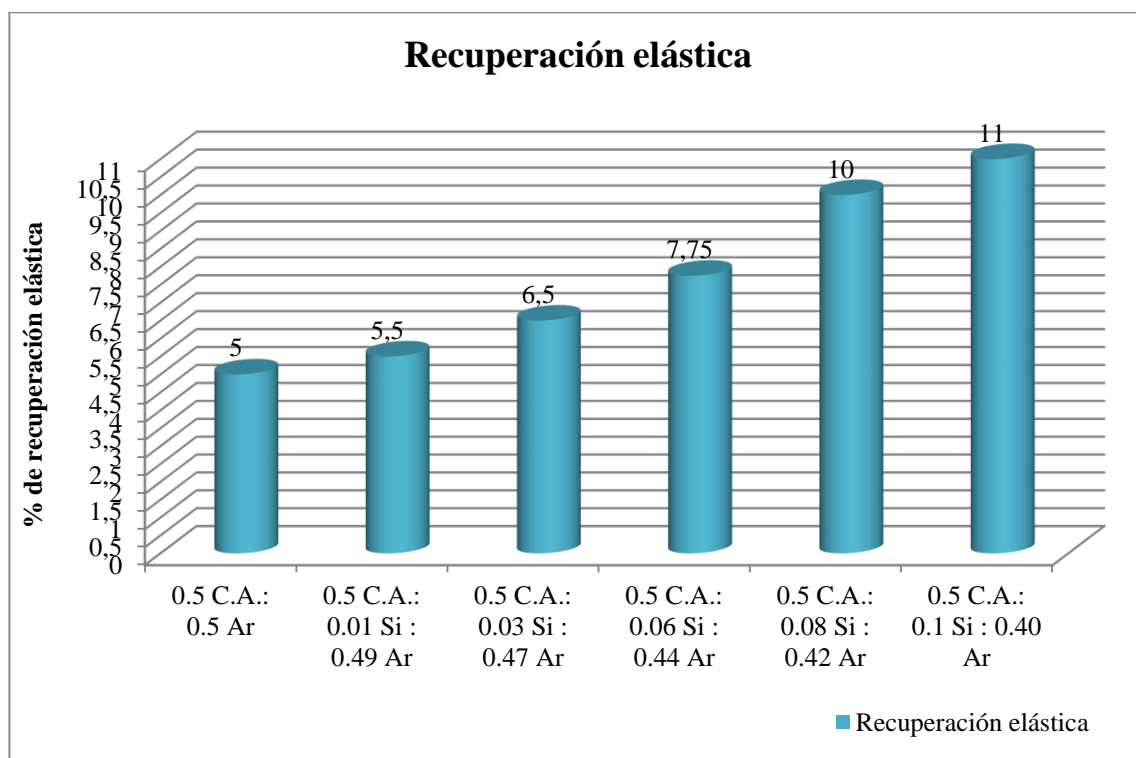
$$\mathbf{R = 11.00 \%}$$

Tabla 3.70 Resumen del resultado del ensayo de recuperación elástica

Muestra	Grado de elasticidad	
	Unidad	Recuperación elástica
50 % C.A. + 50 % arena	%	5.00
50 % C.A. + 1 % Si + 49 % arena	%	5.50
50 % C.A. + 3 % Si + 47 % arena	%	6.50
50 % C.A. + 6 % Si + 44 % arena	%	7.75
50 % C.A. + 8 % Si + 42 % arena	%	10.00
50 % C.A. + 10 % Si + 40 % arena	%	11.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.40 Barras comparativas de recuperación elástica de los sellos



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3.40, en base a resultados del ensayo de recuperación elástica de los selladores propuestos en esta investigación se observa el comportamiento y manifiesto

gradual del sellador con dosificación experimental en el laboratorio, misma que permite observar el cambio de comportamiento del sellador asfáltico en condiciones normales y los selladores con adición del modificador químico, silicio en polvo. Para el sellador cemento asfáltico y arena se observa menor porcentaje de recuperación elástica, pero su progreso es gradual ascendente con la adición de mayor porcentaje de silicio a los selladores.

Bajo el concepto de trabajabilidad de un material sellante asfáltico se realizó el ensayo del comportamiento del material según su maleabilidad y muestra de viscosidad o plasticidad de los selladores, mediante el uso de un volumen dado.

Con un depósito cilíndrico con capacidad de volumen de:

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} * 5.35^2 = 22.48 \text{ cm}^2 \text{ y altura } h = 3.50 \text{ cm}$$

$$V = 22.48 * 3.50 = 78.68 \text{ cm}^3$$

Se procedió a preparar y pesar cada material componente de los selladores de acuerdo a los porcentajes estudiados.

Se vació la mezcla en una losa horizontal, determinando la capacidad de expansión, el tiempo de expansión del material antes de endurecer el producto sellante.

Tabla 3.71 Lectura de resultado de la capacidad de expansión de los selladores

Dosificación	W(tara)	Tiempo de Expansión (min)	ΔL cm
50 % C.A. + 50 % arena	22.50	2.50	54
50 % C.A. + 1 % Si + 49 % arena	22.50	2.70	54
50 % C.A. + 3 % Si + 47 % arena	22.50	2.75	51
50 % C.A. + 6 % Si + 44 % arena	22.50	3.05	50
50 % C.A. + 8 % Si + 42 % arena	22.50	3.20	47
50 % C.A. + 10 % Si + 40 % arena	22.50	3.40	42

Fuente: Elaboración propia

Este ensayo demuestra la capacidad del sellante de expandirse a una temperatura ambiente en un tiempo dado hasta que el material deja su trabajo expansivo. Por lo tanto se observa que a menores porcentajes el sellador tiene mayor fluidez y endurece a menor tiempo, mientras que los selladores a mayor porcentaje adicionado de silicio tiene expansiones menores, y mayores tiempos de fluidez hasta su endurecimiento.

En consecuencia, se observa que para sellos asfálticos la temperatura juega un papel importante en el colocado del sellador en juntas, grietas y fisuras; también la textura por la que va a fluir la mezcla del mismo.

3.7 COSTOS Y PRESUPUESTO

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE SELLADOR 0.5 CA:0.5 ARENA					
DATOS GENERALES					
Proyecto:	EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA BASADA EN EL SILICIO PARA SELLOS EN EL PAVIMENTO DE HORMIGÓN				
Actividad:	1	SELLOS DE JUNTAS			
Cantidad:		1.00			
Unidad:		ML			
Moneda:		BOLIVIANOS			
1.- MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo Total
1	CEMENTO ASFÁLTICO	KG	0.124	29.9300	3.71
2	ARENA FINA	M3	0.124	130.000	16.12
3	BAKER ROD (TIRA DE RESPALDO) 15MM	ML	1.00000	5.00000	5.00
TOTAL MATERIALES					24.83
2.- MANO DE OBRA					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo Total
1	CAPATAZ	HR	0.0800	22.0000	1.76
2	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	HR	0.1700	20.0000	3.40
4	PEON	HR	0.0800	12.5000	1.00
SUBTOTAL MANO DE OBRA					6.16
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)				71.18%	4.38
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)				14.94%	1.58
TOTAL MANO DE OBRA					12.12
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
1	VOLQUETA 6 M3	HR	0.1500	100.0000	15.00
2	CORTADORA DE ASFALTOS 9HP	HR	0.1000	35.0000	3.50
3	DILUIDOR DE ASFALTO 500 l	HR	0.0400	35.0000	1.40
4	COMPRESORA 50 ft3/min	HR	0.0300	140.0000	4.20
5	MOTOBOMBA 2" 3HP	HR	0.1000	25.0000	2.50
5.00%	HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5.00%	0.61
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					27.21
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
					Costo total
10.00%	GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3			10.00%	6.42
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					6.42
5.- UTILIDAD					
					Costo total
8.00%	UTILIDAD = % DE 1+2+3+4			8.00%	5.65
TOTAL UTILIDAD					5.65
6.- IMPUESTOS					
					Costo Total
3.09%	IMPUESTOS IT = % DE 1+2+3+4+5			3.09%	2.36
TOTAL IMPUESTOS					2.36
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)					78.57
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con cuatro (4) decimales)					78.57

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE SELLADOR 0.5CA:0.1 SI: 0.4ARENA					
DATOS GENERALES					
Proyecto:	EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA BASADA EN EL SILICIO PARA SELLOS EN EL PAVIMENTO DE HORMIGÓN				
Actividad:	1	SELLOS DE JUNTAS			
Cantidad:		1.00			
Unidad:		ML			
Moneda:		BOLIVIANOS			
1.- MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo Total
1	CEMENTO ASFÁLTICO	KG	0.124	29.93	3.71
2	ARENA FINA	M3	0.124	130.00	16.12
3	SILICIO EN POLVO	KG	0.00025	50.00	0.0124
4	BAKER ROD (TIRA DE RESPLADO) 15MM	ML	1.00	5.00	5.00
TOTAL MATERIALES					24.84
2.- MANO DE OBRA					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo Total
1	CAPATAZ	HR	0.0800	22.0000	1.76
2	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	HR	0.1700	20.0000	3.40
4	PEON	HR	0.0800	12.5000	1.00
SUBTOTAL MANO DE OBRA					6.16
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)				71.18%	4.38
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)				14.94%	1.58
TOTAL MANO DE OBRA					12.12
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
1	VOLQUETA 6 M3	HR	0.1500	100.0000	15.00
2	CORTADORA DE ASFALTOS 9HP	HR	0.1000	35.0000	3.50
3	DILUIDOR DE ASFALTO 500 l	HR	0.0400	35.0000	1.40
4	COMPRESORA 50 ft3/min	HR	0.0300	140.0000	4.20
5	MOTOBOMBA 2" 3HP	HR	0.1000	25.0000	2.50
5.00%	HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5.00%	0.61
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					27.21
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
					Costo total
10.00%	GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3			10.00%	6.42
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					6.42
5.- UTILIDAD					
					Costo total
8.00%	UTILIDAD = % DE 1+2+3+4			8.00%	5.65
TOTAL UTILIDAD					5.65
6.- IMPUESTOS					
					Costo total
3.09%	IMPUESTOS IT = % DE 1+2+3+4+5			3.09%	2.36
TOTAL IMPUESTOS					2.36
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)					78.59
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con cuatro (4) decimales)					78.59

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

En la siguiente investigación:

- ✓ Se utilizó materiales agregados para la elaboración de briquetas de losa de hormigón y el empleo de agregado fino para los selladores proveniente de la clasificadora Erika, de la comunidad de Rancho Sud, Provincia Méndez, Departamento de Tarija, Bolivia.
- ✓ En la conformación de la mezcla para el hormigón de la losa se utilizó cemento IP – 30 de la fábrica “EL Puente” con características de fábrica el cual registra según la norma boliviana NB-011, en presentación de venta en bolsa de 50 kg.
- ✓ El cemento asfáltico que se utilizó en la conformación del sello es de industria peruana, de grado 85 – 100 Pen.
- ✓ Como material aditivo se utilizó silicio en polvo obtenido de un distribuidor en la ciudad de Santa Cruz de procedencia extranjera.
- ✓ Se determinó una dosificación del hormigón de pavimento con una relación a/c igual a 0.40, y dosificación 1:2.19:2.17 cuyas características de los componentes cumplen las especificaciones de la norma ACI211
- ✓ Se investigó el comportamiento del silicio en polvo con pureza de 76.16 % y peso específico de 2.33 g/cm³, como aditivo en selladores asfálticos con porcentajes de 1 %, 3 %, 6%, 8 %, 10 % y un sellador en condiciones normales.
- ✓ Para la investigación se simuló briquetas de losas de hormigón preparadas para juntas con un factor de forma de 1:1.5 (cm), grietas de 3 mm y fisuras de 2mm de abertura total, donde se aplicaron los selladores propuestos.
- ✓ Se concluye que la textura en la junta es de 0.1mm y en las grietas y fisuras de 0.48 mm, lo que permite concluir que la porosidad y rugosidad de las caras de los elementos estudiados tienen influencia en la velocidad de colocado, en su formación y tiempo de posición interno de los elementos ensayados.
- ✓ Como resultado de la trabajabilidad a través del ensayo de recuperación elástica del sello se comprueba que a mayor porcentaje de silicio, permite una mayor fluidez, consistencia blanda y permite un tiempo mayor de endurecimiento del

sellador, por lo tanto mayor capacidad de ingresar a sellar las juntas, grietas y fisuras, adicionado el 6 %, 8% y 10% de silicio los resultados son asintóticos.

- ✓ El resultado de la adherencia del sello investigado concluye que para el caso de los mismos, aumentan a medida que se incrementa el porcentaje de silicio, en el caso de juntas soportan esfuerzos desde 8.46 kg/cm² a 8.71 kg/cm² y alargamientos incrementales hasta el desprendimiento entre sus caras, lo cual la propiedad mejora en un 2.96%, teniendo en cuenta una briqueta de 10 cm de longitud; en el caso de grietas entre un esfuerzo de 8.50 kg/cm² a 8.72 kg/cm², lo cual mejora la propiedad en un 2.59 %, analizado en una briqueta de 10 cm de longitud y en el caso de fisuras entre un esfuerzo de 8.50 kg/cm² a 8.57 kg/cm², correspondiendo a un incremento de propiedad de 0.82 % teniendo en cuenta en una fisura de 2 mm de ancho y 10 cm de largo.
- ✓ Referente al costo del sellador con la incorporación del silicio requiere de un costo mayor, Este es incrementado en un 0.025 % más que el sellador en condiciones no modificadas teniendo en cuenta una briqueta de analizada en el laboratorio de 8 cm de altura y 10 cm de largo, sin embargo, el mismo es retribuido por un mejor comportamiento del sello en trabajabilidad y adherencia en los sellos; este producto modificado no presenta riesgos para la salud y la seguridad siempre que sea usado como indica la recomendación en el presente trabajo.
- ✓ Como conclusión final, luego de realizar la investigación, se puede afirmar que la utilización de sellos con la incorporación de silicio es favorable aunque más costosa, por ello, debe analizarse en la concepción de cada proyecto la decisión de su utilización.

4.2 RECOMENDACIONES

A través del presente trabajo de estudio de selladores asfálticos con incorporación de silicio es importante recomendar lo siguiente:

- ✓ El uso de material de seguridad para la manipulación del producto sellador como (guantes, lentes, barbijo, botas entre otros) necesarios para la manipulación del sello asfáltico en caliente. En el caso que el manipulante haya inhalado polvos o

gases producidos por el material y éste respire con dificultad, se debe suministrar oxígeno. En el caso de salpicaduras en los ojos, se debe lavar inmediatamente con abundante agua. En el caso de contacto con la piel en caliente, se recomienda lavar la zona con solvente adecuado (querosene o gasolina) para quitar el asfalto de la piel y luego proceder a lavar inmediatamente con abundante agua y jabón neutro.

- ✓ Se recomienda experiencia y mucho cuidado en los controles de temperatura en los ensayos de caracterización en el laboratorio a la hora de emplear calentados y baños del asfalto, también es importante controlar que la temperatura del sello sea superior a los 60 °C y menor a los 110 °C para conservar las propiedades estudiadas del sellador asfáltico.
- ✓ Se recomienda que la losa a ser sellada esté totalmente seca para la aplicación del sellador asfáltico.
- ✓ Se recomienda, en cuanto a las juntas, que deben ser limpiadas con agua y secadas con aire a presión, evitando que quede humedad y restos de material suelto.
- ✓ Se recomienda, para grietas y fisuras, que se realice un buen aserrado para lograr la inmersión del sellante, posterior a ello que se realice una buena limpieza antes de aplicar el sello.
- ✓ Se recomienda como aspecto muy importante el equipo y forma para el colocado de los sellos en juntas, grietas y fisuras en las losas de hormigón.
- ✓ Se recomienda que se estudié y analice el uso del producto sellador en climas fríos.