

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **1.1. Generalidades**

El éxito de un proyecto de rehabilitación de un pavimento se sustenta en el uso adecuado de los parámetros técnicos obtenidos, agregándose y complementándose con la utilización de geomallas cuya selección y cuyo proceso de colocación deben ser rigurosamente estudiados. El recapeo con geomalla consiste en colocar al pavimento agrietado ligante asfáltico sobre el cual se coloca una geomalla la misma que evita la reflexión de grietas para posteriormente colocar la nueva capa de rodadura que consiste en pavimento asfáltico.

La limitación económica propia de nuestro país, también definen la necesidad de optimizar el uso de recursos disponibles aplicando y ejecutando experiencias conocidas con este objetivo y dado que muchos trabajos de repavimentación o recapeo asfáltico han sufrido deterioros prematuros iniciados por el proceso de reflexión de fisuras y otros factores, es que se han realizado en algunas partes del país experiencias con el uso de geomallas en rutas troncales de alta intensidad de tráfico.

Generalmente para recuperar un pavimento fisurado, éste se cubre con una capa de mezcla asfáltica, previa reparación de las grietas existentes. Esto no genera una solución duradera ya que los esfuerzos de corte continúan actuando en los bordes de la grieta, propagándose a la superficie rápidamente, es por este motivo que se incorpora la geomalla para evitar la reflexión de grietas.

En la ciudad de Tarija sobre la calle Junín podemos observar un claro ejemplo, ya que vemos gran cantidad de fisuras a lo largo de toda la calle. Entre los orígenes del fisuramiento podemos señalar; fatiga de material por esfuerzos dinámicos, retracción, pérdida de capacidad soporte de las capas inferiores, entre otras. El recapeo es una solución económica más aún si utilizamos geomallas ya que alargamos el periodo de vida útil reduciendo la altura de recapeo.

### **1.2. Justificación del proyecto de aplicación**

La realización de este trabajo permitirá hacer un estudio acerca de la utilización de geomallas como una nueva forma de aumentar la vida útil del pavimento. Todos los

pavimentos sean flexibles, rígidos, y/o semirrígidos, sean adecuadamente dimensionados o no, sufren procesos de degradación. Podemos señalar que el inicio de este proceso se manifiesta generalmente con el fisuramiento y como consecuencia la disminución de su vida útil, entre los orígenes del fisuramiento se pueden señalar fatigas de materiales por esfuerzos dinámicos, retracción, pérdida de capacidad soporte de las capas inferiores y otros, ocasionando infiltramiento de agua entre las capas estructurales, degradación de la capa de rodadura, aumento de tensiones que a la larga conllevan al fisuramiento y la degradación del pavimento.

En la actualidad se conocen distintas alternativas para evitar el fisuramiento, mayores espesores de refuerzos, capas intermedias de mezclas bituminosas, cementos asfálticos más blandos, lechadas asfálticas, espesores delgados de mezclas finas y el uso de geomallas.

Por lo mencionado anteriormente adoptaremos el uso de geomalla por los buenos resultados obtenidos en varias partes del mundo, ya que vemos la necesidad de realizar un recapeo asfáltico por el alto contenido de fisura a lo largo de dicha calle, por lo tanto, el principal beneficio será mejorar la transitabilidad de movilidades aumentando la vida útil y disminuyendo la altura de recapeo asfáltico.

### **1.3. Justificación teórica**

Al hacer un análisis evaluativo de los pavimentos existentes y observando el deterioro del pavimento rígido, presentando gran cantidad de fisuras a lo largo de la calle, es que vemos la necesidad de rehabilitar esta calle con la implementación de geomalla para evitar el reflejo de fisuras en la nueva capa de rodadura.

Esta práctica de trabajo de mantenimiento y rehabilitación de la calle utilizando la geomalla, tiene el objetivo de la distribución de esfuerzos originados en las grietas existentes en los pavimentos antiguos y de esta manera, posibilitar el retardo de la aparición de grietas en los nuevos. Además, la impregnación desde la capa inferior, durante la instalación, proporcionará una membrana impermeable de gran rendimiento para la conservación.

### **1.4. Justificación práctica**

El uso de geomallas en aplicación de ingeniería no es un concepto nuevo, éstos han sido aplicados en la estabilización de suelos y taludes, drenaje, erosión, minería, refuerzos,

pavimentación y últimamente en recapeos asfálticos. Por su gran capacidad de separar, reforzar y proteger se ha implementado su uso en recapeo asfáltico, debido al soporte estructural que brinda en carreteras, aumentando la vida útil del camino prolongando el tiempo de mantenimiento. Este procedimiento mejora la calidad de la carpeta, proporcionando una rigidez propia y resistencia a la tracción.

### **1.5. Justificación social**

La razón fundamental para la utilización de la geomalla es la prolongación de la vida útil de la capa de rodadura atribuida a la función retardadora de fisuras, pues éste aumenta considerablemente la vida útil evitando la reflexión de grietas ya que los esfuerzos de corte en los bordes de la grieta no se propagarán a la superficie, teniendo así una calle en buenas condiciones para la circulación vehicular.

### **1.6. Planteamiento del problema**

#### **Situación problemática**

Las geomallas en recapeos asfálticos incrementa la resistencia a tracción y complementa la resistencia de tensión que puede llegar a sufrir el suelo debido a cargas externas. Así, su uso permite que un terreno determinado pueda recibir mayores cargas y distribuir las uniformemente de tal manera que se prolonga su durabilidad.

Con un sistema de refuerzo lo que se busca es lograr un incremento de la resistencia a tracción de todo el conjunto, no creando posibles discontinuidades dentro de las capas de la estructura del pavimento. La utilización de la geomalla en la reflexión de fisuras surge como solución práctica.

Si el uso de la geomalla no es el adecuado, no será capaz de solucionar los problemas de agrietamiento y fatiga, ni de reducir el deterioro de la estructura del pavimento. Esta situación trae como consecuencia pérdida de tiempo y un costo económico.

Es necesario analizar el uso de geomallas en recapeos asfálticos, la geomalla refuerza las capas de asfalto y evita deformaciones. La menor fisuración obtenida con la utilización de geomalla confiere una vida más larga a las capas de asfalto de las carreteras.

#### **Problema de investigación**

¿Cómo influye el uso de geomallas, en la reflexión de fisuras de recapeo asfáltico?

## **1.7. Objetivos del proyecto de aplicación**

### **1.7.1. Objetivo general**

Analizar la incidencia del uso de geomallas en el recapeo asfáltico, considerando puntos de refacción en la calle Junín, con la finalidad de mejorar la funcionalidad de la nueva vía.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- Reforzar el conocimiento sobre el uso de las geomallas para que este método constructivo sea considerado en relación al costo beneficio.
- Identificar la zona de aplicación.
- Determinar el punto de refacción en la calle Junín para realizar la aplicación práctica.
- Realizar el recapeo mediante el uso de geomalla.
- Evaluar el costo y beneficio del uso de geomalla.

## **1.8. Hipótesis**

Si utilizamos geomalla en recapeos asfálticos entonces la reflexión de fisuras se minimizará considerablemente.

## **1.9. Identificación de las variables**

### **Variables independientes**

- Geomalla en recapeos asfálticos.

### **Variables dependientes**

- Reflexión de fisuras

### 1.9.1. Cuadro de operacionalización de las variables

#### Variable independiente

**Conceptualización:** Las geomallas en recapeos asfálticos incrementa la resistencia a tracción y complementa la resistencia de tensión que puede llegar a sufrir el suelo debido a cargas externas.

**Tabla 1.1** Variable independiente

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Geomalla en recapeos asfálticos	Las geomallas en recapeos asfálticos incrementa la resistencia a tracción y	Resistencia a tracción	Kg/cm <sup>2</sup>	Pruebas en la zona de aplicación
	complementa la resistencia de tensión que puede llegar a sufrir el suelo debido a cargas externas.	Resistencia de tensión	Kg/cm <sup>2</sup>	Pruebas en la zona de aplicación

**Fuente:** Elaboración propia

## Variable dependiente

**Conceptualización:** La reflexión de fisuras o grietas consiste en que las juntas y grietas de un pavimento, generalmente de hormigón o de capas tratadas con cemento, se propagan a través de la capa asfáltica colocada encima, hasta aparecer en la superficie de la carretera.

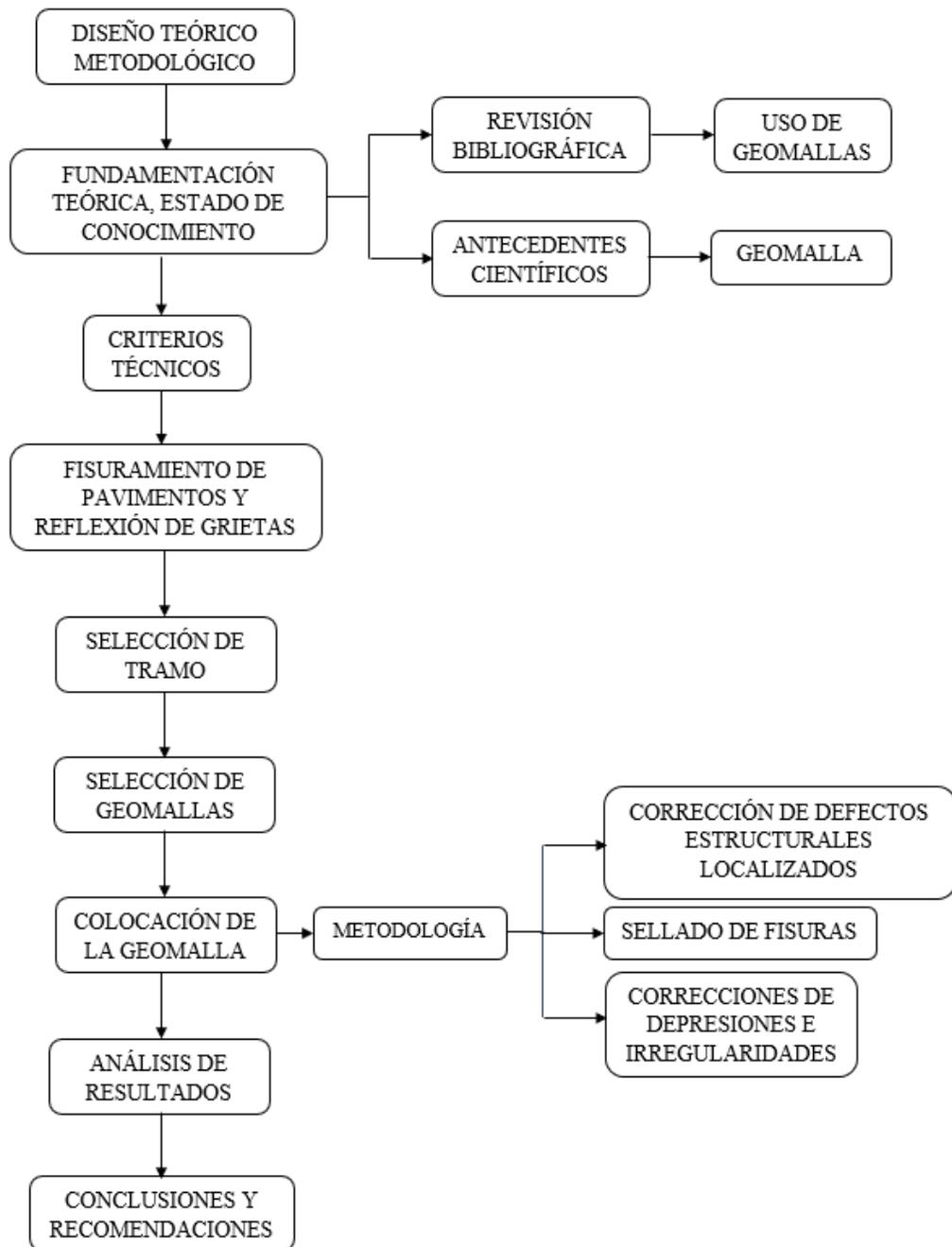
**Tabla 1.2** Variable dependiente

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Reflexión de fisuras	La reflexión de fisuras o grietas consiste en que las juntas y grietas de un pavimento, generalmente de hormigón o de capas tratadas con cemento, se propagan a través de la capa asfáltica colocada encima, hasta aparecer en la superficie de la carretera.	Prueba de resistencia	Kg/cm <sup>2</sup>	Realizando con una prensa hidráulica aplicando cargas
		Resultados y tablas	Informe final	Proceso de cálculos normados

**Fuente:** Elaboración propia

## 1.10. Diseño metodológico

Esquema 1 Esquema lógico estructural



Fuente: Elaboración propia

## **1.11. Alcance**

### **Fase I**

El presente trabajo desarrolla un estudio sobre la incidencia del comportamiento de la geomalla como elemento retardador de propagación de fisuras en recapeos asfálticos sobre pavimentos de hormigón agrietado, basándose en leyes generales de elasticidad. Todo pavimento con el transcurso del tiempo tiene que deteriorarse ya que está diseñado para un cierto periodo de vida útil, y dada las circunstancias económicas propias de nuestro país es que tenemos que encontrar la manera de alargar a lo máximo la vida útil de las carreteras.

Una forma de recuperar los actuales caminos, avenidas, carreteras deterioradas, consiste en realizar recapeos asfálticos de bajos espesores, cuyo objetivo es encontrar una solución parcial, basada principalmente en consideraciones económicas. Sin embargo, la gran limitante de esta solución es el afloramiento prematuro de grietas en la superficie de rodado, producto de la reflexión de grietas desde el pavimento existente.

Se han experimentado muchos métodos para eliminar la reflexión de grietas, por ejemplo, el uso de un sello slurry, sello de penetración de asfalto modificado con caucho, capas de concreto asfáltico de graduación abierta y asfaltos con sulfuros, solamente por nombrar algunos. Una alternativa para lograr un retardo en la aparición de grietas, se ha intentado en base a elementos como geomallas, los que se ubican en la interfase del pavimento antiguo y la nueva capa.

Existen opiniones divergentes en cuanto a si la geomalla retarda la propagación de fisuras, pero experiencias exitosas en E.E.U.U. y Europa demuestran su efectividad; sin embargo, la aplicación en nuestro país no está del todo establecido, en base a estas experiencias se están aunando esfuerzos con el propósito de establecer investigaciones en este sentido.

ALVAGRID FV G es una geomalla de origen español la mismo que pertenece a una de las fábricas más reconocidas de polímeros en el mundo. Fue seleccionada esta geomalla por las propiedades físicas y mecánicas con las que cuenta, recomendada su uso por los buenos resultados que se obtuvieron en varias partes del mundo. Claro está que se puede utilizar cualquier geomalla que cumpla con las condiciones físicas y mecánicas establecidas para recapeos asfálticos.

Una vez seleccionada la geomalla se procede con hacer un análisis del tramo en estudio ya que limitados por las características de este proyecto que se trabaja sobre propiedad de la Alcaldía Municipal de la ciudad de Tarija, es que sólo se puede hacer el análisis sobre una losa, pero suficiente para ver como incide la geomalla en los recapeos asfálticos. Este análisis se lo realiza observando las características de las losas, en nuestro caso seleccionamos una losa ubicada en la calle Junín, la misma que presenta fisuras longitudinales y fisuras transversales.

## **Fase II**

Realizado un estudio determinando del método a utilizar, condiciones que se deben cumplir, como es calidad de la geomalla, calidad del material utilizado y maquinaria mínima que se tiene que tener en la obra, se pretende fresar la losa reduciendo 5 centímetros del nivel del pavimento, esto para incorporar una capa asfáltica no olvidándonos para que funcione correctamente este método de recapeo no sólo considerar a la geomalla utilizada, sino los materiales y pasos que se tienen que seguir para el correcto colocado de la misma.

Para realizar el recapeo asfáltico, se tiene que contar con personal de apoyo, ligante asfáltico, asfalto, geomalla, rodillo neumático, rodillo compactador y herramientas menores que pudieran ser necesarias para el colocado.

## **Fase III**

Una vez colocada la nueva capa de rodadura, es que se hace una evaluación superficial cómo se va comportando la losa con los 5 centímetros de capa asfáltica, observaremos los tipos de carga a las cuales es sometida la losa verificando si evidentemente la geomalla limita la reflexión de grietas a la nueva capa de rodadura.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Introducción**

Las metodologías de diseño de pavimentos se han desarrollado con las tecnologías de construcción de vías y con la aparición de nuevos productos en la aplicación de esas tecnologías. De esta forma, los diseñadores se han visto en la obligación de reemplazar los métodos tradicionales por nuevas técnicas para mejorar la estructura del pavimento, en los que se aplican las teorías de distribución de esfuerzos y deformaciones absorbidas por una geomalla que actúa como una capa intermedia entre el pavimento agrietado y la nueva capa de rodadura.

Los métodos racionales de diseño son una herramienta para analizar el comportamiento real de una estructura de pavimento sometida a cualquier tipo de carga y condición ambiental, teniendo en cuenta las características y propiedades de los materiales que conforman la estructura; y es aquí donde se fundamenta la selección de esta metodología para el análisis de un sistema de pavimento reforzado con geomalla.

Los programas de diseño de pavimentos se basan en las teorías de distribución de esfuerzos y deformaciones en un sistema multicapa y permiten hacer un rápido análisis de las diferentes alternativas de diseño para una misma estructura, comparando los resultados de cada alternativa con los valores admisibles establecidos.

Esta comparación es la que permite evaluar los beneficios de la utilización de una geomalla dentro de la estructura de pavimento, que se pueden definir en tres tipos: reducción de espesores, incremento de la vida útil o incremento de la capacidad portante de la estructura.

Aunque la utilización de los geosintéticos es una opción novedosa y cada vez más común, posee un principio que se remonta muchos años atrás. En la antigüedad se utilizaban técnicas, actualmente conocidas como geoceldas y geomallas, las cuales brindaban un confinamiento lateral y aumentaban la resistencia a tracción de los suelos mediante capas horizontales de madera o ramas de palmera entrelazadas. Además, en algunos métodos constructivos se utilizaban pieles de animales para separar suelos blandos de los superiores (Beltran, 2013).

Actualmente, el uso de los geosintéticos (como las geomallas), a diferencia de otras técnicas capaces de solucionar los problemas de agrietamiento y fatiga, resulta una opción más viable en la mayoría de casos, ya que permite reducir los costos, disminuir el tiempo de construcción y su instalación resulta sencilla (Alvarado S. , 2012)

## **2.2. Geosintéticos**

Dentro de la denominación genérica de los geosintéticos se encuentran aquellos materiales de deformabilidad apreciable, fabricados a base de materiales sintéticos, que poseen cualidades suficientes para proporcionar una mejora sustancial en una o varias propiedades que se requieren en las obras de ingeniería para la rehabilitación de pavimentos.

Existen varios campos de aplicación de los geosintéticos dentro del mundo de la construcción y la edificación: obras viales, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión, aplicaciones medioambientales, entre otras. Los geosintéticos comprenden productos manufacturados a partir de procedimientos principalmente de extrusión (geoplásticos), productos que incluyen en su fabricación tecnología textil (geomallas) y productos formados por ambas tecnologías: textil y plástica. El término genérico geosintéticos designa un producto en el que, por lo menos, uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de fieltro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil.

Dentro de este grupo de geosintéticos se hallan diferentes productos en función de determinadas características; geomallas, geomembranas, geotextiles, georedes, geoceldas. Las funciones que debe cumplir para que los geosintéticos desempeñen su objetivo de retrasar o detener la propagación de grietas deben cumplir unas características el momento de su fabricación relativa a sus propiedades mecánicas, ya sean estas resistencias a la tracción, módulos de rigidez, retención de betún, así como su capacidad de mantener adheridas ambas capas del pavimento. (Alvarado S. , 2012)

## **2.3. Geomallas**

Las geomallas son geosintéticos que se emplean para aumentar la resistencia de los revestimientos frente a las tracciones y diferencias de tensión, con el fin de evitar fisuras y desprendimientos en los revestimientos de los pavimentos. Son estructuras

bidimensionales que se elaboran en diferentes polímeros para que interactúen con el suelo, de tal manera que complementen la resistencia a la tensión de este, y así crear una resistencia geomalla-suelo competente para recibir cargas y distribuir las uniformemente, sus funciones se basan en la capacidad de filtración y en sus altas resistencias mecánicas, siendo éstas: separar, filtrar, drenar, reforzar y proteger. (Tensar I. , 2017)

La geomalla es una estructura plana a base de polímero. Está constituida por una malla abierta y regular de elementos resistentes a la tracción, pudiendo estar fabricados por laminas perforadas o tejidos ligados por procesos térmicos o de encolado, en la cual las aberturas tienen dimensiones superiores a las de los constituyentes, es usado en contacto con el suelo o con otros materiales. (Alvarado S. , 2012)

Se utilizarán geomallas elaboradas a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos con un porcentaje mínimo de 95% en peso de poliolefinas o poliéster y serán del tipo no tejido, Deberán tener la capacidad de absorber la cantidad especificada de ligante asfáltico y poseer las propiedades mecánicas que se indican en la siguiente tabla.

**Tabla 2.1** Propiedades mecánicas de la geomalla

Propiedad	Valor mínimo promedio por rollo (VMPR)
Elongación (%)	≥ 50% (Nota 1)
Resistencia a la tensión Grab (N)	≥ 450
Retención asfáltica (l/m <sup>2</sup> )	≥0.9 (Nota 2)
Masa por unidad de área (grs/m <sup>2</sup> )	≥140
Punto de Fusión (°C)	≥150 (Nota 3)

**Fuente:** Tex Delta, S.L. Armando Álvarez (2022)

Las propiedades de resistencia de la geomalla dependerán de los requerimientos de supervivencia, de las condiciones y procedimientos de instalación. Las propiedades corresponden a condiciones normales de instalación y deberán ser medidas en el sentido más débil de la geomalla.

Nota 1. La elongación hace referencia a las geomallas no tejidas.

Nota 2. La retención asfáltica mínima será de nueve décimas de litro de cemento asfáltico por metro cuadrado de geomalla (0.9 l/m<sup>2</sup>). La retención asfáltica, medida en litros por

metro cuadrado (1/m<sup>2</sup>), deberá ser suministrada por el fabricante y verificada por el Interventor, e indica la cantidad de cemento asfáltico requerida para saturar la geomalla. El valor de la retención asfáltica estará dado en términos de cemento asfáltico residual en el evento de utilizar emulsiones asfálticas

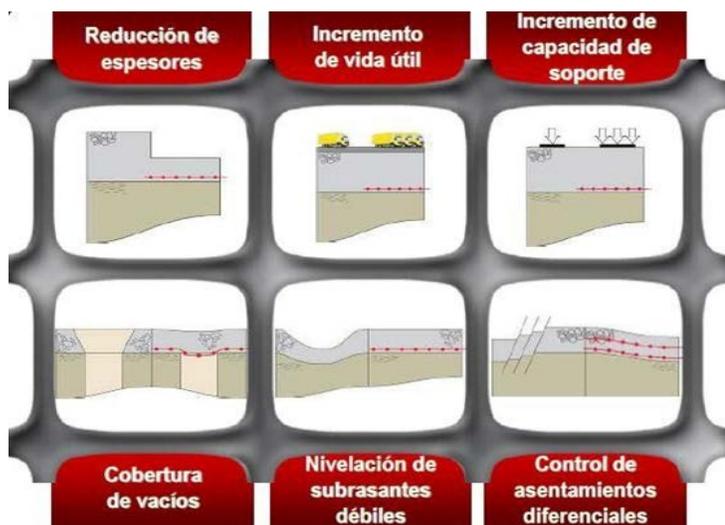
Nota 3. El punto de fusión de la geomalla deberá ser mayor o igual a ciento cincuenta grados centígrados ( $\geq 150$  °C) cuando la nueva capa asfáltica sea elaborada con asfalto convencional. El punto de fusión de la geomalla deberá ser mayor o igual a doscientos cincuenta grados centígrados ( $\geq 250$  °C) cuando la nueva capa asfáltica sea fabricada con asfaltos modificados con polímeros ó cuando la temperatura de compactación supere ciento cincuenta grados centígrados (150 °C) (Tex Delta, 2019).

#### **2.4. Refuerzo de vías con geomallas**

El desarrollo de las geomallas y de su utilización en los campos de la ingeniería, ha introducido un nuevo concepto en las metodologías de diseño y construcción de sus diversas aplicaciones. Son muchas las teorías y las investigaciones que han surgido con esta nueva tecnología, basadas en las necesidades y los requerimientos de los ingenieros diseñadores y constructores, llevando a que las geomallas se utilicen cada vez más para la realización de las obras civiles y rehabilitación de las mismas.

Uno de los mayores campos de aplicación de las geomallas son las vías, donde se deben considerar varios aspectos que involucran su utilización: separación, refuerzo, estabilización de suelos, filtración y drenaje. Los estudios que se han realizado en este campo y las experiencias existentes han demostrado los grandes beneficios que aportan las geomallas en la construcción de vías y en su rehabilitación, mejorando el nivel de servicio y aumentando la vida útil.

**Figura 2.1** Beneficios de las geomallas



**Fuente:** (GEOSAI, 2016)

Las geomallas de refuerzo tienen muchas ventajas:

- Alargan la vida útil del pavimento.
- Su instalación sencilla, muy rápida y económica.
- Contienen una excelente adherencia entre capas.
- Reducen la fatiga de las mezclas bituminosas.
- Son de alta resistencia a la tracción y al desgarro.
- Fortalecen las diferentes capas del asfalto.
- Retardan la aparición de fisuras y las minimizan.

En Bolivia se tienen pocas experiencias en este campo, a diferencias de otros países vecinos donde es una práctica común la rehabilitación de pavimentos con geomallas, sin embargo, no existe una metodología de diseño racional que involucre la correcta utilización de las geomallas en especial para la rehabilitación de pavimentos. (Orrego,2014)

**Figura 2.2** Maqueta de pavimento reforzado con geomallas



**Fuente:** (Texdelta, Aplicación de los geosintéticos en el pavimento vial, 2020)

### **2.5. Beneficios de las geomallas**

La geomalla de refuerzo permite incrementar la capacidad portante del sistema que conforma la estructura de pavimento, para el caso de rehabilitación de pavimentos puede traducirse en una reducción del espesor de la capa granular, en un mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales que hacen parte de la capa granular o en un incremento de la vía útil de la vía en estudio.

De igual manera, al mejorar las condiciones mecánicas de la estructura del pavimento se puede obtener un aumento de tránsito de diseño, evaluando con la cantidad de ejes equivalentes que van a pasar durante el periodo de operación en la vía.

Otro beneficio importante es que evita la reflexión de grietas actuando como una capa intermedia la misma que distribuye los esfuerzos de corte producidos por las fisuras del hormigón hacia la nueva capa de rodadura.

La geomalla junto con la emulsión asfáltica en caliente forma una capa impermeable protegiendo de esta manera el paquete estructural aislándolo completamente del agua.

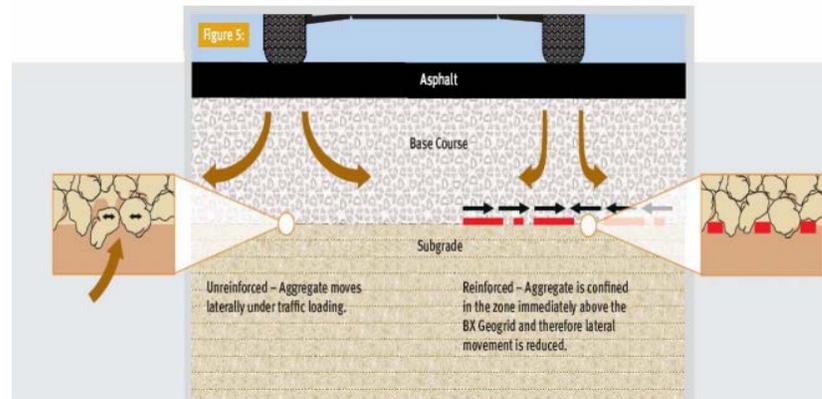
## 2.6. Funciones de las geomallas

Son varias las funciones de las geomallas y varían según el campo de aplicación en que se utilicen. En el caso de las estructuras de pavimento, las geomallas cumplen dos funciones esenciales: separación y refuerzo. (Giroud, 2017)

### 2.6.1. Separación

La función de separación que cumple una geomalla es mantener la integridad y el buen funcionamiento entre las dos carpetas adyacentes con propiedades y características diferentes. Al no tener un contacto directo entre las dos capas la geomalla distribuye los esfuerzos evitando un contacto directo de los bordes de la fisura al pavimento asfáltico. Con esto se evita que los diferentes componentes de la capa granular se puedan mezclar con la subrasante. Si se tuviera una mezcla, se produciría una falla de deformación en esta interfase y por ende el ahuellamiento y fisuras en la carpeta de rodadura. (Giroud, 2017)

**Figura 2.3** Efecto de separación de capas y confinamiento de la geomalla



**Fuente:** (Giroud, 2017)

#### 2.6.1.1. Reducción de grietas reflectivas

Existe una aplicación especial de las geomallas que ha sido discutido en gran medida en los últimos tiempos y es la reducción de grietas reflectivas en pavimentos asfálticos.

Muchas marcas comerciales han sabido desarrollar telas y técnicas constructivas para que sea controlado el problema de la reflexión de fisuras desde la base al pavimento, o desde el pavimento antiguo al nuevo. (Giroud, 2017)

Estos sistemas, generalmente consisten de una tela de polipropileno no tejida (geomalla no tejida) saturada con una capa de ligante asfáltico. Cuando la geomalla se coloca entre el pavimento original y una sobre-capa de asfalto, o entre la base y el pavimento nuevo, se convierte en parte integral de la sección de la carretera, formando una barrera contra la infiltración de agua y reduciendo el agrietamiento reflectante de la nueva superficie asfáltica. (Giroud, 2017)

Una cantidad significativa de agua de lluvia se infiltra a través de los pavimentos de mezcla asfáltica y de concreto de cemento portland, saturando y debilitando los materiales de la base y de la sub-rasante. Si los materiales de base de un pavimento están saturados tan sólo un 10% del tiempo, la vida útil de ese pavimento se reducirá un 50%. La mayoría de los pavimentos, no tienen capas adecuadas de base abiertas, con drenaje libre que drenen rápidamente esta agua infiltrada, para así evitar la saturación de la base de la carretera. La geomalla, cuando se satura con la capa ligante de cemento asfáltico, se convierte en una barrera de humedad en el pavimento, impidiendo esta infiltración antes de que llegue a las capas de base y a la sub-rasante. (Giroud, 2017)

El módulo resiliente de las capas de la sub-rasante típicas y de la base, puede aumentar significativamente, simplemente manteniendo estas capas a un nivel de humedad bajo. Minimizando la humedad de la base de la carretera también se puede ayudar a eliminar los problemas de congelación y deshielo del pavimento. (Giroud, 2017)

El pavimento flexible de mezcla asfáltica va a, eventualmente, desarrollar grietas por fatiga debido a los esfuerzos por tensión cuando se deflexione. La inclusión de la entre-capa de geomalla trae como resultado, un pavimento con esfuerzos a la tracción reducidos ampliamente, al compararse con pavimentos monolíticos que no tienen esta inclusión. El resultado es un gran aumento a la resistencia a la fatiga del pavimento nuevo o de las sobre-capas. La capa de espesor mediano, de geomalla saturada con asfalto, también absorbe esfuerzos provenientes de las discontinuidades del pavimento existente. Pequeños movimientos, asociados con grietas y juntas viejas, son disipados dentro del sistema geomalla-ligante, en lugar de ser transferidos hacia las capas superiores como agrietamiento reflectivo. Esta disipación de esfuerzos es efectiva sobre grietas y juntas de pavimentos de hormigón o de mezcla asfáltica. (Giroud, 2017)

La geomalla es también efectiva en la prolongación de la vida de la superficie sellada con una capa de tratamiento superficial impermeable, ya que la capa de tela saturada con asfalto, proporciona una cámara reforzada fibrosa para la gravilla. El desprendimiento del agregado pétreo se reduce apreciablemente y el agrietamiento superficial se retarda.

### **2.6.2. Refuerzo**

El refuerzo con geomallas permite además soportar mayores aplicaciones de carga en el pavimento rígido y mejorar su capacidad portante, mediante otro mecanismo diferente, que se aplica cuando el refuerzo se ha deformado lo suficiente para actuar como una membrana a tensión. Cuando se aplica una carga en la superficie de la estructura, una parte de los esfuerzos normales de la fibra inferior de esa capa (parte cóncava) son soportados por la fuerza de tensión de la membrana de geomalla, reduciendo así los esfuerzos aplicados en el pavimento rígido que se encuentra bajo la geomalla (parte convexa de la geomalla).

El mecanismo va a depender del tipo de suelo con el cual está en contacto. Se han identificado tres tipos dentro de la capa granular, de la subrasante y la base granular.

- Restricción del desplazamiento lateral:

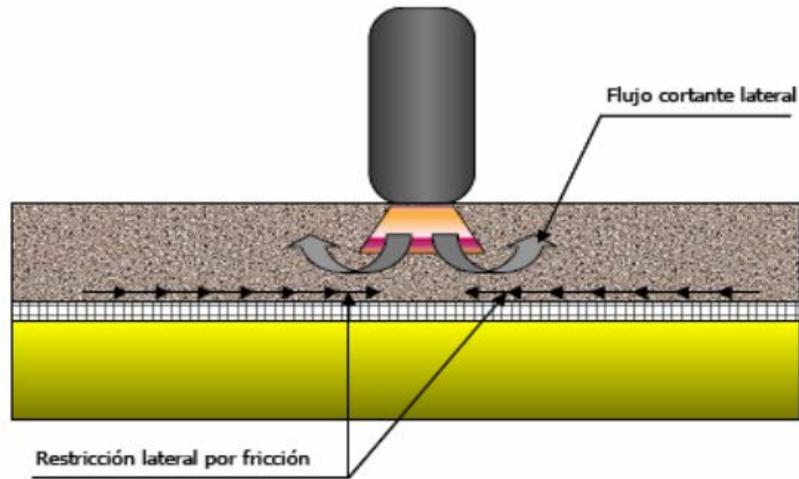
Se refiere al confinamiento que restringe el desplazamiento del material granular cuando se aplica una carga.

Este mecanismo se obtiene por medio de la trabazón que se produce entre las partículas de agregado y la geomalla de refuerzo. Al aumentar el confinamiento lateral e impedir el desplazamiento lateral de las partículas, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla. Además, se reducen las deformaciones verticales y los ahuellamientos en la superficie de rodadura. A lo largo de los años se ha demostrado que este es el mecanismo más importante al momento de determinar el aporte de la geomalla. (Vilcas U., 2020)

Si tenemos en cuenta que este confinamiento generado crea una capa de material más rígida; entonces debemos ser conscientes de la importancia de la forma y tipo de abertura para tener un mejor comportamiento del material, el resultado será distinto para cada tipo de geomalla. Además, es importante mencionar que se tendrá un confinamiento “máximo” en la zona próxima al elemento de refuerzo; mientras que, a medida que nos alejamos de este, este efecto irá disminuyendo. En algunos casos, cuando el espesor de la capa a reforzar es muy grande, será necesario colocar más de una capa de geomalla para asegurar

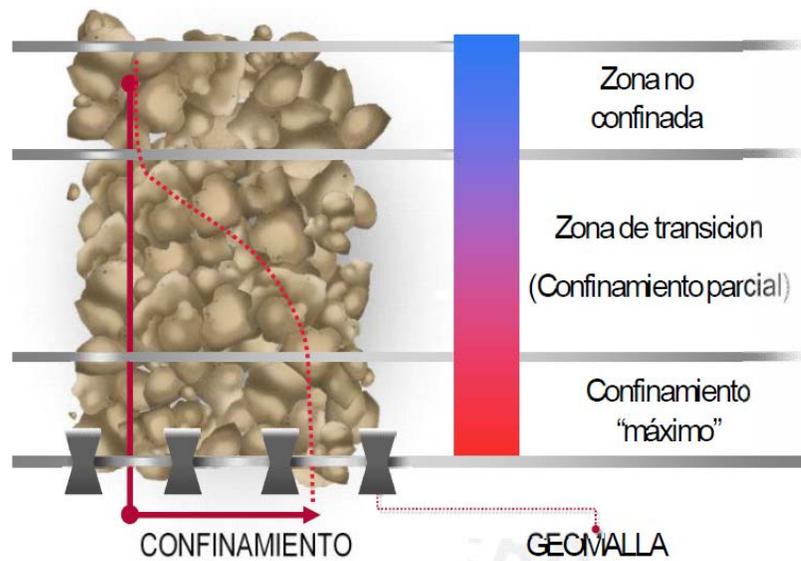
el correcto comportamiento del material y una capa lo suficientemente rígida para soportar las solicitaciones sobre la estructura. (Caballero T., 2006)

**Figura 2.4** Restricción lateral y confinamiento del material



**Fuente:** (Caballero T., 2006)

**Figura 2.5** Distribución de zonas de confinamiento



**Fuente:** (Alvarez C. & Bermudez M., 2020)

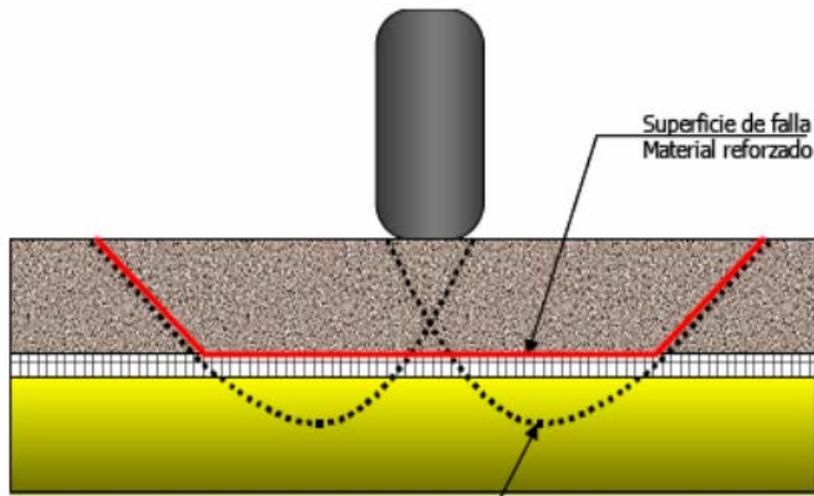
- Mejora de la capacidad de soporte:

Este material actúa como barra que controla la superficie interior de la envolvente de falla; Es decir, la confina completamente en la base granular. Asimismo, tiene mayor resistencia que la subrasante.

Este mecanismo logra desplazar la superficie de falla, ubicada en un principio en la subrasante blanda, hacia una de mayor resistencia, en este caso la capa granular. Esto es posible ya que la rigidez de la geomalla permite la redistribución de las cargas en un área mayor disminuyendo los esfuerzos que el material no competente (suelo blando) debe soportar.

Este es un mecanismo considerado al momento de trabajar en vías no pavimentadas o cuando la capacidad portante de la subrasante es muy baja. También se le conoce como efecto del “zapato de nieve” por su similitud con este objeto utilizado en algunos países para poder caminar sobre este tipo de terreno. (Caballero T., 2006)

**Figura 2.6** Mejora de la capacidad de soporte del suelo



**Fuente:** (Caballeros T, 2006)

**Figura 2.7** Mecanismo de mejoramiento de capacidad de soporte

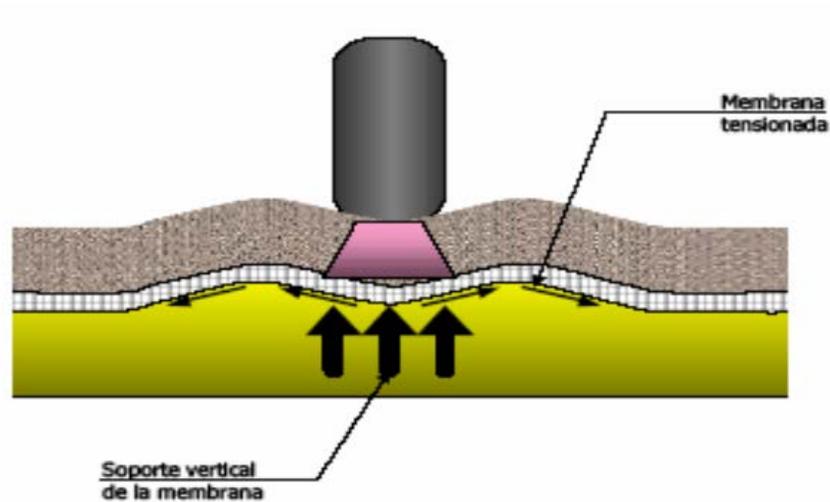


**Fuente:** (Orrego C., 2014)

- Efecto de membrana tensionada:

Cumple la función de mejorar la capacidad de distribución vertical del esfuerzo resultante de la tensión en una membrana deformada.

**Figura 2.8** Efecto de membrana tensionada producido por la geomalla



**Fuente:** (Caballero T., 2006)

Este mecanismo se origina cuando se presenta una deformación considerable en el terreno natural debido a cargas vehiculares presentes sobre la vía; en este se desarrollan esfuerzos importantes que son soportados por la resistencia a la tensión que tiene el refuerzo.

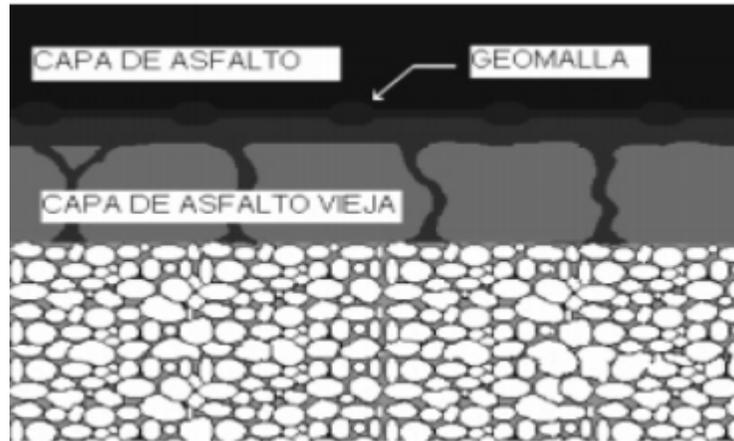
Durante mucho tiempo se consideró que este era el principal mecanismo de refuerzo. Sin embargo, si se hace un análisis de las condiciones necesarias para activarlo podemos encontrar una paradoja. (Caballero T., 2006)

Debido a que este mecanismo se activa para altos niveles de deformación, generalmente solo ocurre en vías no pavimentadas después de que la vía ha soportado un elevado número de cargas debido al tráfico. Esto se debe a que, en vías pavimentadas, la deformación necesaria para movilizar este sistema de refuerzo es mucho mayor a la que se espera sin que se generen consecuencias perceptibles por el usuario. (Caballero T., 2006)

Por esta razón, podemos considerar que, en aplicaciones de la geomalla como mejoramiento de subrasantes, se deberá considerar el mejoramiento de la capacidad portante y, en menor grado, el efecto de membrana tensionada. No obstante, para aplicaciones de refuerzo de base del pavimento, el confinamiento lateral es el mecanismo de refuerzo más importante y el que deberíamos asegurar.

Con el fin de minimizar el espesor de la nueva capa de rodadura, retrasar la aparición de grietas e incrementar la resistencia de la estructura, se emplea la geomalla, lo que resulta es el aumento de la resistencia a la nueva carpeta asfáltica debido a que absorbe los refuerzos a tracción horizontal que se generan sobre las mismas. Es importante que haya continuidad dentro del conjunto; es decir la geomalla se debe adherir perfectamente al asfalto siendo impregnado y recubierto con el material bituminoso. (Caballero T., 2006)

**Figura 2.9** Ubicación de la geomalla en recapeos



**Fuente:** (Caballero T., 2006)

## **2.7. Aplicación de geomallas**

La geomalla es uno de los productos que se están implementando en el sector carretero. Esto se debe a que las carreteras están constantemente sometidas a cargas dinámicas, lo cual ocasiona la aparición de huecos y grietas; estos, en conjunto con el agua, hace que se agrave la estructura del pavimento. El material tiene como fin incrementar la resistencia a la tracción en todo el conjunto y sin tener posibles discontinuidades. Es decir, funciona como refuerzo y proporciona una mayor seguridad para los transeúntes. (Caballero T., 2006)

La utilización de las geomallas está predispuesto al campo de aplicación en que se lo quiera utilizar, para nuestro caso vamos a hacer una descripción breve de la utilización de las geomallas en obras nuevas, mantenimiento y renovación de carreteras.

### **2.7.1. Obra nueva**

Una de las causas principales de la falla de los pavimentos y caminos es la contaminación de la base de agregado y la pérdida resultante en la resistencia del mismo. Cuando se coloca agregado sobre una sub-rasante, la capa inferior se contamina con ésta. Con el tiempo, la carga y la vibración del tránsito va hundiendo el agregado del pavimento en la sub-rasante, causando la migración hacia arriba del limo y la arcilla. En sitios húmedos, el tránsito de la construcción causa el bombeo de los finos de las sub-rasantes débiles hacia

la capa de agregado. Todas estas condiciones disminuyen el espesor efectivo del agregado destruyendo, de esta forma, el apoyo del camino y reduciendo su rendimiento y vida útil. Como se dijo, las geomallas proporcionan cuatro funciones importantes, las cuales aumentan el funcionamiento del camino: separación, estabilización, refuerzo y drenaje. La geomalla a seleccionar dependerá de cuales funciones son las más adecuadas para el proyecto. Tanto las geomallas tejidas como las no tejidas proporcionan una separación a largo plazo entre la base de agregado y la sub-rasante.

Al separar estos dos materiales, la geomalla mantiene el espesor original de las capas del camino. Esta es la función más importante de las geomallas para caminos, particularmente cuando se construyen sobre suelos con sub-rasantes de resistencia débil a moderada. La geomalla también permite usar una base de agregado para el pavimento con una granulometría más abierta y de alta permeabilidad, lo que mejora el drenaje. Al disminuir la pérdida de agregado y aumentar su permeabilidad, se incrementa considerablemente el rendimiento y la vida útil del pavimento.

Las geomallas tejidas y no tejidas de mayor resistencia proporcionan estabilización además de su función principal de separación. A través de la estabilización, una geomalla puede aumentar la capacidad efectiva de carga de los suelos con sub-rasantes de baja resistencia. Una geomalla para estabilización reduce el bombeo de la sub-rasante, la excavación adicional y el espesor requerido del agregado.

La separación, la estabilización y el refuerzo son necesarios para la construcción sobre suelos con sub-rasantes débiles. Las geomallas tejidas, de alto módulo para refuerzo, proporcionan una plataforma esencial para construir una base de camino competente y minimizar los requerimientos de profundidad de relleno. Estos productos son ideales cuando se espera que el agua fluya de la sub-rasante a la base de agregado.

La geomalla puede constituirse como un material que aumenta la seguridad ante la falla de base local en la construcción de caminos. La formación de ahuellamientos, debido a la alta carga de ejes de vehículos pesados, es una característica de caminos no pavimentados con sub-bases blandas. Para mantener caminos de este tipo permanentemente en uso es muy importante minimizar la formación de ahuellamientos de manera de evitar la formación de fallas en la base.

Una posibilidad de evitar fallas locales es el aumento del espesor de la capa portante, con el objeto de tener una mejor repartición de la carga y disminuir la tensión normal. Esta solución, implica un aumento de los costos que alcanzan proporciones significantes en ciertos casos. También es importante señalar que un buen relleno es difícil de encontrar y sus volúmenes son ocasionalmente escasos.

Otra posibilidad para evitar fallas de base locales y garantizar el tránsito vehicular es el mejoramiento o estabilización del suelo con cal, cemento o aditivos químicos. No obstante, esta posibilidad no siempre es realizable, fundamentalmente por la imposibilidad de adecuar el equipamiento constructivo a las condiciones del terreno.

La construcción con geomallas representa una alternativa a las posibilidades antes descritas. La utilización de estos materiales como capa separadora logra disminuir espesores de la capa portante y con ello los costos de movimiento de suelos y aporte de material.

Algunas experiencias han demostrado un aumento del 60% en el valor de la capacidad portante de un suelo arcilloso saturado al colocarse una geomalla no tejida entre el suelo de la sub-rasante y la base estabilizada superior. En principio se pensó que la aportación de la geomalla venía dada solamente por un efecto de membrana en la estructura resistente a nivel de la sub-rasante. También se pueden observar estudios en cuanto a la variación de los módulos resilientes, en donde se concluye que esa resulta una aportación adicional. Pero fundamentalmente las principales acciones a destacarse son:

- Mejor drenaje
- Aumento de la velocidad de consolidación del subsuelo
- Formación más plana y homogénea del asentamiento
- Mejor redistribución de los esfuerzos
- Impide la migración de finos y el mezclado entre suelos de sub-rasante con los suelos de base.

### **2.7.2. Mantenimiento y renovación de pavimentos**

Durante los primeros años de la década del 70, la demanda mundial de reducción de los costos de reparación de pavimentos asfálticos para carreteras ha impulsado el desarrollo de una nueva tecnología de repavimentación: la combinación de materiales geomallas con productos de revestimiento asfáltico.

Dicho método, que procede de los estados del sur de EE.UU. y que se desarrolló para prevenir la formación de las denominadas fisuras de reflexión en la superficie de pavimentos de asfalto, ha sido adoptado de forma generalizada y se ha convertido en uno de los principales campos de aplicación de los materiales.

En general, los factores que determinan la duración de la superficie de una carretera asfáltica nueva son la fatiga por flexión, el envejecimiento natural, la formación de ahuellamientos, la abrasión, la formación de grietas por efecto de la temperatura y las grietas de reflexión.

En la actualidad, se está enfrentando el problema de sistemas de carreteras que están envejeciendo y presupuestos de mantenimiento que van escaseando. Uno de los principales contribuyentes al deterioro de los caminos es el agua que se encuentra debajo del pavimento, la cual reblandece el suelo de la sub-rasante lo que a su vez destruye la capacidad estructural del pavimento. Un pavimento con una base que se sature en un tiempo del 10% de diseño, tendrá solamente un 50% de la vida útil de un pavimento donde el agua se mantiene fuera de la base. Gran parte de esta agua entra por las fisuras y poros de la superficie del pavimento.

Las geomallas especiales para pavimentación y las membranas de reparación están diseñadas para reducir la infiltración del agua y las grietas reflectivas, ahorrando, de esta forma los ciclos costosos de repavimentación. Se ha comprobado que éstas prolongan la vida útil de carreteras, calles urbanas, estacionamientos, pistas de aterrizaje y accesos de aeropuertos. Estos productos tan versátiles se utilizan en pavimentos de asfaltos nuevos, por debajo de las capas de pavimentos rígidos y flexibles, así como por debajo de pavimentos sellados por tratamientos de superficie.

En el mercado se ofrecen geomallas de polipropileno no tejido agujado para la pavimentación, los cuales ofrecen una barrera contra la humedad sobre todo el ancho de la superficie de pavimentación, cuando se combina con una capa ligante de cemento asfáltico. También para este propósito, existen membranas impermeabilizantes y auto adheribles para la reparación eficaz de grietas y juntas del pavimento o para sellar cubiertas de puentes.

El producto es un compuesto formado por la geomalla no tejida revestido con cemento asfáltico y un mastic adhesivo ruberizado (con adición de caucho). El mastic adhesivo se

une fácilmente a la superficie del pavimento existente, permitiendo la instalación rápida y sencilla del producto. La capa de asfalto sobre la geomalla no tejida asegura una excelente unión con la carpeta del pavimento.

También existen compuestos, por ejemplo, de tres capas, consistentes en asfalto impermeable intercalado entre una tela no tejida y una tejida de alto módulo. El compuesto de una membrana extra fuerte para la reparación del pavimento con alta resistencia a la tracción y excelente resistencia a la delaminación, amortigua y disipa eficazmente las tensiones del pavimento que causan el agrietamiento reflectante.

## **2.8. Clasificación de las geomallas**

### **2.8.1. Clasificación de las geomallas según su método de fabricación**

La industria de la fabricación de geomallas se ha desarrollado a lo largo de los últimos años optimizando procesos de fabricación y obteniendo materiales de un alto desempeño. Dentro de estos, contamos con tres tipos de fabricación principales que se describirán a continuación.

#### **2.8.1.1. Geomallas tejidas**

Este tipo de geomallas se fabrican a partir del tejido de fibras de poliéster de alta resistencia que forman las costillas y luego son unidas mediante el tejido o enredado de las juntas; lo que las hace muy flexibles (Figura 2.10). Para terminar, se les coloca un recubrimiento de PVC, látex o algún material bituminoso que le otorgue una mayor resistencia a la abrasión de los suelos con los que estarán en contacto. (Orrego,2014)

**Figura 2.10** Uniaxial de poliéster tejida

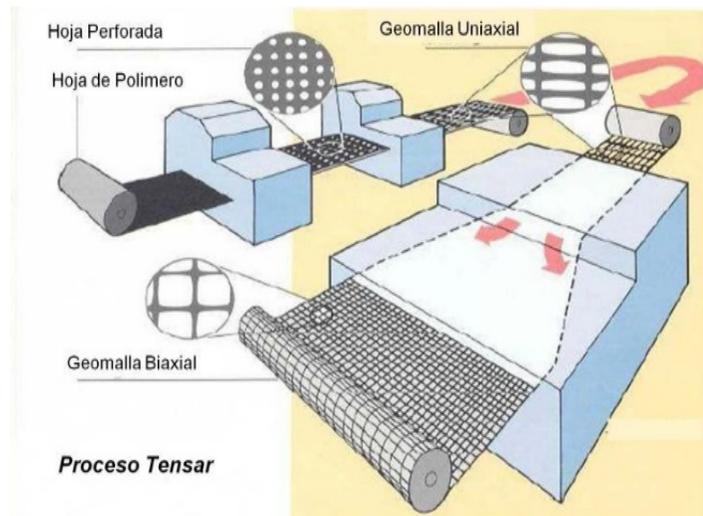


**Fuente:** (Orrego C., 2014)

### 2.8.1.2. Geomallas extruidas

Los polímeros comúnmente usados para la fabricación de este tipo de geomallas son el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno. Para ello, se coloca una lámina del material escogido que será perforada siguiendo un patrón preestablecido; luego, la lámina se estira en la dirección (o direcciones) en la cual se desarrollará el esfuerzo de tensión (Figura 2.11). Este proceso se realiza a una temperatura específica determinada que permite que las partículas del polímero se alineen y adquieran las propiedades físicas requeridas. A este tipo de geomallas se les conoce como “uniformes” u “homogéneas” y tienen un alto módulo de rigidez. (Orrego,2014)

**Figura 2.11** Esquema de fabricación de geomallas uniaxiales y biaxiales



**Fuente:** (Blanco, 2017)

### 2.8.1.3. Geomallas soldadas

Estas geomallas se fabrican mediante la soldadura de costillas de poliéster de alta resistencia utilizando el proceso de fusión. Luego, estas se mantienen unidas gracias a una cobertura de polipropileno que se coloca sobre ellas (Figura 2.12). De acuerdo al número, y espaciamiento, de las costillas pueden llegar a ser las geomallas con mayor rigidez y mayor resistencia. (Orrego C., 2014)

**Figura 2.12** Geomalla uniaxial de polietileno soldada



**Fuente:** (Orrego C., 2014)

## **2.8.2. Clasificación de las geomallas por el sentido del desarrollo de refuerzo**

### **2.8.2.1. Geomallas uniaxiales**

Son aquellas en las que se desarrolla una alta resistencia a la tensión en una sola dirección (Figura 2.13) y de acuerdo a la geometría que presenten se desarrollará un mayor coeficiente de interacción. Son las más usadas en estructuras de suelo reforzado ya que en este caso las solicitaciones solo se desarrollan en el sentido paralelo a la colocación del refuerzo. (Orrego,2014)

**Figura 2.13** Geomalla uniaxial

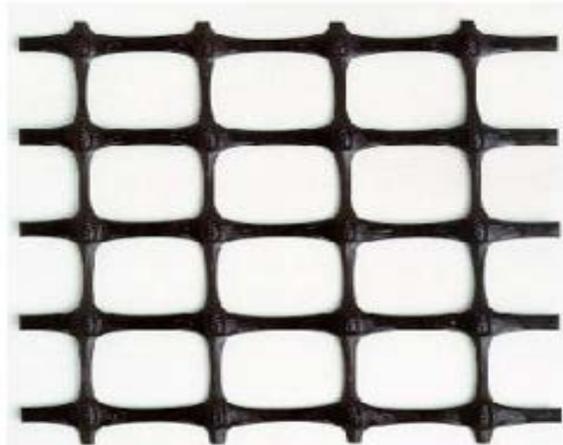


**Fuente:** (Tensar I. , 2017)

### 2.8.2.2. Geomallas biaxiales

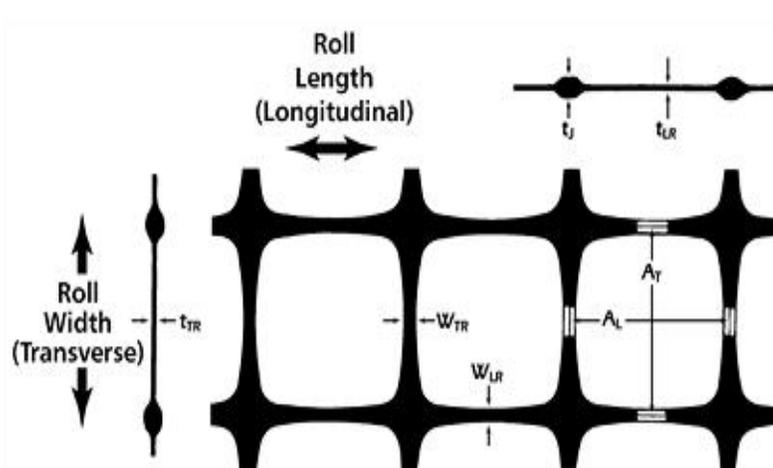
Son geomallas que presentan aberturas uniformes y resistencia a la tensión en dos sentidos: longitudinal y transversalmente (Figura 2.14). Se utilizan en aplicaciones de pavimentos o caminos y también como refuerzo secundario en taludes de suelo reforzado. (Orrego,2014)

**Figura 2.14** Geomalla biaxial



**Fuente:** (Tensar I. , 2017)

**Figura 2.15** Forma de las aberturas de las geomallas biaxiales



**Fuente:** (Tensar I. , 2017)

**Figura 2.16** Colocado de geomallas biaxiales



**Fuente:** (Orrego C., 2014)

Las geomallas biaxiales están compuestas por hilos de fibra de vidrio, cada uno de esos hilos posee una alta resistencia a la tensión y un alto módulo de elasticidad.

Esta geomalla impide el agrietamiento por fatiga y reflexión, es de fácil instalación, en un día de trabajo se pueden instalar hasta 20000 m<sup>2</sup>. De acuerdo a las investigaciones y pruebas realizadas como cargas cíclicas indican que al aplicar este refuerzo la duración es hasta cinco veces más comparado con un pavimento tradicional.

Las geomallas flexibles, que se usan entre capas, para control de agrietamiento por reflexión, fatiga y deformaciones. Posee un alto módulo de elasticidad, es un material fácil de reciclar, ya que proviene de origen mineral, su punto de ebullición esta entre los 800 y 850 °C, esto hace que se pueda trabajar con cualquier asfalto. (Tensar I. , 2017)

**Figura 2.17** Geomalla de fibra de vidrio



**Fuente:** (Maccaferri, 2016)

Las geomallas de fibra de vidrio son compuestos creados para el refuerzo de estructuras de pavimentos donde existe baja portabilidad del suelo.

**Figura 2.18** Colocado de la geomalla de fibra de vidrio

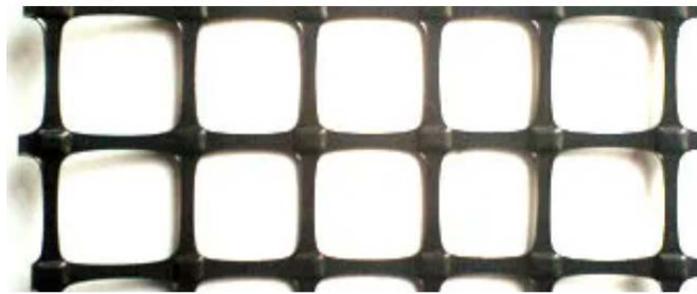


**Fuente:** (Maccaferri, 2016)

La geomalla biaxial de polipropileno está especialmente diseñada para la estabilización y refuerzo del suelo. Son producidas por un método patentado de extrusión y posteriormente estiradas de forma biaxial para incrementar sus características a la tensión proporcionando igualdad de puntos fuertes en las direcciones transversales haciéndolas adecuadas para aplicaciones en las que pueden producirse tensiones en cualquier dirección.

Tienen un elevado módulo a la tensión y una óptima resistencia a los daños por construcción durante la instalación. La retención del material granular entre sus aperturas, permite un efectivo confinamiento y refuerzo del suelo además de reducir los costos ya que permite trabajar con suelos de relleno menos costosos e incrementa la resistencia a sismos. (Blanco, 2017)

**Figura 2.19** Geomalla biaxial de polipropileno

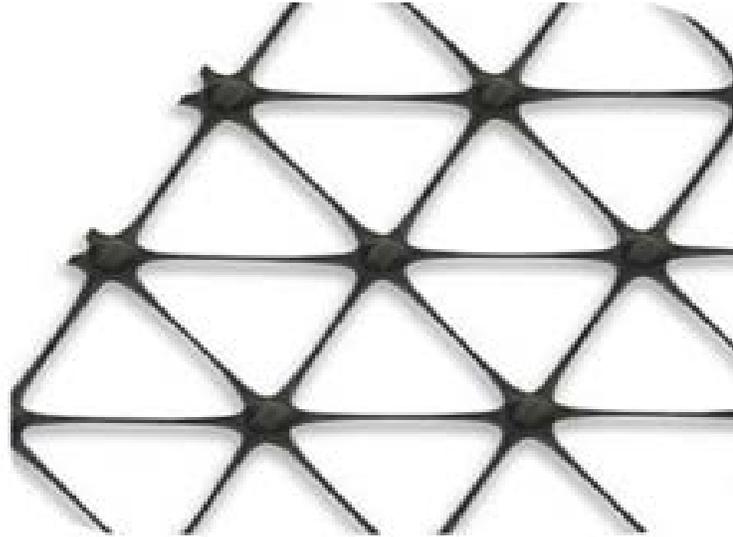


**Fuente:** (Blanco, 2017)

### **2.8.2.3. Geomallas multiaxiales**

Son geomallas rígidas que presentan una resistencia a la tensión “radial”; es decir, en todas las direcciones. Este material fue desarrollado como una “evolución” de la geomalla biaxial y se optó por utilizar aberturas con forma triangular ya que es la forma geométrica más estable (Figura 2.20). Además, presenta un alto desempeño debido a características únicas que serán presentadas más adelante. (Orrego C., 2014)

**Figura 2.20** Geomalla multiaxial



**Fuente:** (Tensar I. , 2017)

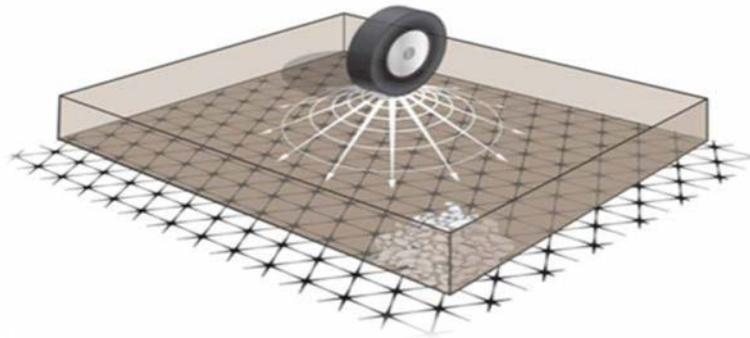
**Figura 2.21** Diferencias entre geomallas multiaxiales y biaxiales



**Fuente:** (Tensar I. , 2017)

Esta mejora en la configuración del material permite que las cargas sean distribuidas radialmente hacia las capas de suelo subyacentes. Sabiendo que las cargas de tráfico a las que estará sometido al pavimento serán transmitidas en todas las direcciones (360 grados), esta característica diferencia a las geomallas multiaxiales de todas las demás existentes en la actualidad. (Tensar, 2013)

**Figura 2.22** Esquema de esfuerzos lograda con la geomalla multiaxial



**Fuente:** (Tensar, 2013)

### **2.9. Funciones de las geomallas en recapeo asfáltico**

Denominamos función de una geomalla al papel específico que realiza en una estructura del pavimento. Es una tarea o capacidad específica que se espera que el producto realice durante la totalidad del proyecto o durante la instalación.

Una geomalla puede desempeñar más de una función al mismo tiempo para una aplicación dada. Típicamente, se determina que una función es más importante y se considera la función primordial de la geomalla, con cualquier otra función concurrente considerada como secundaria.

El identificar la función que va a desempeñar la geomalla es uno de los pasos iniciales en un proceso de diseño con geomalla. Las funciones de la geomalla guían al ingeniero a la elección apropiada del material, según las propiedades y métodos de ensayo del material. Diferentes autores e investigadores han desarrollado clasificaciones para las funciones de las geomallas, que varían en número desde cuatro hasta varias decenas.

Para el recapado asfáltico podemos decir que la función que cumple la geomalla dentro del nuevo paquete estructural, es la separación absorción de tensiones e impide el paso del agua.

### **2.9.1. Absorción de tensiones**

La geomalla extendida entre la superficie deteriorada existente y la nueva capa de rodadura, protege de las tensiones al corte de las fisuras que no se reflejan en la nueva capa de la superficie. Como las tensiones son absorbidas por la geomalla saturada de bitumen, la aparición de reflexión de grietas, se reduce considerablemente.

### **2.9.2. Impide el paso del agua**

La geomalla cuando está saturada de bitumen, forma una membrana impermeable que evita la penetración del agua de superficie a las capas soporte.

Consecuentemente se evitan el debilitamiento de las capas soporte, así como la pérdida de capacidad portante y roderas.

## **2.10. ¿Por qué se fisuran las carreteras?**

Todos los pavimentos sean flexibles, rígidos y/o semirrígidos, sean adecuadamente dimensionados o no, sufren un proceso de degradación. El inicio de este proceso se manifiesta generalmente con el fisuramiento y como consecuencia la disminución de su vida útil.

Entre los orígenes del fisuramiento se señalan:

- Fatiga de materiales por esfuerzos dinámicos
- Retracción
- Pérdida de capacidad soporte de las capas inferiores

Este fisuramiento ocasiona:

- El infiltramiento de aguas entre las capas estructurales y la sub- rasante, alterando las condiciones de estabilidad, capacidad soporte, etc.
- Concentraciones de tensiones en la sub-rasante
- Aumento de tensiones y deformaciones del pavimento
- Degradación de la capa de rodadura.

Todo este proceso, que, se ha descrito conlleva al fisuramiento y la degradación de los pavimentos, lo que determina a su vez la necesidad de su rehabilitación siendo considerado el recapado asfáltico uno de los métodos más atractivos, limitado

anteriormente por el temor de la reflexión de grietas, gracias a la geomalla en estudio evitamos esto, a su vez disminuimos la altura de recapado siendo un proyecto más factible. La fisuración no es en sí un problema para el usuario, éste no nota que una carretera está fisurada hasta que su estado supone un deterioro tal de la superficie que la circulación por la misma se hace incomoda.

Sin embargo, para el técnico responsable de la carretera supone, desde su comienzo, una amenaza para el futuro del firme que no puede despreciar.

- Primero porque es una puerta abierta para que el agua, gran enemigo de las carreteras, penetre hasta las capas inferiores afectando a la capacidad portante del firme y afectando a su futuro.
- Segundo porque permite la intrusión de elementos duros e incompresibles, cuando está abierto por las deformaciones térmicas, que hacen que, al cerrarse la fisura por una bajada de las temperaturas, se produzcan tensiones entre los bordes de la fisura y los materiales incompresibles que llegan a romper dichos bordes.
- Tercero porque se crea una discontinuidad en el pavimento que empeora la distribución de tensiones en la zona. Es sobradamente conocido el hecho de que una carga en el borde de una losa produce solicitaciones mayores que una carga en el interior. Por ello la aparición de una fisura supone que existe un borde más en la losa y que las tensiones debidas al tráfico se multiplican en la zona.

Pero lo más importante de una fisura es que refleja una “enfermedad” del firme. Esta enfermedad debe diagnosticarse y corregirse, mediante la actuación adecuada, de forma que no ponga en peligro la vida de la carretera.

### **2.11. Descripción y evaluación de fallas en pavimentos rígidos**

La Administradora Boliviana de Carreteras ha desarrollado el “Manual de Inventario Físico y de Condición de la Red Vial Fundamental” dentro del proyecto de “Actualización del Inventario Vial y Diseño de un Sistema de Administración de Mantenimiento Vial para Bolivia” ejecutado por el Consorcio The LousBerger Group – Ing. Tosticarelli y Asociados Consultora en la gestión 2010.

Todos los pavimentos sufren un proceso de degradación, entonces tenemos que hacer una clasificación para poder distinguirlos, por lo tanto, vamos a clasificarlos como indicamos a continuación. (Manual de diseño de conservación vial, 2011 ABC)

## 2.12. Fallas en pavimentos rígidos

### 2.12.1. Daño en sello de juntas

#### a) Descripción física y mecanismo de falla

La deficiencia en el material de sello es cualquier condición que permita la acumulación de materiales incompresibles en las juntas (piedras, arenas, etc.), permitiendo la infiltración de agua (Figura 2.23) y además evitando así que las losas se expandan dando lugar a fallas por levantamiento, agrietamiento y descascaramiento de la superficie del pavimento. Se considera como deterioro del sello los siguientes defectos: endurecimiento, despegado de una o ambas paredes, fluencia fuera de la caja, carencia total, incrustación de materias ajenas y crecimiento de vegetación.

**Figura 2.23** Deficiencias en el material de sello



**Fuente:** Elaboración propia

Las principales fallas relacionadas con los productos de sello son:

- Agrietamiento del material de sello.
- Dimensiones incorrectas del ancho de la junta.
- Utilización de materiales de sellado inadecuados o defectuosos
- Relleno de juntas en exceso.
- Exudación del producto de sellado por altas temperaturas y expulsión al paso de vehículos.

## b) Evaluación y cuantificación de la falla

**Tabla 2.2** Nivel de severidad y cuantificación de falla por deficiencias

Evaluación		Descripción
Severidad	Baja	Longitud con deficiencias de sellado < 5% de la Longitud de la junta.
	Media	5% longitud con deficiencias de sellado 25% de la Longitud de la junta.
	Alta	Nivel de severidad para falla por extrusión del material de relleno de las juntas; longitud con deficiencias de Sellado > 25% de la longitud de la junta.

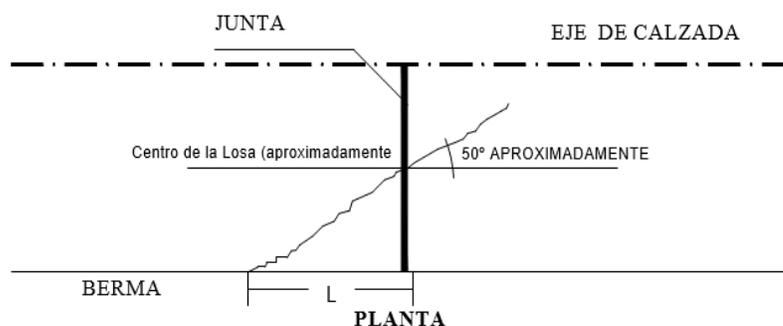
**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

### 2.12.2. Fisura de esquina/ diagonal

#### a) Descripción física y mecanismo de falla

Grieta que origina un trozo de losa de forma triangular, al interceptar las juntas transversal y longitudinal y que forma un ángulo de aproximadamente 50 grados con la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo varía entre 300 mm y la mitad del ancho de la losa. Figura 2.24 Medidas mayores a 1.3 m desde la esquina de la losa son consideradas fisuras diagonales

**Figura 2.24** Fisuras diagonales



**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

**Figura 2.25** Agrietamiento de esquina



**Fuente:** Elaboración propia

Son ocasionados por una combinación de cargas de tráfico repetitiva en condiciones húmedas, levantamiento debido al gradiente térmico. Aquellas fisuras bastante finas que son de pocos centímetros de longitud que no se extienden por completo en la losa, se consideran como fisuras de retracción, las causas posibles del fisuramiento diagonal/esquina son:

- Repetición de cargas en combinación con falta de soporte y esfuerzos de pandeo generalmente ocasionan grietas diagonales.
- Falta de apoyo de la capa subyacente producida generalmente por fenómenos de bombeo de finos.
- Pérdida de transferencia de cargas entre losas, por mal funcionamiento de la junta producido por curvatura de pasadores.
- Formación de ángulos agudos en las esquinas.

## b) Evaluación y cuantificación de la falla

**Tabla 2.3** Nivel de severidad y cuantificación de falla por agrietamiento

Evaluación		Descripción
Severidad	(1) Bajo	Grietas delgadas del grosor de un cabello, longitud con saltaduras < 10% de su longitud; escalonamiento imperceptible y el trozo de la esquina está completo.
	(2) Mediano	Las Grietas presentan un ancho limitado con astillamiento definido; saltaduras de severidad baja en más del 10% de la longitud o la saltadura de la grieta o junta < 15 mm y el trozo de la esquina está completo.
	(3) Alto	Saltaduras de severidad media o alta en más del 10% de longitud o la saltadura de la grieta o junta es 15 mm o el trozo de la esquina está quebrado en dos o más pedazos.
Cuantificación	(1) Bajo	El agrietamiento se presenta en una o dos juntas aisladas.
	(2) Mediano	El agrietamiento aparece intermitentemente.
	(3) Alto	El agrietamiento se presenta a intervalos de 15m.

**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

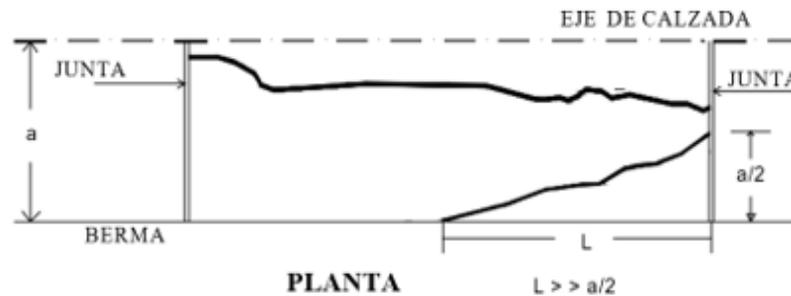
### 2.12.3. Fisuras longitudinales

#### a) Descripción física y mecanismo de falla

Las grietas longitudinales son roturas en dirección del tráfico vehicular paralelas al eje de la calzada, o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce a una distancia (L) mucho mayor que la mitad del ancho de la losa ( $a/2$ ). Cuando la rotura de la estructura a consecuencia de la sobrecarga o fatiga se produce en el centro de la losa principalmente se debe a la contracción por efecto de sobrecalentamiento. Sin embargo, debe considerarse las condiciones existentes en la sub-

rasante, sub-base, tipo de hormigón empleado, agregados y condiciones ambientales de la zona.

**Figura 2.26** Fisuras longitudinales



**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

**Figura 2.27** Agrietamiento longitudinal



**Fuente:** Elaboración propia

Son generalmente causadas por una combinación de cargas de tráfico repetitivas, pandeo o levantamiento por la gradiente térmica y cargas repetitivas en condiciones húmedas. Las causas posibles de las grietas longitudinales son:

- Asentamiento de la base y/o la sub-rasante.
- Carencia de junta longitudinal.
- Mal posicionamiento de las barras de traspaso de cargas.
- Demora en el aserrado de juntas e insuficiente profundidad en juntas.

- Asentamiento de la cimentación o sobre rellenos junto a muros.

**b) Evaluación y cuantificación de la falla**

**Tabla 2.4** Nivel de severidad y cuantificación de falla por agrietamiento longitudinal

Evaluación		Descripción
Severidad	(1) Baja	Grietas delgadas con ancho < 3 mm, sin saltaduras y escalonamiento imperceptible
	(2) Media	Grietas con un ancho moderado (3 ancho grieta 10 mm ó con saltadura de ancho < 50 mm ó escalonamiento < 15 mm.) y limitadamente astilladas.
	(3) Alta	Grietas que dividen a la losa en dos partes, son anchas (ancho 10 mm ó saltaduras de ancho 50 mm ó escalonamiento 15 mm. promedio superior)
Cuantificación	(1) Baja	La longitud total de grietas es menor de 45 m en una sección de 30m.
	(2) Media	La longitud total agrietada esta entre 45 y 60 m en una sección de 30 m.
	(3) Alta	La longitud total agrietada es mayor de 60 m en una sección de 30 m.

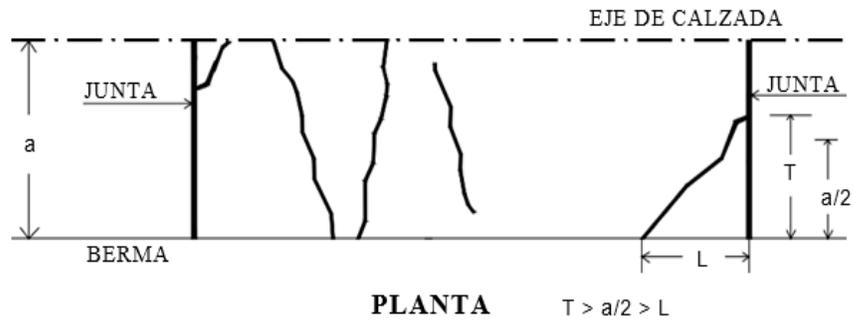
**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

**2.12.4. Fisuras transversales**

**a) Descripción física y mecanismo de falla**

El agrietamiento transversal es perpendicular a la línea central del pavimento, divide la losa en dos partes, generalmente ocasionada por una combinación repetida de cargas de tráfico, levantamiento debido al gradiente térmico y cargas repetitivas en condiciones húmedas. Las grietas bastante finas de pocos centímetros de longitud que no se extienden por completo en la losa, se consideran como grietas de retracción.

**Figura 2.28** Fisuras transversales



**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

**Figura 2.29** Agrietamiento transversal



**Fuente:** Elaboración propia

Las causas posibles son:

- Longitud excesiva de losa, cuando la grieta se localiza en su tercio central.
- Demora en el proceso de sellado de la junta transversal.
- Colocación defectuosa de pasadores que impide el libre movimiento de losas.
- Falta de apoyo ocasionado por asentamientos de las capas inferiores, o formación de vacíos situados debajo de las losas por fenómenos de erosión.
- Espesor insuficiente de las losas de hormigón para soportar las solicitaciones.
- Asentamiento de la cimentación y cimentación no nivelada.
- Retracción térmica que origina alabeos.

## b) Evaluación y cuantificación de la falla

**Tabla 2.5** Nivel de severidad y cuantificación de falla por agrietamiento transversal

Evaluación		Descripción
Severidad	(1) Baja	Grietas delgadas de ancho < 3 mm, sin saltaduras y escalonamiento imperceptible
	(2) Media	Grietas con un ancho entre 3 ancho grieta 6 mm ó con saltaduras de ancho < 50 mm ó escalonamiento < 6 mm, con astillamiento limitado.
	(3) Alta	Grietas muy astilladas con ancho 6 mm ó saltadura de ancho 50 mm ó escalonamiento 6 mm, dividiendo la losa en dos.
Cuantificación	(1) Baja	longitud total de grietas menor de 22.5 m en sección de 30 m.
	(2) Media	Longitud total agrietada entre 22.5 y 37.5 m en sección de 30 m.
	(3) Alta	longitud total agrietada mayor a 37.5 m en sección de 30 m.

**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

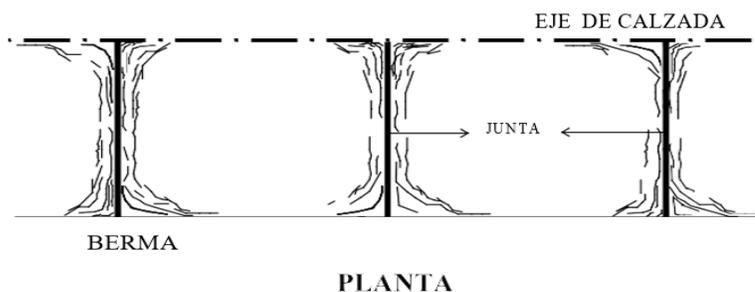
### 2.12.5. Fisura de durabilidad “D”

#### a) Descripción física y mecanismo de falla

También denominadas grietas en un cuarto de luna generalmente aparecen como un patrón de grietas en la superficie del pavimento que se generan paralelamente y próximas a juntas o grietas longitudinales, transversales y diagonales; se inician en las esquinas de las losas. Son causadas por la expansión de los agregados grandes debido al proceso de congelamiento y descongelamiento, el cual, con el tiempo, fractura gradualmente el concreto. Usualmente, este daño aparece como un patrón de grietas paralelas y cercanas a una junta o a una grieta lineal.

Dado que el concreto se satura cerca de las juntas y las grietas, es común encontrar un depósito de color oscuro en las inmediaciones de las grietas “D”. Este tipo de daño puede llevar a la destrucción eventual de la totalidad de la losa.

**Figura 2.30** Grietas por durabilidad



**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

**Tabla 2.6** Nivel de severidad y cuantificación de falla por agrietamiento por durabilidad

Evaluación		Descripción
Severidad	(1) Baja	Piezas definidas por medio de grietas del grosor de un cabello y no pueden ser removidas, grietas muy compactas, sin trozos sueltos o faltantes.
	(2) Media	Grietas bien definidas con algunos trozos pequeños sueltos o desplazados.
	(3) Alta	Las piezas están bien definidas con una cantidad significativa de trozos sueltos o faltantes. Las áreas dejadas por los trozos desplazados, de hasta 0,1 m <sup>2</sup> , pueden haber sido bacheadas.
Cuantificación	(1) Baja	El área agrietada cubre menos de 9 m <sup>2</sup> del área de la losa.
	(2) Media	El área agrietamiento cubre más de 9 m <sup>2</sup> del área de la losa.
	(3) Alta	El agrietamiento cubre más de 22.5 m <sup>2</sup> del área de la losa y también aparece en la mayor parte de las losas.

**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

La presencia de grietas por durabilidad en “D” disminuye la resistencia del hormigón en juntas y grietas; induciendo el astillamiento en juntas longitudinales y transversales.

## b) Evaluación y cuantificación de la falla

**Tabla 2.7** Nivel de severidad y cuantificación de falla por levantamiento

Evaluación		Descripción
Severidad	Alta	La severidad debe ser función del efecto de esta falla en el nivel de serviciabilidad y muy especialmente, en el riesgo que puede significar para los usuarios.  Fácilmente reconocible.

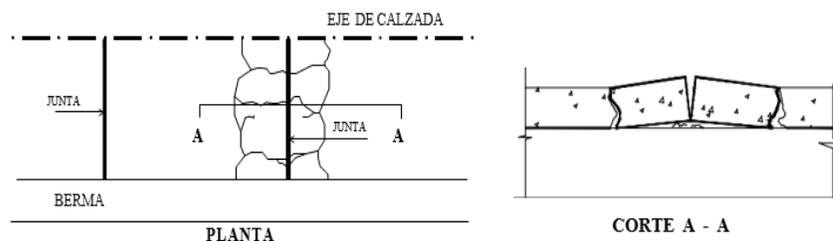
**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

### 2.12.6. Desprendimiento en junta

#### a) Descripción física y mecanismo de falla

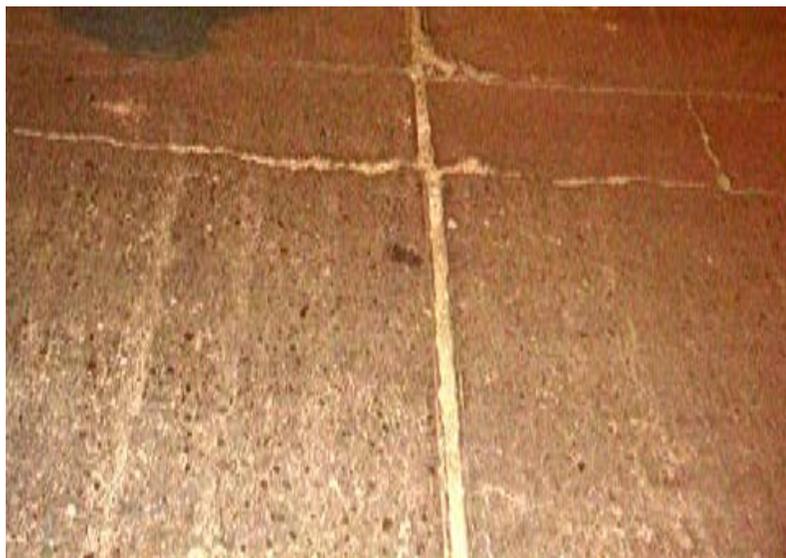
Las fallas por levantamiento son desniveles producidos por esfuerzos longitudinales de compresión que se producen en las losas, tienen su mayor incidencia a nivel de las juntas en épocas húmedas y calurosas, Figura 2.31 Levantamiento de parte de la losa, localizado a ambos lados de una junta transversal o grieta. El desarrollo de grandes presiones en el hormigón puede atribuirse a la presencia de áridos reactivos, producen la expansión en el hormigón, originando el pandeo o levantamiento en especial cuando el hormigón está sometido a elevadas temperaturas; habitualmente el hormigón afectado se quiebra en varios trozos.

**Figura 2.31** Levantamiento en junta



**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

**Figura 2.32** Levantamiento del pavimento



**Fuente:** Elaboración propia

Las fallas por levantamiento se presentan generalmente:

- Pavimentos constituidos en dos capas que presentan espesores variables y uniones insuficientes. En pavimentos con barras de traspaso de cargas, falta de verticalidad de juntas transversales, presencia de pasadores corridos, mal colocados o mal alineados
- Grietas transversales o juntas que no son lo suficientemente anchas para permitir la expansión de la losa.

**b) Evaluación y cuantificación de la falla**

**Tabla 2.8** Nivel de severidad y cuantificación de falla por levantamiento

Evaluación		Descripción
Severidad	Alta	La severidad debe ser función del efecto de esta falla en el nivel de serviciabilidad y muy especialmente, en el riesgo que puede significar para los usuarios.  Fácilmente reconocible.

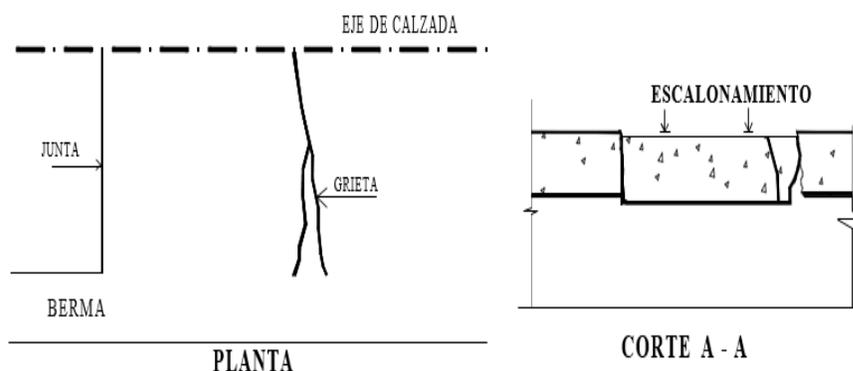
**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

### 2.12.7. Escalonamiento de juntas y grietas

#### a) Descripción física y mecanismo de falla

La falla por escalonamiento es el desnivel entre dos superficies del pavimento separadas por una junta transversal o grieta que presentan dos losas contiguas, producto de las cargas del tráfico a su paso por una junta carente de adecuada transferencia de cargas, ni buen soporte de la capa subyacente, figura 2.33.

**Figura 2.33** Escalonamiento de losas



**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

La medición del escalonamiento entre juntas y/o grietas, se puede llevar a cabo de la siguiente forma:

- Si la losa a medir está más alta que la de referencia o contigua, registrar como escalonamiento negativo (-); en el caso contrario indique escalonamiento positivo (+).
- Definir si el desnivel se presenta en el largo o ancho de la losa y determinar su magnitud en metros, se debe tener en cuenta si el desnivel está asociado con desportillamientos o con alguna grieta definida claramente en otro tipo de daño.

Las principales causas del escalonamiento entre losas, son:

- Deficiencia en el traspaso de cargas entre las losas o trozos de losas.
- Erosión de la base en las inmediaciones de la junta o grieta.
- Asentamiento diferencial de la sub-base o sub-rasante.
- Falta de capacidad de soporte de la sub-rasante.

El escalonamiento de las juntas puede ocasionar fractura de la losa, si éste se combina con bombeo que implica pérdida del material de base

**Figura 2.34** Escalonamiento de juntas y grietas



**Fuente:** Elaboración propia

Algunas de las causas comunes para este tipo de fallas son:

- Asentamiento a consecuencia de fundación blanda.
- Bombeo o erosión de material debajo de la losa.
- Pandeo en bordes de losas debido a cambios de temperatura y humedad.

## b) Evaluación y cuantificación de la falla

**Tabla 2.9** Nivel de severidad y cuantificación de falla por escalonamiento

Evaluación		Descripción
Severidad		Se pueden establecer niveles de severidad en función de la altura del desnivel, pero lo mejor es establecerlo en función del aumento de las irregularidades (IRI, Índice de Rugosidad Internacional) que este deterioro origina.
	(1) Baja	La diferencia en elevación es menor de 5 mm y afecta la transitabilidad.
	(2) Media	La diferencia en elevación es de 5 mm < desnivel 10 mm y afecta limitadamente la transitabilidad.
	(3) Alta	La diferencia en elevación es desnivel >10 mm y afecta considerablemente la transitabilidad.
Cuantificación	(1) Baja	Uno o dos escalonamientos en un área aislada
	(2) Media	Dos o cuatro escalonamientos continuos.
	(3) Alta	Más de cuatro escalonamientos continuos.

**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

### 2.12.8. Bombeo

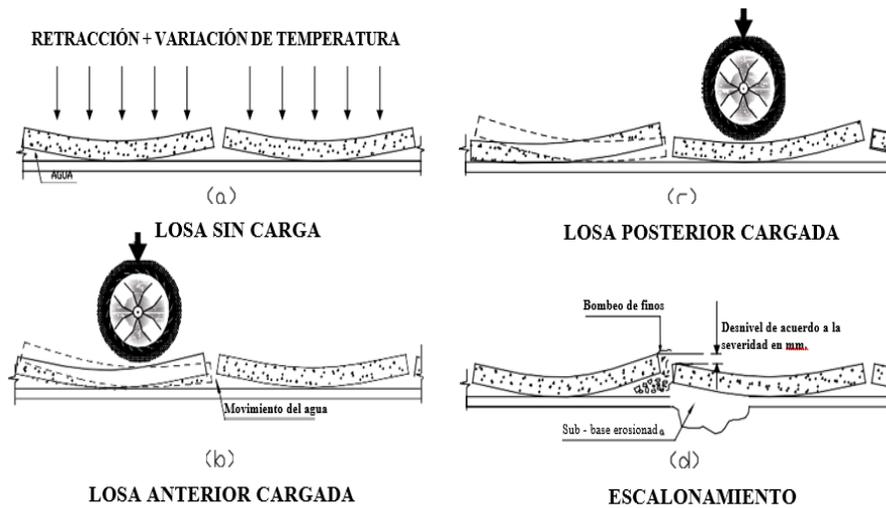
#### a) Descripción física y mecanismo de falla

La falla por bombeo o surgencia de finos es la expulsión de agua mezclada con suelos finos provenientes de la sub-base o capa de apoyo, es expulsado a través de las juntas o grietas y borde externo del pavimento, al pasar un vehículo. Este fenómeno es causado por la deflexión que experimentan las losas debido a la dilatación por efecto del gradiente térmico, complementado con el peso de las cargas vehiculares; originando de esta forma la disminución de la capacidad portante de la subrasante y el firme en conjunto.

Inicialmente el desarrollo del bombeo principia con la formación de vacíos debajo de la losa por la aplicación de cargas originando deformaciones plásticas en las capas de apoyo y posterior recuperación elástica de la losa, también tiene incidencia en la formación de vacíos los efectos térmicos que experimenta la losa de hormigón y por último sigue el

ingreso del agua por la junta hacia la interfase losa y sub-base; llenando los vacíos que dejan las losas al curvarse por efecto de la gradiente de temperatura que se forma en las mismas.

**Figura 2.35** Desarrollo del bombeo



**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

Las causas que originan la falla por bombeo son:

- Sub-rasante compuesta por material arcilloso.
- Sobrecargas vehiculares repetidas de tráfico.
- Presencia de agua en la interfase losa- superficie de apoyo.
- Infiltración de agua por grietas y juntas carentes de material de sello.
- Falta de confinamiento lateral o bermas pavimentadas.
- Falta transferencia de cargas en las juntas; el fenómeno es especialmente activo cuando la transmisión de las cargas entre losas es inadecuada.

## b) Evaluación y cuantificación de la falla

**Tabla 2.10** Nivel de severidad y cuantificación de falla por bombeo

Evaluación		Descripción
Severidad		Cuando el fenómeno se manifiesta sin dejar un pozo o bache no pueden aplicarse niveles de severidad.
	Alta:	La expulsión de agua es evidente en juntas o grietas al paso de cargas pesadas
Cuantificación		Ninguna

**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

### 2.12.9. Escamado

#### a) Descripción física y mecanismo de falla

La falla por descascaramiento de la superficie del pavimento se traduce en la rotura de la superficie de la losa hasta alcanzar profundidades comprendidas entre 6 a 13 mm además de la desintegración progresiva en trozos de hormigón y pérdida de la superficie del hormigón.

**Figura 2.36** Falla por descascaramiento



**Fuente:** Elaboración propia

## b) Evaluación y cuantificación de la falla

**Tabla 2.11** Nivel de severidad y cuantificación de falla por descascaramiento

Evaluación		Descripción
Severidad	(3) Alta	El descascaramiento es relativamente profundo y fácilmente apreciable.
	(1) Baja	Se extiende sobre menos de un cuarto de la superficie de la losa.
Cuantificación	(2) Media	Se extiende sobre más de un cuarto de la superficie de la losa.
	(3) Alta	Se extiende hacia la losa siguiente.

**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

### 2.12.10. Astillado

#### a) Descripción física y mecanismo de falla

Es el fragmentado de los bordes de la losa, grietas y directamente sobre el acero de refuerzo, por lo general el astillamiento en la junta no se extiende verticalmente dentro de la losa, intersecta la junta en un ángulo. El astillado en esquina difiere de una grieta de esquina principalmente por el motivo de que se extiende dentro la losa en ángulo para intersectar la junta, mientras que la grieta se extiende en todo el espesor de la losa.

**Figura 2.37** Falla por astillado



**Fuente:** Elaboración propia

Este tipo de falla se produce a consecuencia de:

- Falta de compactación.
- Mal alineamiento de pasadores.
- Retraso en el corte de la junta.
- Obstrucción de la junta producida por entrada de elementos sólidos.
- Desperfectos producidos en el proceso de desencofrado.
- Esfuerzos excesivos en la junta debido a cargas de tráfico.
- Acumulación de agua en la junta.

**b) Procedimientos de medición y cuantificación de la falla**

**Tabla 2.12** Nivel de severidad y cuantificación de falla por astillado

Evaluación		Descripción
Severidad	(1) Baja	El filo de la losa está ligeramente roto y no es necesaria reparación.
	(2) Media	El filo de la losa esta moderadamente roto si es conveniente reparar.
	(3) Alta	El filo de la losa está severamente roto es necesario reparación.
Cuantificación	(1) Baja	Se presenta en uno o dos filos de la losa.
	(2) Media	Se presenta en forma intermitente.
	(3) Alta	Se presenta regularmente en los filos de las losas.

**Fuente:** (Administradora Boliviana de carreteras ABC, 2011)

**2.13. Reflexión de grietas**

Las mezclas asfálticas que se utilizan para los pavimentos están constituidas por gravas, parcialmente trituradas, arena, y asfalto como ligante. Los asfaltos pueden ser cementos asfálticos, emulsiones o asfaltos cortados. El mantenimiento tiene por objetivo conservar el pavimento en una condición similar a la que tuvo originalmente cuando se construyó. En consideración a que la mayor capacidad de soporte de estos pavimentos deriva de la fortaleza de la sub-rasante, es extremadamente importante mantener la condición impermeabilizante de las capas asfálticas.

Los pavimentos flexibles o rígidos presentan una serie de fallas cuya prevención y/o corrección es abordada por operaciones de mantenimiento, las que suelen agruparse en tres categorías.

- Operaciones rutinarias
- Operaciones periódicas
- Operaciones de restauración

Este fenómeno que se presenta por el efecto de solicitaciones de temperatura, variaciones hidráulicas del suelo, etc. Y que ocasionan movimiento en los bordes de las fisuras existentes, transfiriendo estos movimientos o creando concentración de tensiones a la capa superior, produce fatiga y dan inicio a la fisura que crece rápidamente hacia la superficie. Se conoce distintas alternativas para reducir el problema de fisuramiento:

- Mayores espesores de refuerzo
- Capas intermedias de mezclas bituminosas
- Cementos asfálticos más blandos
- Lechadas asfálticas
- Espesores delgados de mezclas finas
- Uso de geomallas

#### **2.14. Selección de geomallas**

La correcta selección de una geomalla no debe basarse, solamente en sus características (físicas gramaje, color, espesor, etc.), sino también en sus propiedades mecánicas e hidráulicas. Cumpliendo, de esta manera sus características de “camada” de discontinuidad visco-elástica con reacciones rígidas para tensiones rápidas y dúctiles para tensiones lentas.

Asimismo, su total impregnación con asfalto asegura impermeabilización para infiltraciones de agua.

Las geomallas están clasificadas según: la forma de distribución de sus filamentos, el largo de sus filamentos, el modo de unión de los filamentos y por el polímero con el que están constituidos.

Para el caso de repavimentaciones asfálticas, se debe también considerar:

- a) Que el polímero que constituye los filamentos, debe tener puntos de ablandamiento superiores al de las mezclas caliente (140° - 160°).

- b) Resistencia a la tracción – alargamiento – fatiga – punzonamiento – rasgado, etc.
- c) Flexibilidad
- d) Capacidad de absorción y retención del asfalto

Se utilizarán geomallas elaboradas a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos con un porcentaje mínimo de 95% en peso de poliolefinas o poliéster; del tipo no tejido, punzonado por agujas. Las que deberán tener la capacidad de absorber la suficiente cantidad de ligante asfáltico y presentar los siguientes requerimientos de propiedades mecánicas. (Caballero T., 2006)

#### **2.14.1. Aptitud de las geomallas a emplear**

El empleo de una geomalla embebido en asfalto es una solución de dos componentes, geomalla y asfalto, por lo que el éxito de su aplicación depende directamente de la aptitud de ambos materiales por separado y de la interacción que se logra entre ellos.

Respecto a las condiciones que deben cumplir las geomallas para esta aplicación, estimamos conveniente realizar las siguientes reflexiones. (Caballero T., 2006)

##### **2.14.1.1. Requerimientos funcionales**

El uso de geomallas de elevadas resistencias mecánicas y capacidad de absorción de asfalto optimiza los resultados de su empleo en una interface destinada a retardar el reflejo de fisuras.

Dada la importancia de la tasa de asfaltado en el éxito de solución, dentro del rango de geomallas habitualmente empleadas en repavimentación (de 130 a 220 g/ m<sup>2</sup>), deben evitarse aquellas de baja absorción de asfalto, entendiendo como límite inferior pero no como capacidad optima de retención al fijado en normativas. Por ello no son recomendables las tejidas agujadas de filamentos continuos frente a las termoligadas o a las agujadas de fibra corta. (Caballero T., 2006)

##### **2.14.1.2. Requerimientos de instalación**

A fin de asegurar que la geomalla mantenga su integridad y las propiedades que determinaron su elección durante el proceso de su instalación en obra deben evaluarse:

- Propiedades mecánicas: En especial su resistencia la tracción, al punzonado y al desgarre
- Flexibilidad: Para lograr una correcta instalación en tramos curvos y sobre superficies fresadas, evitando zonas de concentración de tensiones.

- Tolerancia térmica: Para resistir sin deterioros la temperatura de colocación de la mezcla asfáltica, en especial cuando se emplean asfaltos modificados.

#### **2.14.1.3. Requerimiento de supervivencia**

Debido a que las cargas a las que está sometida la geomalla durante su vida útil serán esencialmente repetitivas en el tiempo, no es recomendable la utilización de productos de elevado módulo de rigidez, debido a su fragilidad y dificultad para adaptarse a deformaciones repetitivas. Asimismo, deberá añadirse la capacidad de la geomalla para mantener su interacción con el asfalto que lo satura, de modo que no se modifiquen sus características reológicas a lo largo del tiempo.

#### **2.14.1.4. Adecuada instalación en obra**

En las obras locales no siempre se han respetado las recomendaciones de instalación, de allí que puede afirmarse que en aquellos casos puntuales donde han aparecido inconvenientes, se ha debido en su mayoría a prácticas erróneas durante el proceso de colocación de la geomalla.

#### **2.14.1.5. Restos de agua solvente sobre el pavimento**

La subsistencia de solvente o agua remanente entre la geomalla y el pavimento existente, ya sea por condiciones ajenas al proceso de instalación (lluvia, temperaturas bajas, humedad ascendente, etc.), o por residuos del riego de liga, provoca al aplicarse el asfalto caliente de la nueva carpeta una interfase gaseosa que disminuye ostensiblemente e incluso elimina, la adherencia entre el nuevo y el viejo pavimento.

En caso de emplearse una emulsión, deberá asegurarse su “rotura” total y la eliminación de la totalidad del agua por evaporación antes de proceder al tendido de la geomalla.

#### **2.14.1.6. Tasa de asfalto residual**

La tasa de asfalto residual para el caso de emulsiones o total para el caso de emplearse cemento asfáltico, es una cantidad de bitumen a agregar a la geomalla a fin de asegurar su liga y saturación.

Las funciones que deben llegar a satisfacer dicha tasa son las siguientes:

- Total, adherencia de la geomalla con el pavimento antiguo y nuevo.
- El comportamiento visco elástico de la interfase
- Saturación total de la geomalla (para que constituya una membrana impermeable)

**CAPÍTULO III**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS**  
**MATERIALES Y PLAN**  
**ESTRATÉGICO DE TRABAJO**  
**METODOLÓGICO**

## **CAPÍTULO III**

### **CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y PLAN ESTRATEGICO DEL TRABAJO**

#### **3.1. Características de los materiales**

##### **3.1.1. Geomalla**

Para este proyecto en particular se escogió utilizar geomalla ALVAGRID FV G la misma que es de origen español, recomendado por varios autores por los buenos resultados obtenidos en varias partes del mundo gracias a sus características físicas y mecánicas.

ALVAGRID FV G geocompuesto de refuerzo formado por una geomalla de fibra de vidrio con una capa de recubrimiento bituminoso. La malla de este geocompuesto es de elevada resistencia a la tracción idónea para refuerzo de capas de asfalto. Incluye un geotextil ultraligero de polipropileno para mejorar su adherencia, el geotextil incorporado es de bajo gramaje no tejido para facilitar el proceso de instalación. Consiste en una geomalla de poliéster de alta calidad y un geotextil muy ligero, cuyo peso es inferior a 30 g/m<sup>2</sup>. Ambos componentes presentan un recubrimiento bituminoso. Las funciones del geotextil no tejido son favorecer la instalación y posibilitar que la adherencia de la geomalla a la capa de asfalto existente sea óptima, permitiéndonos trabajar con mezclas asfálticas en caliente o frías. (Alvarez C. & Bermudez M., 2020)

La geomalla ALVAGRID FV G refuerza las capas de asfalto y evita deformaciones. El uso de la ALVAGRID FV G aumenta la capacidad de cargas dinámicas mediante la distribución de las tensiones. La menor fisuración obtenida con la utilización de este tipo de geomalla confiere una vida más larga a las capas de asfalto de las carreteras.

ALVAGRID FV G es una geomalla que cumple las funciones de protección de carreteras, autopistas, pistas de aeropuertos y caminos de accesos y refuerzo en asfalto en zonas de tráfico pesado.

El objetivo principal de esta geomalla es la distribución de esfuerzos originados en las grietas existentes en los pavimentos antiguos y la posibilidad de retardar la aparición de las mismas en los nuevos, gracias a las propiedades físicas y mecánicas atribuidas a este material. (Alvarez C. & Bermudez M., 2020).

ALVAGRID FV G en este caso es utilizado con una mezcla asfáltica en caliente denominada MC-250. El mismo que es de curado medio con una cantidad mínima de

solvente para poder trabajar el material evitando que el ligante asfáltico se seque antes de poder colocar la geomalla.

**Tabla 3.1** Datos técnicos de la geomalla ALVAGRID FV G

Datos técnicos		
Materia prima malla de fibra de vidrio + geotextil de polipropileno		
Recubrimiento		Bituminoso
PESO	gr / m <sup>3</sup>	150
ESPESOR Medido a 2 Kpa	mm	1
Resistencia a la tracción	KN/m	110/110
Alargamiento a Rotura	%	3/3
Punto reblandecimiento	° C	165
Retención de Asfalto	l / m <sup>2</sup>	0,9
Dimensiones Anchura	m	Bajo pedido
Longitud del rollo	m	100
Diámetro del rollo	m	35
Apertura de malla	mm	40 x 40 (± 0.5)

**Fuente:** (Tex Delta, S.L.)

### 3.1.2. Ligante asfáltico

El ligante asfáltico se utilizará para saturar la geomalla y desarrollar la mencionada membrana vico-elasto-plástica además de garantizar una adecuada adhesión de esta membrana a la superficie del pavimento agrietado y a la capa superior (capa de refuerzo, o de mantenimiento).

Este asfalto se designa con la letra MC (médium curing) seguidas con el número correspondiente a la viscosidad cinemática que tienen. En nuestro caso utilizamos una MC-250 el mismo que tiene un residuo asfáltico en volumen del 67 %.

Se tiene que hacer un análisis de evaporación de los disolventes que contiene, éste se inicia inmediatamente cuando el asfalto líquido se expone a los agentes atmosféricos y se da por terminado cuando se ha evaporado el máximo disolvente; ya que una pequeña proporción de éste queda incorporado en el asfalto permanentemente. A este proceso se debe que el producto final de un asfalto líquido es un cemento asfáltico, de mayor penetración.

En el proceso de volatilización de los solventes intervienen varios factores y éstos inciden de manera diferente en la velocidad y tiempo de curado, según las características del proyecto. Las variables directas son:

- Temperatura ambiente
- Velocidad del viento
- Superficie del ligante expuesta
- Esfuerzos mecánicos
- Características mineralógicas del agregado pétreo
- Sistema utilizado en la elaboración de la mezcla asfáltica

**Tabla 3.2** Especificaciones de asfaltos diluidos - curado medio MC-250

<b>Propiedad</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
Viscosidad cinemática a 60 °C, centistokes	250	500
Saybold – furol, s	125	250
Temperatura de ensayo	60	Idem
Punto de inflamación, Vaso abierto, °C	66	--
Agua, %	--	0,2
<b>Destilación, % en volumen total</b>		
Destilado a 360 °C	0	10
A 260 °C	15	55
A 315 °C	60	87
Residuo por destilación a 360 °C	67	--
<b>Ensayos en el residuo</b>		
Viscosidad absoluta a 60 °C, poises	300	1200
Penetración, a 25 °C, 100 gr.	80	120
Ductibilidad, a 25 °C, 5 cm/mm.	100	--
Solubilidad en tricloroetileno %	99	--
Temperatura de empleo: mezclado con agregado.	52	93
Rociado, °C	60	107
De carga °C		118

**Fuente:** (Especificación técnica de la alcaldía municipal de Tarija)

**Datos de la mezcla asfáltica:**

**Tabla 3.3** Características de calidad de los pétreos para bases asfálticas

Características de calidad de los pétreos para bases asfálticas		
Parámetros de calidad		NCMT-4-02-03/16
		$\Sigma L > 10^6$
Características de las Gravas		
Desgaste de Los Ángeles	%, Máximo	30
Partículas Alargadas y Lajeadas	%, Máximo	40
Características de las arenas		
Límite Líquido	%, Máximo	25
Índice plástico	%, Máximo	6
Equivalente de Arena	%, Máximo	50

**Fuente:** (Especificación técnica de la alcaldía municipal de Tarija)

**Tabla 3.4** Designación B-25

Designación	B-25
TMN	1"
Espesor Mín-Máx (mm)	50 -100
TAMIZ	Límites Granulométricos
1 1/2"	100 - 100
1"	90 - 100
3/4"	76 - 100
3/8"	42 - 100
No.4	24 - 70
No.10	10 - 27
No.20	5 - 14
No.40	4 - 10
No.60	2 - 8
No.100	1 - 7
No.200	0 - 6

**Fuente:** (Especificación técnica de la alcaldía municipal de Tarija)

**Tabla 3.5** Características de calidad de base asfáltica

Características de calidad de base asfáltica		
Parámetros		STT 2016 $\Sigma L > 106$
Estabilidad	Kg Mínimo	699
Flujo	mm	2 a 4
Vacíos	%	3 a 8
VAM	%	12

**Fuente:** (Especificación técnica de la alcaldía municipal de Tarija)

### **Composición de la mezcla asfáltica**

La mezcla asfáltica está compuesta por agregados pétreos y asfalto; por tanto, el comportamiento de la mezcla asfáltica se ve afectado tanto por las propiedades individuales del agregado mineral y del asfalto, como por la interrelación de ambos componentes dentro del sistema. En los siguientes párrafos se explica brevemente el comportamiento de cada uno de los componentes de la mezcla, así como su comportamiento en conjunto

### **Contenido de asfalto**

El contenido de asfalto es el parámetro que más influye en el comportamiento de las mezclas asfálticas. Para un tipo de mezcla asfáltica determinado, se tiene que: o Para valores de porcentajes de asfalto por debajo del óptimo, la resistencia mecánica y la resistencia a la fatiga aumentan con el incremento del contenido de asfalto o Para valores de porcentajes de asfalto por encima del óptimo, se presenta una disminución de las características mecánicas de la mezcla, incluso con aumento del riesgo a sufrir deformación permanente

### **Granulometría**

Aunque la influencia del tamaño máximo del agregado no sea tan notable como el contenido de asfalto, la curva granulométrica puede influir a través de dos factores: el tamaño máximo del agregado y el tipo de curva, que puede ser continua o discontinua. Estos dos factores tienen influencia en el porcentaje de vacíos y, por ende, sobre la resistencia a la fatiga y la deformación permanente. El porcentaje de vacíos del agregado

mineral varía en función de la curva granulométrica. Para una curva más cercana a la línea de potencia 0,45 (curva de máxima densidad, llamada de Fuller), el porcentaje de vacíos es más bajo y la compactación más fuerte.

**Tabla 3.6** Propiedades de cemento asfáltico

<b>Prueba</b>	<b>Temperatura de prueba</b>	<b>Resultado de prueba</b>	<b>Especificación</b>
Viscosidad (ASTM D 4402)	135°C	0,52	Máx 3 Pa.s
Corte dinámico, $G^*/\sin \alpha$ (kPa)	64°C	1,39	Min. 1 kPa
Gravedad específica (ASTM D70)		1,03	-
Rango de temperatura de mezclado (°C)		153-158	-
Rango de temperatura de compactación (°C)		144-148	-

**Fuente:** (Especificación técnica de la alcaldía municipal de Tarija)

### **Requisitos del cemento asfáltico**

La metodología SUPERPAVE establece una nueva especificación para los ligantes asfálticos con un nuevo conjunto de ensayos. Estas nuevas especificaciones se basan en el desempeño del pavimento. El cemento asfáltico se especifica conforme a las temperaturas máxima y mínima que se esperan en el lugar de su aplicación. Las propiedades físicas exigidas se mantienen sin cambios; sin embargo, varía la temperatura para la cual el cemento asfáltico debe cumplir esas propiedades. El cemento asfáltico se clasifica en grados de desempeño (PG), y temperaturas de servicio. El grado PG permite elegir el cemento asfáltico más adecuado para determinada obra, en función del clima dominante y de la magnitud del tránsito a que estará sujeta durante su vida útil.

Otro aspecto clave en el sistema SUPERPAVE es que el comportamiento viscoelástico del asfalto se considera en sus especificaciones. La especificación  $G^*/\sin \alpha$  representa una medida de la rigidez del asfalto a altas temperaturas, a la resistencia a las deformaciones permanentes; esta especificación se determina en el asfalto original; y la  $G^*\sin \alpha$  representa una medida de la resistencia al agrietamiento por fatiga; esta especificación se determina en el asfalto envejecido para simular las condiciones de envejecimiento en un pavimento en servicio.

### **3.2. Equipo**

Para la aplicación del riego del producto asfáltico y la colocación de la geomalla se requieren, básicamente, equipos para el barrido de la superficie, distribuidor del material bituminoso, equipo para la instalación de la geomalla, herramientas menores y eventualmente un compactador neumático liviano.

#### **3.2.1. Equipo de barrido**

Se deberá disponer de barredoras mecánicas de cepillo para poder realizar un trabajo más mecánico; pero también se lo puede realizar manualmente con ayuda de personal no calificado lo que abarata su costo. Para nuestro caso en particular vamos a utilizar una escoba cepillo plástico, para posteriormente proceder a un soplado del mismo para retirar todas las partículas y polvos que evitan adherencia entre la geomalla y el pavimento agrietado.

#### **3.2.2. Equipo para la aplicación del ligante bituminoso**

El carrotanque irrigador deberá cumplir exigencias mínimas que garanticen la aplicación uniforme y constante del producto asfáltico, a la temperatura apropiada, sin que lo afecten la carga, la pendiente de la vía o la dirección del vehículo. Sus dispositivos de irrigación deberán proporcionar una distribución transversal adecuada del ligante. El vehículo deberá estar provisto de un velocímetro calibrado en metros por segundo (m/s), o pies por segundo (pie/s), visible al conductor, para mantener la velocidad constante y necesaria que permita la aplicación uniforme del asfalto en sentido longitudinal.

El carrotanque deberá aplicar el producto asfáltico a presión y para ello deberá disponer de una bomba de impulsión, accionada por motor y provista de un indicador de presión. También, deberá estar provisto de un termómetro para el ligante, cuyo elemento sensible no se podrá encontrar cerca de un elemento calentador.

Para áreas inaccesibles al equipo irrigador y para retoques y aplicaciones mínimas, se usará una caldera regadora portátil, con sus elementos de irrigación a presión o una extensión del carrotanque con una boquilla de expansión que permita un riego uniforme. En nuestro caso utilizamos una caldera regadora portátil como se muestra en los anexos, la misma que fue prestada por la Alcaldía Municipal, esto fue operado por funcionarios de la institución, controlando la cantidad de ligante con ayuda de un técnico experimentado.

### **3.2.3. Equipo para la instalación de la geomalla**

El equipo mecánico o manual de instalación de la geomalla debe ser capaz de instalarlo uniformemente, cuidando de producir la mínima cantidad de arrugas.

Debido a que la superficie de recapeo es pequeña, se procedió con una instalación manual evitando arrugas, dobleces, y otros que puedan afectar el trabajo de la geomalla.

Con ayuda de 4 personas se procedió con el colocado de la geomalla el mismo que tuvo un área aproximada de 8,64 m<sup>2</sup>, lo que facilitó su colocado ya que se pudo controlar a simple vista las arrugas y defectos que tenía la geomalla.

### **3.2.4. Herramientas menores**

Se deberán suministrar escobas de cerda rígida o rodillos para uniformizar la superficie de la geomalla, tijeras o cuchillas para cortarlo y cepillos para aplicar el ligante asfáltico a los traslajos de la geomalla.

Puede requerirse, para ciertos trabajos, un compactador neumático liviano para uniformizar y reforzar la adherencia de la geomalla con el riego de ligante asfáltico.

Ya que el área de trabajo es de 8,64 m<sup>2</sup> sería ilógico trabajar con un compactador neumático, así que para simular el trabajo del mismo utilizamos una carretilla cargada con piedras para que haya la saturación completa de la geomalla con el ligante asfáltico.

## **3.3. Condiciones para la recepción de los trabajos**

### **3.3.1. Controles**

Durante la ejecución de los trabajos, se tendrán que realizar los siguientes controles:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado para la realización de este trabajo, no olvidando que con un buen material y una correcta aplicación de la geomalla podemos llegar a mejores resultados.
- Verificar la limpieza de la superficie de la capa asfáltica antigua y la correcta reparación de las grietas existentes, de acuerdo a lo definido en la ejecución de los trabajos anteriormente.
- Vigilar la correcta dosificación de la cantidad de ligante asfáltico según lo establecido por el técnico encargado, el ligante asfáltico es MC-250.
- Verificar la viscosidad del ligante en el momento de colocación de la geomalla, ya que tiene que tener una temperatura a la cual se pueda trabajar, tiene que haber suficiente tiempo para el colocado de la geomalla antes de que el ligante seque.

- Verificar la correcta colocación de la geomalla, los tratamientos de las arrugas y los traslajos entre los rollos de geomalla, importante este punto ya que por diferentes motivos la geomalla puede presentar arrugas las mismas que serían perjudiciales.
- Verificar la calidad de la nueva capa asfáltica y sus cotas y dimensiones, en nuestro caso la altura de la capa asfáltica es de 5 cm.
- Comprobar que los materiales a utilizar cumplan con los requisitos de calidad exigidos mínimamente especificados anteriormente.
- Vigilar las condiciones climáticas durante los procesos de aplicación del ligante asfáltico, la instalación de la geomalla y la colocación de la capa asfáltica nueva.
- Verificar que cada rollo de geomalla tenga en forma clara la información del fabricante, el número del lote de fábrica y la referencia del producto, así como la composición química del mismo.
- Comprobar que, durante el transporte y el almacenamiento, las geomallas tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.

### **3.3.2. Condiciones específicas para la recepción y tolerancias**

#### **3.3.2.1. Calidad del material bituminoso**

Se tiene que hacer un control riguroso al carrotanque que es encargado del traslado desde la planta de tratamiento hasta el lugar de la obra; deberá observarse características como temperatura, color y homogeneidad entre otros, importante para que obtengamos una mejor adherencia entre la geomalla y el pavimento agrietado.

#### **3.3.2.2. Calidad de la geomalla**

Por cada lote de rollos que llegue a la obra, se tiene que hacer un control riguroso para ver las características de camada, deberá existir una certificación expedida por el fabricante de la geomalla, donde se establezca el nombre del producto, la composición química relevante de los filamentos o cintas y toda la información que describa a la geomalla, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deberán satisfacer todas las condiciones establecidas.

No se aceptará el empleo de suministros de geomalla que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Dicha constancia no evitará, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación; ni implica necesariamente la aceptación de la entrega.

Se recomienda escoger al azar un número de rollos equivalente a la raíz cúbica del número total de rollos que conformen el lote. Se evaluarán rollos estándar con un área entre cuatrocientos y seiscientos metros cuadrados (400 y 600 m<sup>2</sup>) cada uno. En el caso de rollos con áreas diferentes, el total de metros cuadrados se deberá convertir a unidades de rollos equivalentes de quinientos metros cuadrados (500 m<sup>2</sup>).

De cada rollo se deberán descartar las dos primeras vueltas de geomalla para el muestreo. Posteriormente, se deberá tomar una muestra, como mínimo de un metro lineal por el ancho correspondiente al rollo, verificando que esté totalmente seca y limpia. Por ningún motivo se aceptará geomallas rasgadas o rotas, las cuales serán descartadas de inmediato.

#### **3.4. Plan estratégico de trabajo**

Por las características particulares de este proyecto en particular donde trabajamos sobre propiedad de la Alcaldía Municipal de la ciudad de Tarija, es que se tiene que tener una autorización especial para desarrollar el mismo, del Oficial Mayor Técnico de dicha entidad pública.

La autorización contempla; el picado de la loza, alterar el tránsito vehicular normal y otros factores que involucran el préstamo de material de señalización, ligante asfáltico, pavimento asfáltico entre otros. Al ser un estudio sobre una calle que tiene tantos problemas sobre el pavimento rígido debido a varios factores se facilita obtener la autorización respectiva, ya que podría ser una solución alternativa en gran escala para realizar este trabajo sobre toda la calle, mejorando las condiciones de tránsito y alargar su vida útil.

Una vez obtenido el permiso se procederá con la señalización respectiva, teniendo en cuenta que es una calle con alto tráfico lo que dificulta el cerrado de una vía, haciéndolo peligroso para el personal de trabajo; entonces la señalización se la tiene que realizar 100 metros antes donde se emplazará el proyecto para evitar cualquier inconveniente, protegiendo a los trabajadores con ropa de trabajo reflectivo; posteriormente se realiza el picado de la loza, asemejando un fresado que generalmente se lo hace con maquinaria

pesada. Esto consta de un vehículo con cuchillas bajo sus llantas, el mismo que a medida que avanza corta el pavimento reduciendo la altura deseada.

En nuestro caso se realizará este fresado con ayuda de tres personas las mismas que con solo punta y combo procederán con el picado de la losa, la altura de picado será de 5 centímetros, este picado se lo tiene que realizar con mucho cuidado ya que la losa no tiene que ser sometida a fuertes golpes para no alterar su condición original.

Una vez picada la losa, el material que se tiene que tener en campo es el siguiente: Geomalla, ligante asfáltico, pavimento asfáltico, un rodillo neumático, un rodillo compactador, aire comprimido y herramientas menores para cualquier eventualidad.

Todo este material como se mencionó anteriormente tiene que ser controlado por una persona que conoce sobre el tema, para nuestro caso fue mi persona la encargada.

Con todo este material en campo, procedemos con el soplado del área de trabajo para limpiar cualquier polvo o basura que puede interferir con el correcto ligado; una vez realizado esto podremos observar de mejor manera las fisuras que se pueden ver a simple vista para posteriormente colocar el ligante asfáltico. Cuando las fisuras superan los 3 mm se tiene que realizar un sellado de fisuras, aunque este no es nuestro caso, ya que, si bien tenemos fisuras considerables longitudinales y transversales, no superan 1 mm.

El colocado del ligante se recomienda entre 120° C y 180° C, pero también está en función a la temperatura ambiente, la cantidad de geomalla está condicionada por el área de trabajo, nosotros presentamos un área de trabajo bastante irregular por lo que debemos colocar entre 1,4 y 1,7 g/m<sup>2</sup>. Colocado el ligante se procede a poner la geomalla, la misma que está ubicada dentro del nuevo paquete estructural más propiamente dicho sobre el pavimento rígido y bajo el pavimento asfáltico, esta malla actúa como una capa retardadora de fisuras la misma que prolonga considerablemente la vida útil de la nueva capa de rodadura, como hemos descrito anteriormente, el buen funcionamiento de la geomalla no solo está basado en sus características físicas y mecánicas, sino que actúa en conjunto con todo el paquete estructural del pavimento rígido, como ser la altura de recapeo que no tiene que ser menor a 3 cm, la grietas mayores a 3 mm tienen que ser selladas, los defectos estructurales tienen que ser corregidos, el ligante asfáltico tiene que ser colocado según especificaciones. Si cumplimos todo esto vamos a garantizar la vida

útil del recapeo asfáltico obteniendo de esta manera una buena solución con lo que se podrá demostrar la factibilidad de este nuevo método.

Una vez que se ha realizado todo el trabajo, el colocado tanto de ligante asfáltico, la geomalla como el asfalto, se tiene que hacer un estudio teórico de cómo se va comportando día a día la nueva carpeta asfáltica, con este estudio vamos a ver cómo realmente incide la geomalla en recapeos asfálticos, observaremos si evidentemente evita la reflexión de grietas, impide el paso de agua, aumenta la capacidad portante de la estructura y otras características atribuidas a este material.

Se eligió esta metodología de trabajo debido a que es la más aplicable en varias partes del mundo donde se realizan los recapeos asfálticos con todo tipo de geosintéticos, obteniendo así buenos resultados.

#### **3.4.1. Procedimiento de instalación de la geomalla ALVAGRID FV G**

Una vez que la superficie del pavimento rígido agrietado ha sido limpiada de polvo, aceites aguas u otros residuos se procede al desenrollado de la geomalla inmediatamente después del riego. El desenrollado de la geomalla puede ser manual o mecánico, aunque se recomienda la instalación mecánica por la rapidez de ejecución y la eliminación de arrugas durante la colocación.

**Figura 3.1** Desenrollado manual de la geomalla



**Fuente:** (Alvarado S. , 2012)

Desenrollado de la geomalla mediante un utillaje especial facilita el mantenimiento de una dirección constante y evita formación de arrugas.

**Figura 3.2** Desenrollado mecánico de la geomalla



**Fuente:** (Alvarado S. , 2012)

El desenrollado de la geomalla con equipos mecánicos es rápido y está libre de arrugas incluso de las curvas suaves.

Los solapes longitudinales deben ser de 10 cm y los transversales de 20 cm, los solapes transversales deben hacerse en la dirección de pavimentación para evitar que se levanten al pasar la extendedora.

Para una saturación del solape deberá realizarse un riego adicional entre las dos capas de geomalla de forma manual.

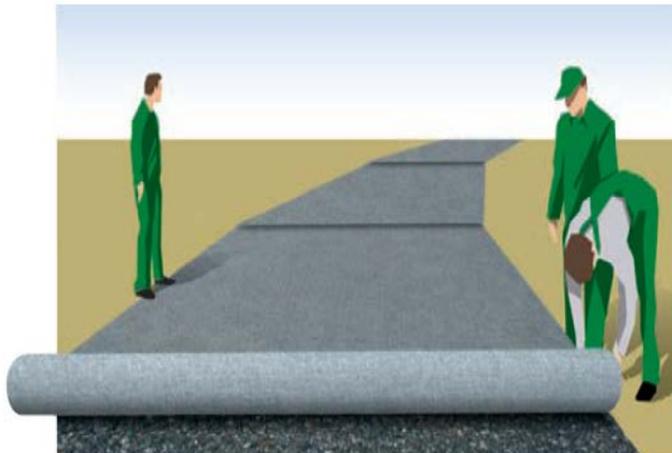
**Figura 3.3** Traslapes longitudinales y transversales



**Fuente:** (Alvarado S. , 2012)

El desenrollado de la geomalla sólo puede hacerse con anchuras no mayores de 3 m. se requiere un solape adicional en las curvas.

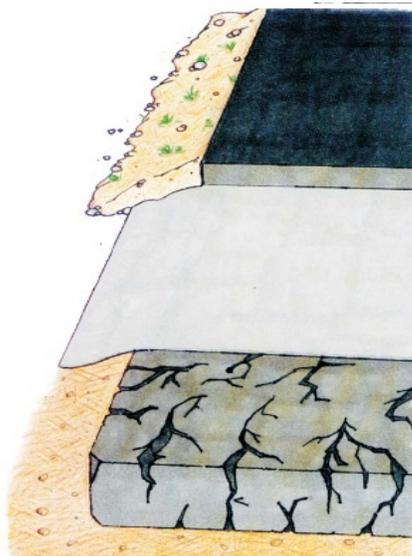
**Figura 3.4** Desenrollado de la geomalla



**Fuente:** (Alvarado S. , 2012)

La geomalla va colocada sobre el pavimento rígido fisurado y bajo el pavimento asfáltico utilizado.

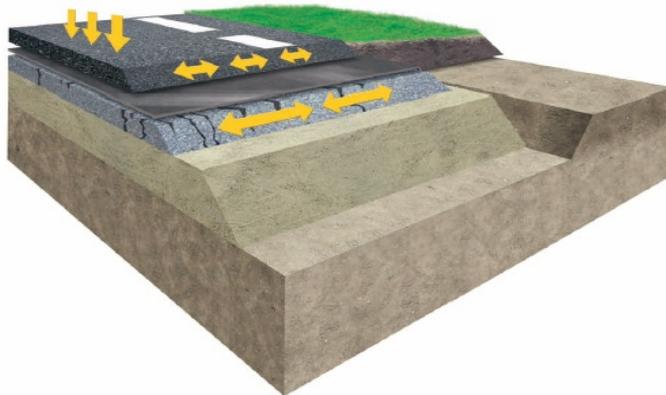
**Figura 3.5** Geomalla colocada



**Fuente:** (Alvarado S. , 2012)

La geomalla absorbe las tensiones producidas por los bordes de las fisuras del pavimento rígido, distribuyendo las cargas y evitando el paso hacia el pavimento asfáltico.

**Figura 3.6** Ilustración de grietas en el pavimento



**Fuente:** (Alvarado S. , 2012)

Absorber los movimientos diferenciales entre capas asfálticas para evitar la formación de grietas por reflexión. Además, forma una capa intermedia impermeable que evita que el agua superficial penetre en la capa.

**Figura 3.7** Reflexión de grietas



**Fuente:** (Alvarado S. , 2012)

Sin la geomalla de pavimentación se producirá una rápida reflexión de las grietas desde la antigua a la nueva capa asfáltica y además el agua superficial penetrará sobre la capa antigua de asfalto. Esta situación acelerará el deterioro en la construcción de la carretera.

**Figura 3.8** Deterioro sin la geomalla de pavimentación



**Fuente:** (Alvarado S. , 2012)

### **3.5. Estudio con membrana incorporada**

Una vez que hemos realizado el colocado de la geomalla, especificado en subtítulos anteriores, debemos hacer un análisis teórico en cómo incide la geomalla en el recapeo asfáltico, en nuestro caso, sobre una losa sobre la calle Junín.

Esta losa estará sometida a esfuerzo de carga, condiciones ambientales, calor, frío, agua, con lo que podremos determinar si la geomalla incide en recapeos asfálticos evitando la infiltración de agua y la reflexión de grietas. La losa en estudio presentaba fisuras transversales y fisuras longitudinales, las mismas que no deberían presentarse en la nueva capa de rodadura, pero este análisis lo tenemos que hacer con el transcurso del tiempo.

Se realiza una evaluación superficial de la nueva capa de rodadura, el tiempo de evaluación para nuestro caso no supera los 4 meses. La evaluación se lo realiza visitando el área de trabajo, 3 veces a la semana observando el comportamiento de la nueva capa de rodadura.

**CAPÍTULO IV**  
**APLICACIÓN PRÁCTICA Y**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## CAPÍTULO IV

### APLICACIÓN PRÁCTICA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Características generales de la zona del proyecto

Para la aplicación del estudio, se seleccionó una losa que se encuentra ubicada sobre la calle Junín, el área de la losa es de 8,64 m<sup>2</sup> un largo de 3,76 metros y un ancho de 2,30 metros, esta losa presenta fisuras longitudinales y transversales como se muestra en la figura.

Se seleccionó esta losa debido a que era una de las losas que presentaba más fisuras, ya que era uno de los puntos más importantes para realizar el análisis correspondiente una vez realizado el recapeo asfáltico, ya que existía mayor posibilidad de que exista la reflexión de fisuras en la nueva capa de rodadura.

#### 4.2. Geometría

La medición de la geometría de la losa fue realizada con un flexómetro, registrando el largo ancho y espesor en la sección de análisis, las medidas obtenidas y observaciones son las siguientes:

**Tabla 4.1** Geometría de la losa

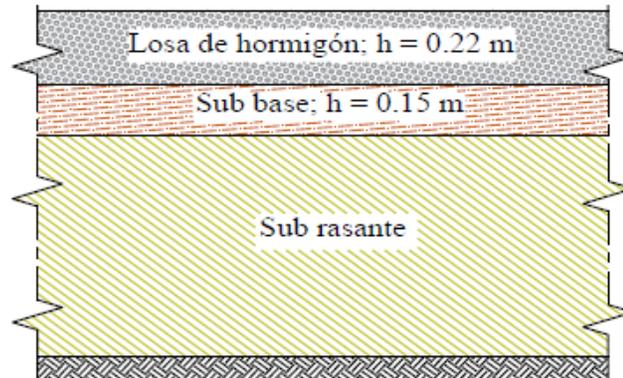
Geometría de la losa			Carril analizado	Observaciones
Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)		
3.76	2.30	0.22	Izquierdo	Tramo recto

**Fuente:** Elaboración propia

#### **Espesores de capas que conforman la estructura del pavimento**

La estructura del pavimento está compuesta por tres capas; la capa de rodadura con un espesor de 22 cm, la segunda capa es la sub base con espesor de 15 cm, y por último la sub rasante que se considera infinita.

**Figura 4.1** Estructura de pavimento tramo calle Junín– Tarija



**Fuente:** Elaboración propia

### **Propiedades de los materiales**

Las propiedades de los materiales que conforman la estructura del pavimento rígido en estudio correspondiente al tramo de la calle Junín – Tarija, fueron obtenidas directamente del pavimento existente en el caso de las losas de concreto.

### **Losa de concreto**

El principal elemento del pavimento rígido es el hormigón, cuyos componentes: agregados, cemento y agua, que han de emplearse en su confección, deben ser de excelente calidad. Como medida de calidad y durabilidad del hormigón, se emplea la resistencia a compresión simple tomada a los 28 días; sin embargo, en el diseño de pavimentos, el parámetro de resistencia que interesa es el módulo de rotura o resistencia a tracción del hormigón por flexión, para el análisis correspondiente se utilizó el módulo de rotura de 4.3 (N/mm<sup>2</sup>), valor establecido por las especificaciones técnicas del diseño, estos **datos** fueron **obtenidos por la alcaldía municipal de Tarija.**

Módulo de elasticidad  $E_c = 21379,31$  (N/mm<sup>2</sup>)

La resistencia a tracción del hormigón 43.8478 Kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a la flexión Hormigón: 37 Kg/cm<sup>2</sup>

Altura del pavimento = 0.22 m

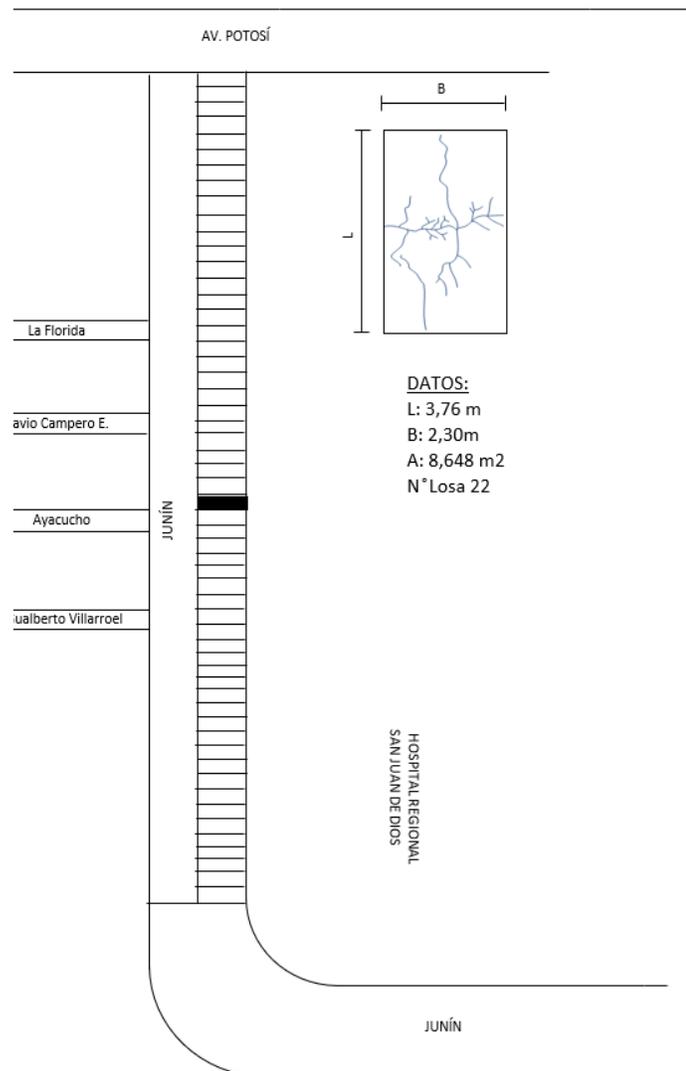
Juntas Transversales: Barras lisas de diámetro de 3/4" lisas, largo de 460 mm ubicadas cada 300 mm.

Espesor de junta 5mm

Juntas Longitudinales: Barras corrugadas de largo de 750 mm. y de diámetro 12 mm.

Espesor de junta 5mm

**Figura 4.2** Croquis del área de trabajo



**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.3. Aspectos climáticos**

Las acciones de rehabilitación deben ser ejecutadas bajo los conocimientos de los aspectos climáticos que se tiene en la zona del proyecto, al trabajar con geomallas tenemos que tener en cuenta la temperatura de trabajo ya que no puede existir ninguna amenaza de lluvia o temperaturas bajas que puedan alterar al ligante asfáltico. Es recomendable que la temperatura mínima prevista para el día de trabajo sea mayor a 10 °C.

En nuestro caso vamos a realizar nuestro trabajo el día miércoles 23 de noviembre donde se tiene previsto tener una temperatura máxima de 32° C y una temperatura mínima de 14 ° C. Esta temperatura es apta para poder manejar el ligante asfáltico ya que con temperaturas mínimas corremos el riesgo de una posible lluvia o que el ligante asfáltico seque demasiado rápido.

#### **4.4. Descripción fotográfica de fallas**

Mediante las fotografías que se presenta en la figura 4.3 podemos observar la losa en estudio, observando fallas longitudinales y transversales.

**Figura 4.3** Losa en estudio



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.4** Fallas longitudinales y transversales



**Fuente:** Elaboración propia

Haciendo una evaluación superficial de la calle Junín la misma que cuenta con una longitud total de 1,128 metros desde la avenida Potosí hasta la calle Santa Cruz. En esta distancia podemos encontrar 280 losas de las cuales 66 losas se encuentran fisuradas con distintos grados de severidad entre altos y bajos. Esto representa un 23,5 % de losas fisuradas, caso preocupante ya que es una puerta abierta a la filtración de agua gran enemiga de las carreteras ya que disminuye considerablemente su vida útil.

Las losas fisuradas representan un 23,5 % donde no estamos tomando en cuenta fallas como deficiencias de material de sello, bombeo, levantamiento, entre otros.

#### **4.5. Determinación de parámetros de diseño con malla incorporada**

La rehabilitación de pavimentos con geomalla si bien es utilizada en varias partes del mundo no tiene un mecanismo de diseño, por lo que trabajamos sobre una estructura ya establecida por lo tanto tenemos que basarnos en la situación actual del pavimento, tipo de carretera como también en aspectos sociales y económicos, no recomendado realizar recapeos con altura menores a 3 cm.

#### **4.6. Altura de repavimentación**

En el dimensionamiento de capas de rodadura de concreto asfáltico reforzado con geomallas para caminos principales con alto tráfico, se recomienda que el espesor mínimo de la capa de rodadura sea por lo menos de 3 cm. La efectividad del complejo mecanismo de refuerzo asfáltico, respecto a la fatiga por flexión y la formación de grietas, no puede

garantizarse para capas con espesores menores. La efectividad de la impermeabilización no se ve afectada.

Al hacer una evaluación superficial podemos encontrar que a lo largo de la calle Junín existen 280 losas de las cuales 66 se encuentran fisuradas (ANEXO 2) por lo tanto al ver que el 23,5 % se encuentran fisuradas con distintos niveles de severidad, es que se adopta una altura de recapeo de 5 cm.

#### **4.7. Selección de la geomalla**

La correcta selección de la geomalla no debe basarse solamente en sus características físicas como gramaje, color, espesor, entre otros sino también en sus propiedades mecánicas e hidráulicas, las cuales son bastante importantes ya que al actuar como capa intermitente y evitar el paso del agua, tiene que cumplir condiciones mínimas para su uso especificadas en el capítulo dos. Además, tiene que cumplir con las condiciones de camada, discontinuidad, visco-elástica con reacciones rígidas para tensiones rápidas y dúctiles para tensiones lentas.

Ahora, en este proyecto se seleccionó ALVAGRID FV G que es una geomalla flexible que incorpora un geotextil no tejido precomprimido y flexible, fabricado a partir de fibras de polipropileno punzonadas que después de este proceso se constituye en una geomalla de pavimentación con una cara de acabado térmico para facilitar el tráfico de camiones y entendedoras sin adherencia.

Esta selección se la realiza primero en función a sus características físicas y mecánicas, por el precio, y por los buenos resultados que se han observado en carreteras rehabilitadas con esta geomalla.

**Tabla 4.2** Datos técnicos

Datos técnicos		
Materia prima malla de fibra de vidrio + geotextil de polipropileno		
Recubrimiento		Bituminoso
Peso	gr / m <sup>3</sup>	150
Espesor medido a 2 Kpa	mm	1
Resistencia a la tracción	KN/m	110/110
Alargamiento a Rotura	%	3/3
Punto reblandecimiento	° C	165
Retención de Asfalto	l / m <sup>2</sup>	0,9
Dimensiones Anchura	m	Bajo pedido
Longitud del rollo	m	100
Diámetro del rollo	m	35
Apertura de malla	mm	40 x 40 (± 0.5)

**Fuente:** (Tex Delta, S.L.)

#### **4.8. Aplicación practica**

La aplicación práctica se la va a realizar en una losa que se encuentra ubicada sobre la calle Junín entre la avenida Potosí y calle Santa Cruz con un largo de 3,76 m y un ancho de 2,30 m haciendo un área de 8,64 m<sup>2</sup>.

Para realizar trabajos sobre propiedad pública se tiene que tener autorización de la Alcaldía Municipal, entonces el primer paso realizado fue obtener el permiso respectivo el mismo que fue otorgado por el Oficial Mayor Técnico. Este permiso incluye préstamos de material como ser señalización, maquinaria y materiales los mismos que vamos a señalar a continuación.

##### **4.8.1. Señalización**

Uno de los primeros pasos antes de realizar dicha aplicación práctica, es hacer una señalización ya que se trabaja en un área donde existe una alta intensidad de tráfico. Esto se realiza con letreros de señalización 100 metros antes del punto de trabajo.

**Figura 4.5** Señalización



**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.8.2. Fresado de la losa**

En nuestro caso como vamos a trabajar en una losa tenemos que realizar un fresado de la misma para que con los 5 centímetros de recapeo asfáltico tengamos un mismo nivel de la superficie.

El fresado se lo realiza con ayuda de un combo y un cincel. Se lo tiene que realizar con mucho cuidado tratando de no alterar las condiciones originales de la losa con aplicación de fuertes golpes.

En la figura 4.6 podemos observar que el picado se lo realiza con un combo pequeño con un peso de 2 kg. El fresado es bastante difícil puesto que el tiempo que se tardó en picar la losa de 8 ,64 m<sup>2</sup> fue de 6 días.

**Figura 4.6** Comienzo de fresado de la losa



**Fuente:** Elaboración propia

Se tiene que hacer un control riguroso del fresado controlando de no excederse de los 5 centímetros ni tampoco tener menos. El control se lo realiza en las cuatro paredes que se forman una vez fresada la losa.

**Figura 4.7** Control de altura en la pared anterior a la losa



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.8** Control de altura en la pared posterior de la losa



**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.9 podemos observar cómo queda la superficie de trabajo una vez fresado. Cabe recalcar que se encuentran las mismas fisuras que en la capa de rodadura, estas fisuras podemos observarlas en el ANEXO III.

**Figura 4.9** Área de trabajo fresada con una profundidad de 5 centímetros



**Fuente:** Elaboración propia

### **4.8.3. Limpieza del área de trabajo**

Con el área lista para el trabajo y el material predispuesto comenzamos a limpiar el área de trabajo, esto lo podemos realizar mecánicamente o manualmente en nuestro caso lo realizamos con ayuda de una escoba de plástico y aire comprimido.

Primeramente, limpiamos con una escoba para retirar gravas y partículas pesadas que existen después del fresado.

Posteriormente realizamos el soplado con aire comprimido para eliminar toda clase de partículas y polvos que pudiesen interferir en la adherencia entre el pavimento agrietado y la geomalla.

### **4.8.4. Preparado del material y equipo de trabajo**

Una vez lista el área de trabajo, procedemos a realizar el recapeo asfáltico, pero antes tenemos que tener todo listo para no tener ningún inconveniente y evitar problemas durante el colocado del material.

#### **4.8.4.1. Control de temperatura del ligante asfáltico**

El ligante asfáltico tiene que tener una temperatura en la planta de tratamiento de 180 ° C, y una temperatura en campo de 150 ° C. Esta diferencia de temperatura se la tiene que considerar puesto que cuando se traslada el material no podremos conseguir la misma temperatura.

Se realizaron estos controles con ayuda de un termómetro tanto en la planta de tratamiento ubicada en la Posta Municipal como en campo antes de aplicar el ligante asfáltico.

**Figura 4.10** Control de temperatura del ligante asfáltico



**Fuente:** Elaboración propia

También realizamos un control de filtración del ligante asfáltico con la geomalla, como podemos observar en la figura el ligante asfáltico a una temperatura de 180 °C se infiltra y no altera al producto.

**Figura 4.11** Control de filtración del ligante asfáltico



**Fuente:** Elaboración propia

El ligante asfáltico al pasar por la geomalla actúa como un pegamento, el cual adhiere la geomalla al pavimento agrietado.

#### **4.8.5. Colocado del ligante asfáltico**

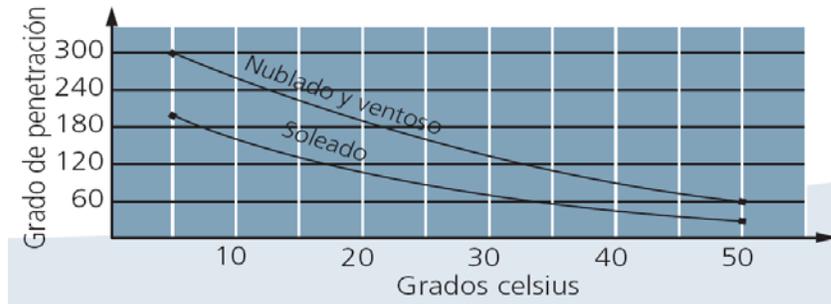
Para el colocado del ligante asfáltico tenemos que tomar en cuenta el grado de penetración y la cantidad de imprimación.

##### **4.8.5.1. Ligante asfáltico**

Cuando se calcula el grado de penetración adecuado del betún en la geomalla de pavimento deben tenerse en cuentas las condiciones meteorológicas.

Podemos observar en el siguiente cuadro cómo se comporta.

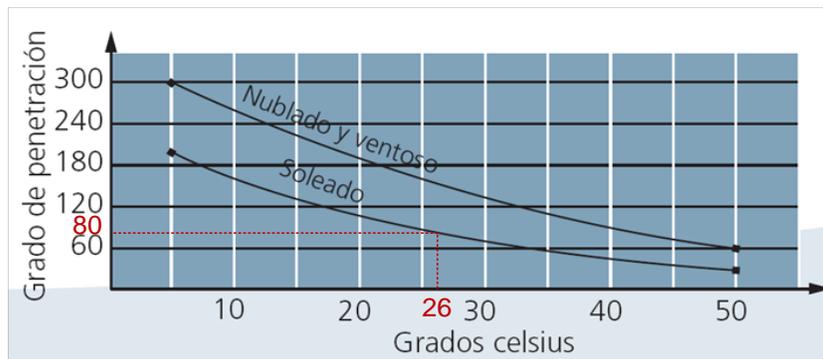
**Figura 4.12** Grado de penetración



**Fuente:** Especificación técnica del gobierno municipal de Tarija

En nuestro caso colocamos el ligante asfáltico al promediar las 10 de la mañana, donde teníamos una temperatura de 26 °C. Utilizando el cuadro 4.12 podemos encontrar el grado de penetración.

**Figura 4.13** Grado de penetración obtenido



**Fuente:** Especificación técnica del gobierno municipal de Tarija

Por lo tanto, el grado de penetración es de 80 gr/m<sup>2</sup>, al cuadro entramos con la temperatura de trabajo a una curva ya calibrada para obtener directamente el grado de penetración.

#### **4.8.5.2. Determinación de la cantidad de imprimación bituminosa**

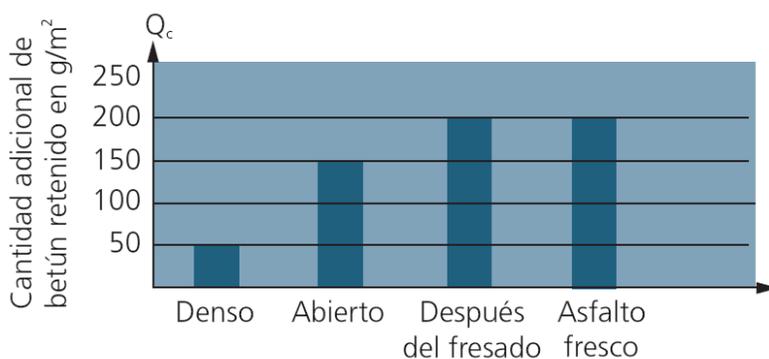
La cantidad de imprimación bituminosa debe ser suficiente para asegurar una correcta retención del betún y la adherencia de la geomalla a la capa asfáltica nueva y antigua.

La retención de betún puro de la geomalla ALVAGRID FV G,  $Q_{fabric} = 900 \text{ g / m}^2$

Para hacer frente a las diferentes irregularidades de la superficie antigua del pavimento será necesaria una aportación adicional de betún  $Q_c$ . Aunque a menudo se realiza una estimación en la propia obra. El cuadro 4.14 sirve de orientación para determinar el betún adicional necesario.

Según la superficie en la que se va a realizar este trabajo tenemos que aplicar distintas cantidades de ligante asfálticos, esto va en función al grado de porosidad.

**Figura 4.14** Cuadro para determinar la cantidad de imprimación bituminosa



**Fuente:** Especificación técnica del gobierno municipal de Tarija

Con el cuadro 4.14 podemos determinar la cantidad adicional de betún retenido en  $g/m^2$ , entramos al cuadro con la situación de nuestro trabajo, para nuestro caso es después del fresado, por lo tanto, nuestra cantidad adicional de betún retenido es de  $200 g/m^2$ .

Ahora puede calcularse la cantidad de imprimación bituminosa necesaria,  $Q$ :

Emulsiones bituminosas líquidas (contenido de betún  $E > 65\%$ )

Nuestro ligante asfáltico es un MC-250 por lo tanto necesitamos un contenido de betún de  $67\%$ .

$$Q = \frac{Q_{fabric} + Q_c}{E} \cdot 100 \quad (g / m^2)$$

$$Q = \frac{900 + 200}{67} \cdot 100$$

$$Q = 1641,79 \frac{g}{m^2}$$

Donde:

$Q$  = Cantidad total de imprimación bituminosa o emulsión requerida ( $g / m^2$ )

$Q_{\text{fabric}}$  = Cantidad de imprimación betún puro requerida para saturar la geomalla ( $g / m^2$ )

$Q_c$  = Cantidad de imprimación bituminosa o emulsión necesaria debido a las irregularidades del pavimento existente ( $g / m^2$ )

$E$  = Porcentaje de betún en la emulsión bituminosa %

Lista el área de trabajo, libre de partículas procedemos con determinar el área a ser cubierta por el ligante asfáltico.

El ligante asfáltico se lo tiene que colocar con un tanque regador portátil, este equipo es de propiedad de la Alcaldía Municipal de Tarija. La supervisión de la cantidad de ligante fue realizada por el técnico encargado de asfaltos.

**Figura 4.15** Control de temperatura del ligante asfáltico



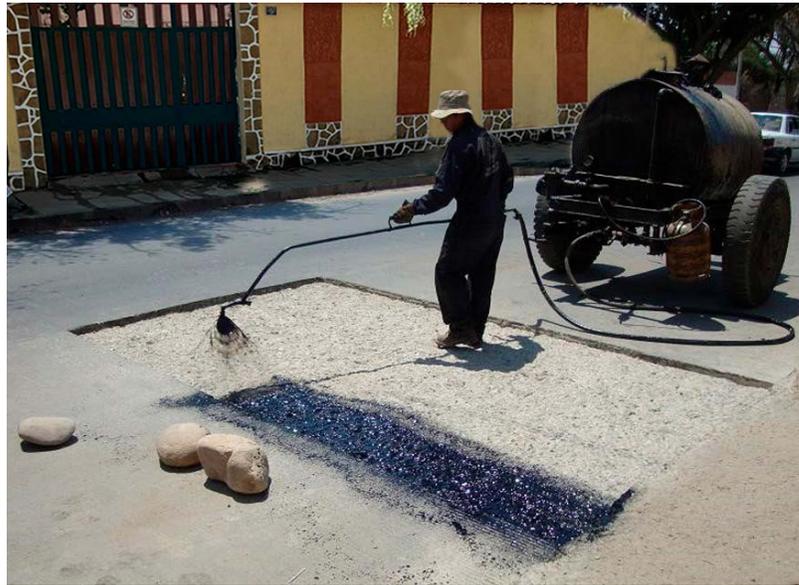
**Fuente:** Elaboración propia

Se tiene que hacer un control de la temperatura antes del regado del ligante asfáltico. Para poder mantener la temperatura de  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  tenemos que calentar la caldera con ayuda de una garrafa.

Realizado el control de temperatura procedemos con el colocado del ligante asfáltico con una manguera a presión.

La manguera a presión asegura una aplicación uniforme, de esta manera garantizamos una correcta saturación de la geomalla para que pueda formar una sola capa con el pavimento agrietado.

**Figura 4.16** Colocado del ligante asfáltico



**Fuente:** Elaboración propia

Toda la superficie a ser cubierta por la geomalla tiene que estar impregnada con ligante asfáltico para garantizar la adherencia del mismo al pavimento agrietado, de esta manera impermeabilizamos la losa evitando el paso del agua.

La garrafa ayuda con el control de la temperatura, es mucho más necesaria cuando se está trabajando en un día nublado o con bajas temperaturas, en nuestro caso el día fue muy favorable puesto que era un día bastante soleado con una temperatura ambiente de 26 ° C.

**Figura 4.17** Superficie impregnada con ligante asfáltico



**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.8.6. Colocado de la geomalla**

Colocado el ligante asfáltico se tiene que colocar la geomalla tomando en cuenta que el ligante asfáltico no se encuentre frío ya que esto evitaría la saturación de la geomalla con el ligante.

El colocado se lo realiza con mucho cuidado, previamente cortada la geomalla con la misma área a ser pavimentada se procede con el colocado como se muestra en la figura 4.18.

Se tiene que evitar la formación de arrugas, si éstas se producen, tratar de repararlas antes de que el ligante asfáltico seque, para nuestro caso la geomalla fue colocado manualmente con ayuda de personal para evitar la formación de arrugas.

Durante el colocado tenemos que observar que la geomalla no presente cortes, arrugas, dobleces u otros defectos que alteren la función de la geomalla.

Colocada la geomalla, verificar que no existan arrugas y asegurar la correcta saturación de la geomalla.

**Figura 4.18** Colocado de la geomalla



**Fuente:** Elaboración propia

La geomalla cuando es colocada manualmente tiende a formar arrugas. Entonces tenemos que tener mucho cuidado y estirar la geomalla con mucho cuidado para que no exista ninguna arruga.

Colocada la geomalla comienza a saturarse con el ligante asfáltico, pero para garantizar una mejor saturación tendría que pasarse un rodillo neumático, para nuestro caso lo vamos a realizar con ayuda de un carretilla.

**Figura 4.19** Colocado final de la geomalla



**Fuente:** Elaboración propia

Como observamos en la figura 4.19 la geomalla tiene que estar totalmente extendida sobre la superficie y completamente empapado de ligante asfáltico, cuando existe solapes se tiene que colocar una cantidad adicional donde se superponen la geomalla para que exista una adhesión completa.

Para que la geomalla se sature completamente con el ligante asfáltico aplicado al pavimento agrietado, es necesario pasar un rodillo neumático, en nuestro caso debido a que el área de superficie es pequeña hemos pasado una carreterilla que simula al rodillo neumático.

Como observamos en la figura 4.20 con ayuda de la carreterilla la geomalla forma una nueva capa con el pavimento agrietado, entonces ya es hora de aplicar la segunda capa de ligante asfáltico, esto es para que la nueva capa de rodadura se adhiera a la geomalla formando de esta forma una nueva capa de rodadura con un paquete estructural.

**Figura 4.20** Geomalla formando una nueva capa con el pavimento agrietado



**Fuente:** Elaboración propia

El ligante asfáltico se lo tiene que colocar inmediatamente colocada la geomalla para que tanto la superficie del pavimento rígido agrietado como la nueva capa de rodadura, formen una sola estructura.

El ligante asfáltico es colocado en la misma cantidad que en la superficie del pavimento rígido, entonces la cantidad aplicada sobre la geomalla es de  $1461,79 \text{ g/m}^2$ .

El ligante asfáltico tiene que ser aplicado sobre toda la geomalla asegurando una saturación completa. Como se muestra en la figura 4.21 en nuestro caso aseguramos una correcta saturación.

**Figura 4.21** Geomalla saturada



**Fuente:** Elaboración propia

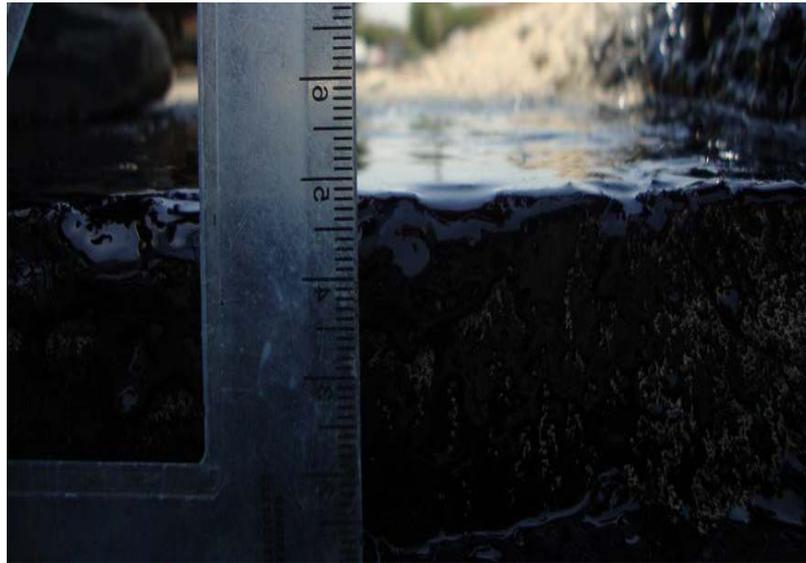
La geomalla saturada de ligante asfáltico se adhiere completamente a la capa de rodadura y forma parte del nuevo paquete estructural.

**Figura 4.22** Geomalla saturada de ligante asfáltico



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.23** Control de altura



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicado el ligante asfáltico tenemos que esperar 24 horas y verificar que todo el solvente utilizado para hacer más fácil el manejo del ligante, haya sido eliminado.

**Figura 4.24** Ligante asfáltico seco



**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.8.7. Recapeo asfáltico**

Listo el área de trabajo tenemos que tener todo el material y maquinaria en el lugar de trabajo. Como se ha esperado 24 horas tenemos que hacer una segunda limpieza si fuese necesario puesto que pueden existir basuras pequeñas. La limpieza se la puede realizar con ayuda de una escoba.

El colocado del pavimento para nuestro caso se lo realiza manualmente con la ayuda del personal de la Alcaldía Municipal de Tarija.

El pavimento utilizado es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes.

Colocado el pavimento asfáltico sobre el área de estudio, procedemos a igualarlo para poder realizar la eliminación de vacíos con ayuda de un saltarín, esto se lo tiene que realizar en dos etapas, la primera es eliminar los espacios vacíos con un saltarín como se muestra en la figura 4.25.

**Figura 4.25** Colocado del pavimento manualmente



**Fuente:** Elaboración propia

Con aproximadamente 3 cm procedemos a pasar el saltarín para eliminar espacios vacíos para posteriormente pasar el rodillo vibrador.

**Figura 4.26** Pasado del saltarín



**Fuente:** Elaboración propia

Ahora con ayuda de maquinaria pesada vamos a proceder a realizar un compactado definitivo, primero se tiene que pasar con un rodillo vibrador el mismo que ayuda a acomodar las partículas del agregado asfáltico.

**Figura 4.27** Rodillo vibrador



**Fuente:** Elaboración propia

Acomodadas las partículas del agregado del pavimento asfáltico se procede a pasar el rodillo neumático para poder eliminar todos los espacios vacíos.

Nueva capa de rodadura de pavimento asfáltico con geomalla que actúa como capa intermedia entre el pavimento rígido agrietado y pavimento asfáltico redistribuyendo los esfuerzos de corte producido en los bordes de las fisuras.

**Figura 4.28** Nueva capa de rodadura de cemento asfáltico con geomalla



**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.9. Análisis de resultados**

Después de colocada la nueva capa de rodadura, tenemos que realizar una evaluación superficial de cómo se va comportando, lo vamos a realizar hasta la fecha de presentación de este proyecto.

Colocada la nueva capa de rodadura figura 4.29 podemos observar que, gracias al rodillo compactador y el rodillo neumático, hemos conseguido llegar al mismo nivel que tiene el pavimento rígido.

**Figura 4.29** Nivel del pavimento rígido



**Fuente:** Elaboración propia

La carpeta asfáltica previamente compactada toma la forma deseada, para que se acomode y forme parte de la nueva capa de rodadura, la geomalla al tener una resistencia de rotura del 60 % no se ve afectado por el fresado y tampoco existe posibilidad de que la geomalla se corte, ya que al ser punzonado puede ser sometido a esfuerzos de corte y resistir los mismos.

Comparación de costos con reposición de losa y reposición parcial de losa.

**Tabla 4.3** Comparación de costos

Recapeo asfáltico con geomalla	Reposición parcial de losa de H°A° e = 10cm	Reposición total de losa de H°A°
99.974,63 Bs	194.339,50 Bs	252.275,19 Bs

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.10. Control geométrico en la losa

Se hizo el control geométrico en la losa donde se realizó el recapeo asfáltico, en el cual se pudo observar que tiene las mismas dimensiones de la losa vieja, y está al mismo nivel del espesor de las losas de hormigón de pavimento rígido.

Se visitó el lugar donde se realizó la aplicación práctica tres veces por semana, en las horas picos que son 7am, 1pm y 6:30 pm, para ver si existían esfuerzos y deflexiones en el pavimento producidos por cambios de temperatura.

Durante el día, cuando la temperatura en la parte superior de la losa es mayor que en la inferior, la parte superior tiende a expandirse con respecto al eje neutro, mientras que la inferior tiende a contraerse. Sin embargo, el peso de la losa las restringe de la expansión y contracción; por lo que los esfuerzos de compresión son inducidos en la parte superior mientras los esfuerzos de tracción ocurren en la parte inferior. Durante la noche, cuando la temperatura en la parte superior de la losa es menor que en la parte inferior, la parte superior tiende a contraerse con respecto a la parte inferior; por lo tanto, los esfuerzos de tracción son inducidos en la parte superior y esfuerzos de compresión en la parte inferior. En este caso, se observó que no existía dilatación en la losa de estudio, se realizó en control con una regla al medio día ya que a esa hora es más elevada la temperatura por lo tanto había mayores probabilidades de que exista dilatación, también se pudo observar que no existe deformación ni reflexión de fisuras en la nueva capa de rodadura debido a las cargas del tráfico vehicular.

**Tabla 4.4** Resumen de resultados

Diciembre	Horarios de control			Control 1	Control 2	Control 3
Días	Hora			dilatación	deformación	reflexión de fisuras
Lunes	7am	1pm	6pm	No existe	No existe	No existe
Miércoles	7am	1pm	6pm	No existe	No existe	No existe
Viernes	7am	1pm	6pm	No existe	No existe	No existe
Enero	Horarios de control			Control 1	Control 2	Control 3
Lunes	7am	1pm	6pm	No existe	No existe	No existe
Miércoles	7am	1pm	6pm	No existe	No existe	No existe
Viernes	7am	1pm	6pm	No existe	No existe	No existe

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.30** Después de 7 días



**Fuente:** Elaboración propia

Después de los 7 días de pavimentado podemos observar que no existe ninguna alteración sobre la capa de rodadura.

**Figura 4.31** Después de 14 días



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.32** Después de 30 días



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.33** Después de 90 días



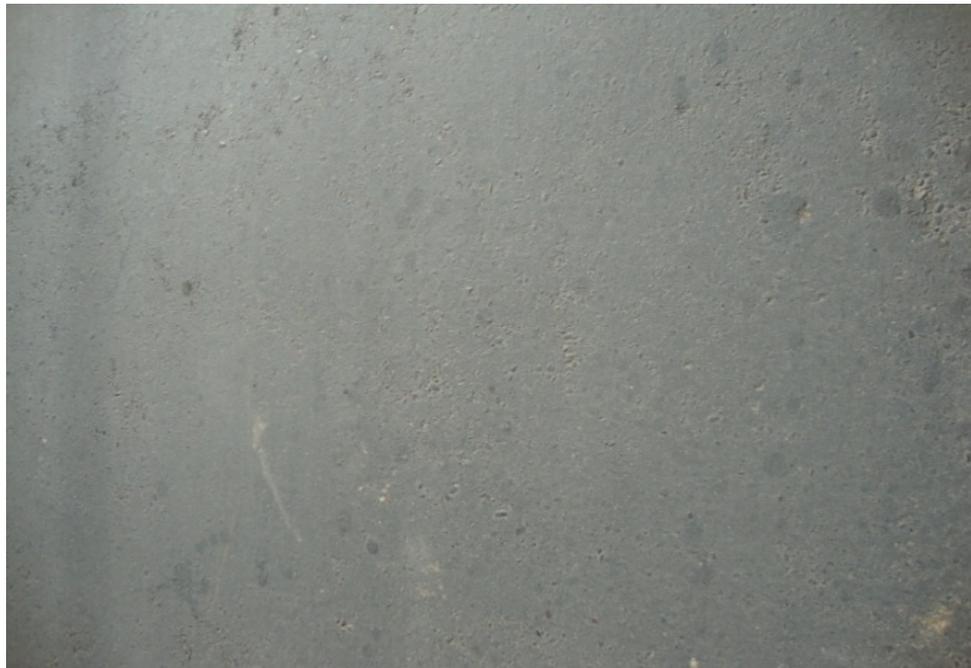
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.34** Después de 121 días



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.35** Nueva capa de rodadura en buenas condiciones



**Fuente:** Elaboración propia

A los 121 días de realizada la aplicación práctica observamos que la nueva capa de rodadura está en buenas condiciones demostrando hasta la fecha la efectividad de este método.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Durante el trabajo realizado se ha identificado y puesto en práctica una técnica muy novedosa como es el recapeo asfáltico con uso de geomalla.
- A lo largo de la calle Junín 280 losas de las cuales 66 se encuentran fisuradas con distintos niveles de severidad, esto representa el 23,5 % del total; por lo tanto, no es posible hacer una zonificación ya que podemos encontrar fallas sobre toda la calle.
- Para la reparación de las 66 losas de la calle Junín que se encuentran fisuradas, se realizó una comparación de 3 alternativas que se detallan a continuación:
  - Recapeo asfáltico con geomalla con un monto total de 99.974,63 Bs.
  - Reparación parcial de losa de H°A° e = 10 cm, con un monto total de 194.339,50 Bs.
  - Reparación total de la losa de H°A° con un monto total de 252.275,19 Bs.Dando como mejor resultado y más económico el recapeo asfáltico con geomalla, que es una excelente y novedosa alternativa económica para los recapeos.
- El uso de las geomallas en el recapeo asfáltico, considerando los puntos de refacción dentro de la calle Junín, incide principalmente en:
  - Que la geomalla actúa como una membrana que distribuye los esfuerzos de corte producidos en las fisuras.
  - Evita la reflexión de fisuras hacia la nueva capa asfáltica lo que se traduce en un aumento de la vida útil.
  - Posterior a la impregnación del ligante asfáltico con la geomalla esta se convierte en una membrana de características impermeables impidiendo la entrada de agua a la estructura del pavimento.
- Se concluye que la geomalla actúa como una membrana que distribuye los esfuerzos de corte producidos en las grietas, evita la reflexión de grietas hacia la nueva capa asfáltica lo que se traduce en un aumento de la vida útil.

- Se concluye que luego del impregnado del ligante asfáltico con la geomalla, se convierte en una membrana de características impermeables impidiendo la entrada de agua a la estructura del pavimento. Previniendo de esta manera la pérdida de finos (arenas, limos) por efecto del bombeo, evitando así la pérdida de capacidad soporte.
- Que el buen control en la ejecución de los tramos experimentales es fundamental, realizando un seguimiento durante el tiempo de vida, estudiando las variaciones influyentes en el comportamiento de la geomalla, para obtener conclusiones de ensayos.
- Que al aplicar dicha técnica se elimina la reflexión de fisuras por reflexión a través de un desvío de la trayectoria de propagación e impermeabiliza la subrasante.
- El costo y beneficio de la geomalla, permite reducir considerablemente el espesor de capas de material necesario para el recapeo asfáltico, la disminución de espesor de la capa base conlleva el ahorro de costos de acarreo y compactación del material. Adicionalmente, la facilidad del proceso constructivo a seguir para su instalación reduce el tiempo de construcción notablemente.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda utilizar esta técnica en el recapeo asfáltico en los lugares con fisuras, para evitar la filtración de agua.
- Se recomienda que al momento de realizar recapeos asfálticos considerar emplear el uso de geomallas al comprobar que es una alternativa económica y de mayor durabilidad y resistencia.
- Se recomienda realizar un recapeo de pavimento flexible, con la aplicación de la geomalla para mejorar la carpeta asfáltica y de esta manera garantizar la vida útil de dicho pavimento.
- Que, por las características físicas de la geomalla, se recomienda la geomalla ALVAGRID FV G.
- Aplicar la tasa de asfalto adecuada según las características del pavimento rígido agrietado, para garantizar el saturado completo de la geomalla con el ligante asfáltico.

- Se recomienda realizar un permanente control de las variaciones influyentes en el comportamiento de la geomalla.
- Asegurar la adherencia de la geomalla hacia el pavimento agrietado y la nueva capa de rodadura, asegurando la correcta distribución de esfuerzos de los bordes de las grietas a la carpeta asfáltica, liberando del polvo y basura.

