

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

Las actividades de rehabilitación de las estructuras de pavimento se van haciendo cada vez más importante, a medida que ellas se deterioran con el tiempo y con tránsito. El énfasis en la administración de pavimentos es la preservación de la inversión inicial mediante la aplicación oportuna de tratamientos adecuados de rehabilitación para prolongar la vida pavimento.

En general los pavimentos son diseñados para soportar de manera adecuada los esfuerzos transmitidos a la superficie de rodadura, asimismo deberán soportar los diferentes cambios climatológicos y las condiciones de drenaje, finalmente el índice de tasa de crecimiento actual de la región viene aumentando progresivamente como consecuencia obtendremos el aumento del nivel de serviciabilidad de la infraestructura vial.

Independientemente del proceso de deterioro “natural” en toda estructura de pavimento, se deben iniciar labores de mantenimiento y rehabilitación, con el objeto de reducir el impacto que las diferentes fallas puedan afectar a la estructura; las fisuras, deformaciones, agrietamientos, erosión, baches entre otros son problemas comunes que se presentan a lo largo del periodo de vida útil de un pavimento. Para evitar el surgimiento de fallas es importante considerar la conservación de la vía tan pronto se termina la construcción del pavimento.

La rehabilitación de un pavimento cubre un rango muy amplio de actuaciones, que va desde la simple corrección de defectos superficiales para mejorar la calidad de la circulación vehicular, hasta las operaciones de reconstrucción, destinadas a recuperar totalmente la capacidad estructural de la calzada.

Se comparará los diferentes métodos de procesos de rehabilitación en pavimentos flexibles en la ciudad de Tarija, ya que la gran mayoría de las calles son de este tipo y, además, el período de diseño de un pavimento flexible es menor que el de un pavimento rígido y por lo tanto requiere mayor conservación y reconstrucción.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Situación problemática

La rehabilitación en pavimentos flexibles es la reparación selectiva y refuerzo del pavimento o de la calzada, se efectúa cuando el camino se encuentra demasiado deteriorado como para poder resistir una mayor cantidad de tránsito en el futuro, pudiendo incluir, además, algunos mejoramientos del drenaje. La rehabilitación tiene el objeto de restablecer la capacidad estructural y la calidad de rodadura.

El propósito de la selección de los procesos de rehabilitación es identificar los tratamientos que mejor se ajusten a la corrección de los defectos existentes y permitan lograr los mejoramientos deseados en cuanto a las capacidades estructural, funcional y de drenaje del pavimento.

Si la selección de uno de los procesos de rehabilitación no es la adecuada, es decir no se realizó una buena evaluación, el efecto será en la resistencia del pavimento dando lugar a la degradación de la misma. Esta situación provocara perdida de materiales y un costo económico mucho mayor.

Es necesario comparar a mayor detalle, los procesos de rehabilitación en los pavimentos flexibles y fijar las mejores soluciones y alternativas, para recuperar totalmente la capacidad estructural y prolongar la vida útil del pavimento.

1.2.2. Formulación del problema

¿Cómo se puede establecer el mejor proceso de rehabilitación de pavimentos flexibles para tráfico liviano?

1.3. Justificación

En diferentes zonas de la ciudad de Tarija, existen calles de pavimentos flexibles con una serie de deterioros y fallas, que afectan la comodidad y seguridad de los usuarios de la vía.

Unos de los factores que influyen en los deterioros de los pavimentos, es el incremento del flujo vehicular, la circulación de vehículos con carga mayores a las de diseño y la falta de actividades de mantenimiento y conservación.

La razón fundamental del estudio de la rehabilitación es la reparación y restauración de pavimentos existentes para extender su vida útil, mejorar el rendimiento y la durabilidad de las estructuras del pavimento.

El beneficio de la rehabilitación de pavimentos flexibles se contempla en mejorar la transitabilidad, nivel de serviciabilidad, seguridad y comodidad a los usuarios de la ciudad.

Lo que se va a realizar en este proyecto es la selección de los diferentes tipos de rehabilitación, los cuales serán comparados, de tal manera se seleccionen lo más óptimos bajo los parámetros de calidad y costo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Comparar algunos procesos de rehabilitación en pavimentos flexibles de vías de tráfico liviano de la ciudad de Tarija, seleccionando posibles alternativas, que permitan establecer el método más óptimo bajo los parámetros de calidad y costo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Describir las consideraciones generales sobre las fallas de los pavimentos flexibles.
- Identificar las zonas que abarquen vías de tráfico liviano.
- Seleccionar algunos métodos como posibles alternativas para la rehabilitación de pavimentos flexibles.
- Realizar los ensayos de caracterización de los agregados pétreos y del cemento asfáltico.
- Realizar la dosificación de las alternativas seleccionadas como rehabilitación.
- Analizar y comparar los resultados para la determinación de la alternativa más viable bajo los parámetros de calidad y costo.
- Establecer conclusiones y recomendaciones en base a los resultados del proyecto.

1.5. Formulación de la hipótesis.

1.5.1. Hipótesis

Seleccionando algunos métodos de rehabilitación de pavimentos, se identificará al más óptimo luego de la comparación de las alternativas, bajo las características de calidad y costo.

1.5.2. Identificación de variables

- Variable independiente: métodos de rehabilitación.
- Variable dependiente: calidad y costo.

1.5.3. Conceptualización y operacionalización de las variables.

Tabla 1.1: Conceptualización de variable independiente

Variable Independiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Acción/Valor
Métodos de rehabilitación	Procesos de reparación selectiva y refuerzo del pavimento	Tratamientos de Preparación	Glb	Garantiza el comportamiento adecuado.
		Restauración	Glb	Soluciona una necesidad tipo funcional.
		Refuerzo	Glb	Método más generalizado para rehabilitar.
		Reciclado	Glb	Consiste en la reutilización.
		Reconstrucción	Glb	Remoción o reemplazo parcial o total.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2: Conceptualización de variable dependiente

Variable Dependiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Acción/Valor
Calidad y costo	Se refiere a las propiedades inherentes y al precio de los materiales usados en los métodos de refuerzo.	Materiales de construcción.	Glb	Seleccionados por sus mejores propiedades.
		Evaluación económica	Glb	Medir y comparar los diversos beneficios.

Fuente: Elaboración propia.

1.6. Alcance del estudio de aplicación

La “COMPARACIÓN DE PROCESOS DE REHABILITACIÓN EN PAVIMENTOS FLEXIBLES EN VÍAS DE TRÁFICO LIVIANO DE LA CIUDAD DE TARIJA”, alcanzará resultados que servirán para la elección de la mejor alternativa de rehabilitación para pavimentos flexibles, bajo los parámetros de calidad y costos, dando solución a los problemas de fallas y deformaciones que se encuentran en los pavimentos. Justificando su viabilidad a través de una adecuada técnica experimental, luego de realizada la extracción de 30 muestras, se realizará la caracterización y dosificación de los materiales, observando 18 especímenes para el diseño de la mezcla en caliente que será utilizado para las alternativas de rehabilitación, donde se pueda establecer el comportamiento mecánico que presenta las muestras de pavimentos flexible ante su implemento como refuerzo mediante métodos, y a través de un análisis de los valores obtenidos de un ensayo de Compresión Paralela a las muestras, con el objeto que todo esto deje resultados útiles y aplicables.

Introduciendo con una visión general del proyecto se identificará el problema justificando su viabilidad e importancia de su aporte académico y a la sociedad, proponiendo un objetivo general que apoyado en otros específicos se alcance. Haciendo uso de una

metodología de trabajo cuyos medios son instrumentos necesarios a emplear, para que el proyectista tenga formalmente los conocimientos para ejecutar y finalizar el proyecto en la asignatura de Proyecto de Grado II.

Realizando un estudio amplio y aclarado los conocimientos con la recolección de la bibliografía ya establecida del pavimento flexible, su proceso de ejecución, las fallas generales que presentan y sus métodos de rehabilitación, nos enfocaremos en las alternativas de rehabilitación.

El proyecto comprenderá en la comparación de dos métodos de rehabilitación, donde se diseñará la mezcla en caliente de cemento asfáltico convencional, esta mezcla servirá para el diseño de los dos métodos, con el objetivo de evidenciar el comportamiento de los refuerzos sobre las muestras extraídas de pavimento flexible resulten ser más ventajosas. Para ello se hará el uso del laboratorio de tecnología del hormigón y de asfaltos de la UAJMS, caracterizando previamente el agregado y el asfalto convencional, así proceder a la dosificación de la mezcla y llevarlo al ensayo de Compresión, todo esto de acuerdo a la normativa de calidad exigida respectivamente establecida en nuestro medio. Siguiendo con el trabajo de gabinete con motivo de evaluar y comparar los resultados, autocriticando para que lleven a considerarse útiles en el momento de optar por la ejecución de rehabilitación en un pavimento flexible.

Finalmente se expondrán las conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados, de manera que sirvan como guía para futuros tesisistas en cuestión del tema de proyecto.

CAPÍTULO II
COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE
REHABILITACIÓN

CAPÍTULO II

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE REHABILITACIÓN

2.1. Definición de pavimentos

Se llama pavimento al conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactadas. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (Montejo, 2002, pág. 1)

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

2.1.1. Clasificación de pavimentos

2.1.1.1. Pavimento flexible

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

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

Figura 2.1: Estructura típica del pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia.

2.1.1.2. Pavimento rígido

El pavimento rígido o pavimento hidráulico, se compone de losas de concreto hidráulico que algunas veces presentan acero de refuerzo. Esta losa va sobre la base (o subbase) y ésta sobre la subrasante. Este tipo de pavimentos no permite deformaciones de las capas inferiores.

El pavimento rígido tiene un costo inicial más elevado que el pavimento flexible y su período de vida varía entre 20 y 40 años. El mantenimiento que requiere es mínimo y se orienta generalmente al tratamiento de juntas de las losas.

Figura 2.2: Estructura típica del pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia.

2.1.1.3. Pavimento híbrido

Al pavimento híbrido se le conoce también como pavimento mixto, y es una combinación de flexible y rígido. Por ejemplo, cuando se colocan bloquetas de concreto en lugar de la carpeta asfáltica, se tiene un tipo de pavimento híbrido. El objetivo de este tipo de pavimento es disminuir la velocidad límite de los vehículos, ya que las bloquetas producen una ligera vibración en los autos al circular sobre ellas, lo que obliga al conductor a mantener una velocidad máxima de 60 km/h. Es ideal para zonas urbanas, pues garantiza seguridad y comodidad para los usuarios.

Figura 2.3: Estructura típica del pavimento híbrido



Fuente: Elaboración propia.

2.2. Pavimentos urbanos flexibles

2.2.1. Conceptos y funciones de las capas

Como se vio en la clasificación de pavimentos, los pavimentos flexibles están constituidos por las siguientes capas: carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante. A continuación, se explica a detalle cada uno de estos elementos.

2.2.1.1. Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, y es la que le proporciona la superficie de rodamiento a la vía. Cumple la función de impermeabilizar la superficie evitando el ingreso de agua que podría saturar las capas inferiores. También evita la desintegración de las capas subyacentes y contribuye al resto de capas a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos (cuando se construye con espesores mayores a 2.5 cm.). La carpeta es elaborada con material pétreo seleccionado y un aglomerante que es el asfalto. Es de gran importancia conocer el contenido óptimo de asfalto a emplear, para garantizar que la carpeta resista las cargas a la que será sometida. Un exceso de asfalto en la mezcla puede provocar pérdida de estabilidad, e incluso hacer resbalosa la superficie.

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

2.2.1.2. Base

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

La base puede estar constituida principalmente por material granular, como piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; pero también puede estar conformada con cemento Portland, cal o materiales bituminosos, recibiendo el nombre de base estabilizada. Éstas deben tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie y transmitirla hacia los niveles inferiores del paquete estructural.

2.2.1.3. Subbase

La subbase se localiza en la parte inferior de la base, por encima de la subrasante. Es la capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas en la carpeta asfáltica. Está conformada por materiales granulares, que le permiten trabajar como una capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, evitando fallas producidas por el hinchamiento del agua, causadas por el congelamiento, cuando se tienen bajas temperaturas. Además, la subbase controla los cambios de volumen y elasticidad del material del terreno de fundación, que serían dañinos para el pavimento.

2.2.1.4. Subrasante

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

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

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

El comportamiento estructural de un pavimento frente a cargas externas, varía de acuerdo a las capas que lo constituyen. La principal diferencia entre el comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la forma cómo se reparten las cargas.

En un pavimento flexible, la distribución de la carga está determinada por las características del sistema de capas que lo conforman. Las capas de mejor calidad están cerca de la superficie donde las tensiones son mayores, y estas cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores. (Rodríguez, 2009, pág. 4)

Figura 2.4: Distribución de la carga en pavimentos flexibles (izquierda) y rígidos (derecha)



Fuente: Elaboración propia.

2.3. Fallas en pavimentos flexibles

2.3.1. Fisuras

- a) **Fisuras longitudinales y transversales (m).** Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él, son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado.

Figura 2.5: Fisuras longitudinales y transversales



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- b) **Fisuras en juntas de construcción (m).** Corresponden a fisuras longitudinales o transversales generadas por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica o de las juntas en zonas de ampliación.

Figura 2.6: Fisuras longitudinales y transversales en juntas de construcción



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- c) **Fisuras por reflexión de juntas (m).** Son las fisuras que aparecen por la proyección en superficie de las juntas de dichas placas, estos daños se presentan cuando existe una capa de concreto asfáltico sobre placas de concreto rígido.

Figura 2.7: Fisuras por reflexion de juntas



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- d) **Fisuras en media luna (m^2).** Son fisuras de forma parabólica asociadas al movimiento de la banca por lo que usualmente se presentan acompañadas de hundimientos.

Figura 2.8: Fisuras en media luna



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- e) **Fisuras de borde (m).** Corresponden a fisuras con tendencia longitudinal a semicircular localizadas cerca del borde de la calzada, se presenta principalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre la berma y la calzada.

Figura 2.9: Fisuras de borde



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- f) **Fisuras en bloque (m^2).** La figuración en bloque es causada principalmente por la contracción del concreto asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día.

Figura 2.10: Fisuras en bloque



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- g) **Piel de cocodrilo (m^2).** Generalmente localizadas en zonas sujetas a repeticiones de carga. La figuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas.

Figura 2.11: Piel de cocodrilo



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- h) **Fisuras por deslizamiento de capas (m²).** Este tipo de fisuras se genera por acción del arranque o frenado de los vehículos lo que conlleva a que la superficie del pavimento se deslice y se deforme.

Figura 2.12: Fisuras por deslizamiento de capas



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- i) **Fisuración incipiente (m²).** La fisuración incipiente corresponde a una serie de fisuras contiguas y cerradas, que generalmente no se interceptan. Suelen afectar el concreto asfáltico de manera superficial.

Figura 2.13: Fisuración incipiente



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

2.3.2. Deformaciones

- a) **Ondulaciones (m²)**. Son deformaciones plásticas de la capa asfáltica, debidas generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados.

Figura 2.14: Ondulaciones



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- b) **Abultamiento (m²)**. Este deterioro se asigna a los abombamientos, se generan principalmente por la expansión de la subrasante, el cual se deforma al existir presiones bajo la capa asfáltica.

Figura 2.15: Abultamiento



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- c) **Hundimiento (m²)**. Corresponden a depresiones localizadas en el pavimento con respecto al nivel de la rasante a causa de los asentamientos de la subrasante y circulación de tránsito muy pesado.

Figura 2.16: Hundimiento



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- d) **Ahuellamiento (m²)**. Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos, generada por deformación plástica del concreto asfáltico y la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas.

Figura 2.17: Ahuellamiento



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

2.3.3. Pérdida de las capas estructurales

- a) **Descascaramiento (m^2)**. Este deterioro corresponde al desprendimiento de parte de la capa asfáltica superficial, sin llegar a afectar las capas asfálticas subyacentes.

Figura 2.18: Descascaramiento



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- b) **Baches (m^2)**. Desintegración total de la carpeta asfáltica que deja expuestos los materiales granulares, debido a la retención de agua en zonas fisuradas que ante la acción del tránsito produce reducción de esfuerzos efectivos generando deformaciones.

Figura 2.19: Baches



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- c) **Parche (m²)**. Corresponden a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios.

Figura 2.20: Parche



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

2.3.4. Daños superficiales

- a) **Desgaste superficial (m²)**. Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como pérdida de ligante y mortero.

Figura 2.21: Desgaste superficial



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- b) **Pérdida de agregado (m^2).** Es la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos.

Figura 2.22: Pérdida de agregado



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- c) **Pulimiento de agregado (m^2).** Este daño se evidencia por la presencia de agregados con caras planas en la superficie o por la ausencia de agregados angulares, la causa es una baja resistencia de algunos agregados al pulimento.

Figura 2.23: Pulimiento de agregado



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- d) **Cabezas duras (m²)**. Corresponde a la presencia de agregados expuestos fuera del mortero arena-asfalto, que puede llegar a aumentar la rugosidad del pavimento.

Figura 2.24: Cabezas duras



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- e) **Exudación (m²)**. El daño se presenta con una película del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento, se genera cuando la mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto que el contenido de vacíos con aire de la mezcla sea bajo.

Figura 2.25: Exudación



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

- f) **Surcos (m²).** Corresponde a franjas o canales longitudinales donde se han perdido los agregados de la mezcla asfáltica, se da por distribución transversal defectuosa del ligante bituminoso o del agregado, lo cual genera el desprendimiento de los agregados.

Figura 2.26: Surcos



Fuente: Manual para la inspección visual de Pavimentos Flexibles (2006).

2.3.5. Otros daños

Además de los daños definidos hasta el momento existen otros que pueden aparecer como consecuencia de los primeros, conocidos como afloramientos, los cuales ocurren principalmente debido a la presencia o infiltración de agua en la estructura. (Convenio, 2006, pág. 1)

Tanto los afloramientos como los daños en la junta pavimento – berma se los mencionara a continuación:

- a) Corrimiento vertical de la berma.
- b) Separación de la berma.
- c) Afloramiento de finos.
- d) Afloramiento de agua.

2.4. Métodos o procesos de rehabilitación

2.4.1. Tratamientos de preparación

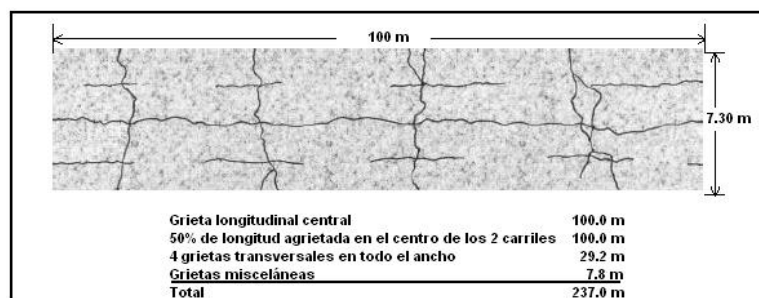
Algunas de las alternativas de rehabilitación de un pavimento asfáltico, específicamente las de restauración y refuerzo, requieren un tratamiento de preparación con el fin de garantizar su adecuado comportamiento a mediano o largo plazo. Los pavimentos que se rehabilitan sin una adecuada preparación previa pueden reflejar, a corto término, las fisuras de la estructura existente o incumplir los requisitos de las especificaciones sobre regularidad superficial.

2.4.1.2 Sello de fisuras

El sello de fisuras consiste en la eventual conformación de las fisuras, su limpieza y la aplicación de un producto bituminoso sellante, en frío o en caliente, cuyas características y cantidades dependen de la abertura de ellas.

Existe una regla empírica, según la cual el sello puede resultar técnica y económicamente aceptable si la longitud de grietas por sellar no excede de 300 metros por hectómetro de calzada. Si ella es superada, suele resultar más conveniente el uso de otras opciones de tratamiento, como parte de la estrategia de rehabilitación.

Figura 2.27: Hectómetro de pavimento con 237 metros de fisuras



Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

2.4.1.3 Parcheo y bacheo

Este tratamiento previo consiste en la intervención de áreas localizadas del pavimento para corregir defectos relacionados con un deterioro estructural o problemas de humedad, de

materiales o de construcción. La intervención puede abarcar sólo las capas asfálticas (parcheo) o comprender también las granulares o estabilizadas hasta lograr un apoyo firme (bacheo), dependiendo de la naturaleza del deterioro.

Figura 2.28: Excavación para el parcheo de un pavimento asfáltico



Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

2.4.1.4 Capa de nivelación

La capa de nivelación se coloca directamente sobre el pavimento existente para rellenar las deformaciones de éste, eliminando diferencias de nivel inconvenientes.

Esta capa se suele construir con una mezcla del tipo concreto asfáltico. La superficie de esta capa, que debe ser razonablemente lisa, sirve de soporte a la capa de rodadura, sea que ésta se coloque como tratamiento de restauración o como alternativa de refuerzo.

Figura 2.29: Capa de nivelación previa a una capa de refuerzo



Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

2.4.1.5. Fresado

Consiste en la molienda (generalmente en frío) de la parte superior de un pavimento para corregir sus perfiles longitudinal y transversal, removiendo abultamientos, baches, excesos de asfalto y otras imperfecciones de la capa de rodadura, dejando una superficie de macrotextura rugosa de elevada resistencia al deslizamiento.

Este tratamiento se suele combinar con la posterior colocación de una nueva capa asfáltica que compense la pérdida de espesor que origina o, inclusive, que mejore la capacidad estructural del pavimento. Si la capa de compensación tiene el mismo espesor de la capa removida, se considera que las dos acciones conforman un tratamiento de restauración, pero si se coloca una mezcla densa de mayor espesor, el fresado se convierte en parte de una operación de refuerzo.

Figura 2.30: Fresado de un pavimento asfáltico



Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

2.4.2. Restauración

Los trabajos de restauración de un pavimento asfáltico están enfocados, típicamente, a solucionar una necesidad de tipo funcional como, por ejemplo, mejorar la fricción superficial o impermeabilizar la superficie del pavimento. Sin embargo, ellos pueden cumplir varias funciones y así se ejecuten por una razón específica, suelen satisfacer simultáneamente otras necesidades secundarias y terciarias. Los trabajos de restauración de un pavimento asfáltico están enfocados, típicamente, a solucionar una necesidad de

tipo funcional como, por ejemplo, mejorar la fricción superficial o impermeabilizar la superficie del pavimento. Sin embargo, ellos pueden cumplir varias funciones y así se ejecuten por una razón específica, suelen satisfacer simultáneamente otras necesidades secundarias y terciarias. Las principales funciones de la restauración de un pavimento son las siguientes:

- Suministrar una nueva superficie de rodamiento.
- Sellar áreas fisuradas.
- Impermeabilizar la superficie.
- Mejorar el drenaje superficial.
- Mejorar la fricción superficial.
- Reducir la rata de degradación del pavimento.
- Mejorar el aspecto de la calzada.
- Reducir el ruido de rodadura.
- Proporcionar una diferencia visual entre la calzada y las bermas.

Las operaciones de restauración incorporan una cantidad importante de material asfáltico que puede cubrir y sellar fisuras de pequeña abertura. El éxito en la aplicación depende del tamaño de las fisuras, del movimiento que puedan presentar al pasar el tránsito sobre ellas y de la capacidad del asfalto para penetrarlas.

La Tabla 2.1 resume las principales técnicas de restauración de un pavimento asfáltico e indica los propósitos principales de las mismas. Las características principales de ellas, se mencionan en los incisos siguientes.

Tabla 2.1: Técnicas de restauración de pavimentos asfálticos

Técnicas	Propósitos
Riego en negro	-Sellado de la superficie. -Rejuvenecimiento del asfalto oxidado.
Sello de arena - asfalto	-Sellado de la superficie. -Mejora temporal de la fricción superficial.
Tratamiento superficial	-Suministrar una superficie en rodamiento. -Mejora el drenaje superficial de la calzada. -Mejora las características de fricción superficial.
Lechada asfáltica	-Sellado de la superficie. -Retarda la desintegración superficial. -Mejora la resistencia al deslizamiento.
Microaglomerado en frío	-Sellado de la superficie. -Retarda la desintegración superficial. -Mejora la resistencia al deslizamiento. -Nivela áreas ahuelladas de poca profundidad.
Sello del Cabo (Cape seal)	-Suministra una superficie rodamiento rejuvenecida. -Mejora el drenaje superficial de la calzada. -Mejora las características de fricción superficial. -Retarda la desintegración superficial.
Microaglomerado en caliente	-Brinda una nueva superficie de rodamiento. -Mejora el drenaje y la fricción superficial.
Mezcla drenante	-Suministra un adecuado drenaje superficial. -Reduce el hidroplaneo. -Limita la proyección de agua lluvia. -Mejora la visibilidad en condiciones de lluvia. -Incrementa la fricción superficial. Reduce el ruido de rodadura.
Sobrecapa delgada	-Brinda una nueva superficie de rodamiento. -Retarda la desintegración superficial.

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2.1 Sello tipo niebla o riego en negro

Consiste en una aplicación muy ligera de una emulsión asfáltica diluida sobre la superficie del pavimento. Su finalidad es sellar la superficie, mejorando su impermeabilidad o

rejuveneciéndola si presenta síntomas de disgregación por desgaste, por escasez en la dosificación del asfalto o por envejecimiento del pavimento. La dosificación del ligante debe ser establecida con mucho cuidado, con el fin evitar que dé lugar a una disminución inconveniente de la resistencia al deslizamiento.

Este tratamiento, no es recomendable sobre pavimentos de carreteras con tránsitos de las categorías NT2 y NT3 y sólo se aceptará como solución en las de categoría NT1.

La expectativa de vida de un riego en negro es muy variable y depende de la condición del pavimento sobre el cual se aplica, del tránsito circulante y de las condiciones ambientales.

Figura 2.31: Riego en negro



Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

2.4.2.2 Sello de arena – asfalto

Consiste en la aplicación de un material bituminoso, generalmente una emulsión de rotura rápida, sobre la superficie del pavimento, seguida de la extensión y compactación de una delgada capa de arena (Figura 2.32). El sello cumple la misma función que el riego en negro, pero, además, controla la fricción superficial debido a la adición del agregado pétreo. Esta técnica se admite sólo en vías con niveles de tránsito NT1 y NT2. Su expectativa de vida es similar a la de los riegos en negro.

Figura 2.32: Sello de arena- asfalto



Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

2.4.2.3 Tratamiento superficial

Consiste en aplicaciones consecutivas de una emulsión asfáltica de rotura rápida y capas de gravilla de tamaño uniforme (Figura 2.33). Su construcción sobre un pavimento existente sirve para impermeabilizar y rejuvenecer la superficie, pero, principalmente, para mejorar las características de drenaje y de fricción superficial.

Figura 2.33: Restauración de un pavimento asfáltico con un tratamiento superficial



Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

El empleo de los tratamientos superficiales, con los fines que se acaban de describir, está limitado a carreteras de tránsito bajo y medio (NT1 y NT2) cuando se utilizan emulsiones elaboradas con asfaltos convencionales.

2.4.2.4 Lechada asfáltica

Consiste en una mezcla de emulsión asfáltica de rotura lenta, agua, agregado fino, llenante mineral y, eventualmente, aditivos, la cual se realiza en una máquina mezcladora especial que también la extiende sobre la superficie del pavimento (Figura 2.34). Su aplicación en la restauración de pavimentos, se debe restringir a carreteras de tránsito bajo y medio (NT1 y NT2). Su expectativa de vida útil se encuentra entre 3 y 5 años.

Figura 2.34: Restauración de un pavimento con una lechada asfáltica



Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

2.4.2.5 Microaglomerado en frío

Conocido también como micropavimento, es una lechada asfáltica elaborada con una emulsión de asfalto modificado con polímeros y un agregado pétreo de tamaño máximo ligeramente mayor al empleado en una lechada convencional.

Aunque cumple las mismas funciones de la lechada en la restauración de un pavimento, la modificación en el ligante hace utilizable el microaglomerado en carreteras de tránsito pesado (NT3).

2.4.2.6 Sello del cabo (Cape seal)

Es una técnica que, al combinar un tratamiento superficial simple con una lechada asfáltica, reduce la macrotextura macrorrugosa de aquél, dando lugar a una superficie de rodadura cuya vida útil puede alcanzar 8 o más años. Por ser una técnica de restauración con los mismos propósitos de los dos tratamientos que combina, no es recomendable su construcción sobre pavimentos con problemas estructurales.

2.4.2.7 Microaglomerado en caliente

Es una mezcla bituminosa elaborada en caliente, con agregados de gradación discontinua, que se emplea para la construcción de capas de rodadura de pequeño espesor. Se elabora con un asfalto modificado con polímeros, con fibras acrílicas o polvo de celulosa, y con un agregado pétreo que presenta una discontinuidad granulométrica entre los tamaños de 2 mm y 5 mm, con el fin de obtener una textura macrorrugosa al compactar la capa en el terreno. Su expectativa de vida se encuentra entre 5 y 8 años.

2.4.2.8 Mezcla drenante

Es una mezcla asfáltica para capa de rodadura con un elevado contenido de vacíos con aire, cuyo diseño y colocación en obra da lugar a una superficie de textura abierta y de alta capacidad drenante. Colocada sobre una superficie impermeable y con una correcta pendiente transversal, en un espesor del orden de 40 a 50 mm, evita la presencia de agua en la superficie, drenándola de manera inmediata en instantes de lluvia y proporcionando alta resistencia al deslizamiento, reduciendo el volumen de agua proyectada al paso de los vehículos, mejorando la visibilidad en condición de pavimento húmedo (Figura 2.35) y disminuyendo el ruido producido por la circulación vehicular. En su elaboración se deben emplear asfaltos modificados con polímeros, cuya mayor viscosidad permite obtener un espesor grueso de película asfáltica sin riesgos de exudación, una superior flexibilidad y una elevada cohesión.

Figura 2.35: Diferencia de visibilidad en instantes de lluvia, al circular sobre una superficie de concreto asfáltico y una de mezcla drenante



Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

Su expectativa de vida oscila entre 8 y 10 años. Si su mantenimiento durante el tiempo no es adecuado, se puede colmatar prematuramente, perdiendo parte de su eficacia.

2.4.2.9 Sobrecapa delgada

Un sobrecapa delgada, construida con una mezcla del tipo denso en caliente (concreto asfáltico), extiende la vida útil de un pavimento asfáltico estructuralmente sano a través del mejoramiento de su condición funcional. Los pequeños defectos superficiales son cubiertos por ella, dando la misma apariencia de un pavimento nuevo.

Para ser considerada como operación de restauración, la sobrecapa debe tener un espesor compacto inferior a 40 milímetros.

Limitaciones y efectividad de los trabajos de restauración

Las técnicas de restauración constituyen un medio efectivo para corregir defectos de tipo superficial y funcional en un pavimento y contribuyen a paliar temporalmente algunos de tipo estructural, pero no suministran ningún aporte estructural a la calzada existente, el cual sólo se puede obtener a través de otros mecanismos más intensos de rehabilitación. Otras limitaciones de la técnica de restauración de pavimentos asfálticos son las siguientes:

- El riesgo de que la aplicación de los riegos en negro se traduzca en la generación de superficies deslizantes, hace que ellos sean más recomendables en la protección de las bermas que en la de la calzada.
- La mayoría de los tratamientos descritos no resultan suficientemente efectivos si la superficie presenta deformaciones permanentes y agrietamientos de alguna consideración, salvo que se aplique algún tratamiento de preparación.
- Aunque la lechada asfáltica constituye un excelente tratamiento rejuvenecedor, no es tan durable como un tratamiento superficial si el pavimento por rehabilitar está fisurado y acusa altas deflexiones bajo la acción del tránsito.
- Los microaglomerados en caliente no presentan buen comportamiento si se construyen sobre superficies muy deformadas o con excesos de asfalto.
- Aunque las mezclas drenantes son muy efectivas en el mejoramiento del drenaje superficial, su éxito exige de la capa subyacente impermeabilidad, resistencia al desprendimiento del asfalto y una adecuada pendiente; además, su efectividad decrece a medida que sus vacíos se van colmatando, lo que implica exigentes medidas de mantenimiento. Además, cuando sufren deterioros localizados suelen ser sometidas a sellado de fisuras o a operaciones de parcheo que afectan el flujo libre de agua a través de la capa.

2.4.3. Refuerzo

Las sobrecapas de refuerzo en concreto asfáltico han constituido el método más generalizado para rehabilitar pavimentos asfálticos por cuanto, generalmente, representan un medio efectivo en costo para corregir las deficiencias superficiales y, simultáneamente, incrementar la capacidad estructural del pavimento. Sin embargo, no es raro que el comportamiento de las sobrecapas asfálticas haya sido deficiente. Los motivos para que ello suceda son variados:

- Inadecuada selección de la sobrecapa como método de rehabilitación.
- Escogencia de un tipo inapropiado de sobrecapa.
- Espesor insuficiente de la sobrecapa.
- Fallas en el diseño y en la elaboración de la mezcla.
- Deficiente reparación previa de las áreas deterioradas.

- Inadecuada consideración del fenómeno de reflexión de fisuras.
- Deficiencias en el proceso constructivo.

2.4.4. Reciclado

El reciclado consiste en la reutilización, generalmente luego de cierto tratamiento, de un material del pavimento que ha cumplido su finalidad inicial, el cual se emplea para construir una nueva capa en la misma o en otra carretera.

Existen diferentes maneras de clasificar el reciclado de pavimentos: por la temperatura a la cual se realiza, por la profundidad de pavimento involucrada en el proceso, por el lugar donde se realiza la operación de mezcla, etc. Para los propósitos de esta guía, se distinguirán dos clases generales de reciclado:

- Reciclado en planta en caliente.
- Reciclado en el sitio, el cual comprende tanto los procesos de reciclado superficial en caliente como los de reciclado en frío en el mismo lugar de las obras.

2.4.4.1 Reciclado en planta en caliente

Es el proceso por medio del cual se pulveriza, mediante fresado, un determinado espesor de una capa asfáltica, se transporta el material trozado a una planta, donde puede ser triturado y clasificado por su granulometría, y posteriormente es utilizado en la elaboración de una nueva mezcla en caliente, añadiendo materiales nuevos que incluyen agregados pétreos vírgenes, cemento asfáltico y un agente rejuvenecedor del asfalto del pavimento fresado.

4.4.4.2 Reciclado en frío en el sitio

El reciclado en frío en el sitio es un proceso de corrección de pavimentos con deficiencias estructurales, el cual consiste en la fragmentación y posterior reutilización de los materiales de la capa o capas superiores de un pavimento asfáltico en servicio, con o sin la adición de agregados pétreos nuevos o un agente de reciclado (o ambos) y agua, para conformar un nuevo material que es mezclado, colocado, compactado y curado en el mismo lugar, sin la adición de calor. Las estructuras recicladas en frío en el sitio presentan propiedades similares a las de las bases estabilizadas, razón por la cual deben ser cubiertas con una capa de desgaste.

2.4.5. Reconstrucción

Para los efectos de esta guía, se entiende por reconstrucción la remoción y el reemplazo parcial o total de la estructura del pavimento existente, conservando la explanación y el alineamiento de la vía. Constituye la opción más enérgica de rehabilitación, debiendo optarse por ella cuando la estructura está agotada, no tiene vida residual y presenta elevados índices de deterioro superficial, sintomáticos de la existencia de deformaciones permanentes no atribuibles a desplazamientos plásticos de las capas asfálticas por inestabilidad o insuficiencias de compactación, asociadas generalmente con abundantes ojos de pescado y fisuramientos de fatiga, que excluyen cualquier posibilidad del reciclado de las capas superiores o de un refuerzo con un tratamiento previo y espesores razonables. En este caso, lo más importante es determinar cuáles capas deben ser escarificadas y removidas, y evaluar la capacidad portante de la estructura remanente, cuya presencia debe ser aprovechada en el diseño de las obras de reconstrucción.

Figura 2.36: Pavimento asfáltico para reconstruir



Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

La reconstrucción del pavimento se puede realizar, bien colocando capas de comportamiento flexible, bien incorporando capas estabilizadas con aditivos que den a la nueva estructura un comportamiento semiflexible o semirrígido, o bien a través de la construcción de losas de concreto hidráulico, las cuales convierten el pavimento en una estructura de tipo rígido. Si las deformaciones del pavimento no son excesivas, también

puede resultar posible la construcción de un recubrimiento blanco (whitetopping), previa la renivelación de la calzada existente.

- Reconstrucción de tipo flexible.
- Reconstrucción de tipo semiflexible o semirrígido.
- Reconstrucción de tipo rígido.
- Recubrimiento blanco.

2.4.6. Corrección de fallas localizadas

Aun cuando el pavimento presente, como conjunto, una condición adecuada siempre está latente la aparición de algunos desperfectos localizados, algunos de ellos del tipo B que, en su mayoría, son de tipo funcional. Estos deterioros exigen reparaciones que usualmente no están ligadas con la capacidad estructural general de la calzada. Su origen se encuentra, más bien, en deficiencias constructivas y en condiciones locales particulares que el tránsito ayuda a poner en evidencia. Entre estos deterioros se pueden citar los agrietamientos motivados por motivos diferentes a la fatiga, los ojos de pescado localizados, las depresiones, las segregaciones, los desprendimientos y los afloramientos. (INVÍAS, 2008, pág. 263)

2.5. Procedimientos de construcción de métodos para rehabilitación de pavimentos flexibles

Tabla 2.2: Procedimiento de construcción del bacheo superficial con mezcla en caliente

Actividad			
Bacheo superficial con mezcla en caliente			
Descripción de la actividad			
Remoción y deshecho de la carpeta asfáltica deteriorada existente, en áreas reducidas aisladas, recompactación del material de base subyacente y la colocación y compactación de una nueva capa asfáltica en caliente en espesores no mayores a 10 cm, en coincidencia con los niveles de la superficie original.			
Cant	Mano de obra		Cant
1	Superintendente de obra		1
1	Operador		1
1	Chofer		1
3	Peones		1
Cant	Equipo		Cant
1	Camión volqueta $\leq 8 \text{ m}^3$		1
1	Compactador neumático o rodillo liso		1
1	Sierra corta pavimentos o martillos rompe asfaltos		1
1	Compresor de aire		1
1	Placa vibratoria		1
Cant	Unid	Materiales	Producción promedio por día
0,06	m^3	Mezcla asfáltica en caliente	24 $\text{m}^2/\text{día}$
0,8	l/m^2	Emulsión asfáltica ó Asfalto diluido	
			Unidad de medida
			m^2 de mezcla compactada
Procedimiento			
<ol style="list-style-type: none"> Colocar señales preventivas, dispositivos de seguridad que garanticen la seguridad de los trabajadores y el ordenamiento del tránsito vehicular sin riesgo de accidentes. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad industrial. Identificar las áreas deterioradas y proceder a delimitarlas con pintura dándoles forma rectangular o cuadrada. Demoler la carpeta asfáltica existente en el área demarcada empleado las sierras o los martillos rompe asfaltos comenzando dentro del perímetro demarcado. Removerlos fragmentos, cargarlos en el camión, transportar los escombros hasta las zonas autorizadas, descargarlos y distribuirlos uniformemente. Regularizar y recompactar con la plancha vibratoria la capa de base expuesta. Las paredes y fondo de la zona del bache, deben limpiarse mediante un barrido enérgico, que elimine todas las partículas. Impregnar con asfalto diluido o emulsión la superficie expuesta de la base, así como en los bordes verticales de la carpeta asfáltica existente. Colocar la mezcla asfáltica mediante rastrillos, con el espesor suelto necesario para que una vez compactada quede ligeramente sobre el nivel de la superficie de rodadura. Se deben utilizar, de preferencia, mezclas asfálticas de tipo CA 60-70 o CA 85-100. La compactación de deberá realizar con un rodillo neumático o liso. Alternativamente podrá usarse un rodillo manual. Complementar la compactación con placa vibratoria en las esquinas y áreas que son inaccesibles al rodillo. Verificar que no existan irregularidades en la superficie y corregirlas si es preciso agregando mezcla. Recoger todo material suelto que pudiera quedar. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados. 			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.3: Procedimiento de construcción del bacheo profundo

Actividad			
Bacheo profundo			
Descripción de la actividad			
Remoción y reemplazo del material de base y/o subbase bajo la carpeta asfáltica o su mejoramiento, en áreas relativamente reducidas y aisladas, seguida de la reposición de materiales apropiados y la colocación de una carpeta asfáltica.			
Cant	Mano de obra		Equipo
1	Superintendente de obra		1
1	Operador		1
1	Chofer		1
6	Peones		1
1			1
1			1
Cant	Unid	Materiales	Producción promedio por día
0,23	m ³	Material granular de base	18 m ² /día
0,31	m ³	Material granular de subbase	Unidad de medida
0,8	l	Emulsión asfáltica	m ²
0,06	m ³	Mezcla asfáltica	
Procedimiento			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar señales preventivas, dispositivos de seguridad que garanticen la seguridad de los trabajadores y el ordenamiento del tránsito vehicular sin riesgo de accidentes. 2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad industrial. 3. Identificar las áreas deterioradas y proceder a delimitarlas con pintura dándoles forma rectangular o cuadrada. 4. Demoler la carpeta asfáltica existente en el área demarcada empleado las sierras o los martillos rompe asfaltos comenzando dentro del perímetro demarcado. 5. Removerlos fragmentos, cargarlos en el camión, transportar los escombros hasta las zonas autorizadas, descargarlos y distribuirlos uniformemente. 6. Remover las capas de base y subbase, verificar si parte de estos materiales pueden ser reutilizados, mejorándolos con la adición de otros materiales (cementos, cal, otros). 7. Regularizar y recompactar con la plancha vibratoria la capa de subbase o subrasante expuesta. 8. Colocar el material granular nuevo seleccionado en capas que permitan su compactación adecuada, hasta alcanzar el nivel previsto para apoyar la carpeta asfáltica. 9. Las paredes y fondo de la zona del bache, deben limpiarse mediante soplado; las paredes deben quedar firmes y perfectamente limpias. 10. Impregnar con asfalto diluido o emulsión la superficie expuesta de la base, así como en los bordes verticales de la carpeta asfáltica existente. 11. Colocar la mezcla asfáltica mediante rastrillos, con el espesor suelto necesario para que una vez compactada quede ligeramente sobre el nivel de la superficie de rodadura. Se deben utilizar, de preferencia, mezclas asfálticas de tipo CA 60-70 o CA 85-100. 12. La compactación de deberá realizar con un rodillo neumático o liso. Alternativamente podrá usarse un rodillo manual. Complementar la compactación con placa vibratoria en las esquinas y áreas que son inaccesibles al rodillo. 13. Verificar que no existan irregularidades en la superficie y corregirlas si es preciso agregando mezcla. 14. Recoger todo material suelto que pudiera quedar. 15. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados. 			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.4: Procedimiento de construcción del sellado de fisuras y grietas

Actividad			
Sellado de fisuras y grietas			
Descripción de la actividad			
Limpieza, ruteado y subsiguiente sellado de fisuras con productos sellantes, altamente aditivos, que mantenga una consistencia elástica que pueda adaptarse a eventuales movimientos y se aplique en condición fluida.			
Cant	Mano de obra		Cant
1	Superintendente de obra		1
1	Operador		1
1	Chofer		1
6	Peones		1
			Equipo
			1
			1
			1
			1
			1
Cant	Unid	Materiales	Producción promedio por día
2,5	m ³	Asfalto rebajado	700 m/día
1,4	m ³	Emulsión asfáltica	
3,6	l	Asfalto modificado	Unidad de medida
0,01	ml	Mezcla asfáltica	m de fisuras selladas
1,1	m ²	Sellante	
0,0002	m ³	Arena fina	
Procedimiento			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. Se debe contar con la suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos. 2. El personal debe contar con los uniformes, cascos, chalecos reflectivos y todos los elementos de seguridad industrial. 3. Identificar las zonas de fisuras y grietas a sellar, procediendo a marcarlas directamente sobre el pavimento con yeso, tiza u otro material de color visible (preferiblemente blanco). 4. Previamente y dependiendo del espesor y el tipo de agrietamiento, se seleccionará el tipo de material más apropiado. 5. Realizar la limpieza de la superficie objeto de trabajo utilizando escobillado y un chorro de aire a presión, limpio y seco, generado por un compresor móvil. Tanto el espacio formado por la grieta, como el área adyacente a la misma, debe estar libre de polvo, humedad, arcillado de cualquier otro material suelto. 6. Aplicar el material sellante tomando especial cuidado de producir una adherencia efectiva del sellante con las paredes de la fisura y/o grieta. 7. Al tender el sellante sobre la grieta, no debe permitirse la formación de charcos o exceso de material sellante sobre la misma o que fluya por la superficie circundante. 8. El mezclado o preparación de las mezclas deberá realizarse por medio de equipos mecánicos adecuados que aseguren productos homogéneos y que sean muy maniobrables ya que es un trabajo que debe hacerse bastante rápido en la carretera. 9. El trabajo de sellado sólo se debe realizar cuando la temperatura ambiente sea superior a 5 °C e inferior a 30 °C. 10. El procedimiento para sellar grietas individuales y cavidades será igual, sin embargo, dependiendo del ancho de la fisura se utilizará uno u otro material: <ul style="list-style-type: none"> - Agrietamientos de hasta 6 mm: Se deberá colocar un riego de liga con emulsión asfáltica tipo CS mediante mangueras o las barras del camión distribuidor de asfalto en toda el área. - Agrietamientos de 6-20 mm: Se deberá colocar un riego de liga con emulsión asfáltica de curado lento o medio y como sellante asfalto modificado con polímeros. - Agrietamientos de 21-70 mm: Se colocará un riego de liga con emulsión asfáltica de curado lento o medio y de la mezcla selladora tipo arena-emulsión asfáltica o preferentemente del sellante consistente en asfalto modificado. - Agrietamientos superiores a 70 mm: Se colocará un riego de liga con emulsión asfáltica de curado lento o medio y el esparcido y compactación de la mezcla asfáltica en caliente. 11. Hacer la limpieza general del sitio de trabajo y los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a los depósitos de excedentes autorizados. 12. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados. 			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.5: Procedimiento de construcción del riego de imprimación

Actividad			
Riego de imprimación			
Descripción de la actividad			
Suministro y aplicación uniforme de una emulsión asfáltica o un asfalto líquido sobre una superficie granular terminada, previamente a la extensión de una capa asfáltica o un tratamiento bituminoso.			
Cant	Mano de obra		Cant
1	Superintendente de obra		1
3	Operador		1
1	Ayudante operador		1
3	Peones		1
			Camión tanque distribuidor de agua
Cant	Unid	Materiales	Producción promedio por día
0,8	1	Asfaltos diluidos MC o RC	8400 m ² /día
			Unidad de medida
			m ²
Procedimiento			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. Se debe contar con la suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos. 2. El personal debe contar con los uniformes, cascos, chalecos reflectivos y todos los elementos de seguridad industrial. 3. Se deberá remover todo material suelto o extraño con la barredora, en lugares inaccesibles a los equipos mecánicos, se permitirá el uso de escobas manuales. Detectar errores y corregirlos. 4. La superficie deberá ser humedecida, sin llegar a la saturación, previamente al riego de imprimación. La aplicación del ligante se hará de manera uniforme, tanto longitudinal como transversalmente, evitando la duplicación en las juntas transversales. La dosificación definitiva será resultado de los riegos iniciales de prueba, como referencia estos se encuentran entre 0,7-1,2 l/m². 5. En las zonas donde se presenten insuficiencias o excesos de material bituminoso, se corregirá la anomalía mediante la adición de ligante o agregado de protección, respectivamente. 6. Permitir que el asfalto cure y penetre por un período de 24 horas, no debe permitirse ningún tránsito sobre él. 7. Retirar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como fueron colocados. 			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.6: Procedimiento de construcción de la capa asfáltica de refuerzo

Actividad				
Capa asfáltica de refuerzo				
Descripción de la actividad				
Colocación de una sobrecarpeta de mezcla asfáltica en caliente, sobre el pavimento flexible existente, previo el tratamiento de los daños puntuales presentes y, en ocasiones, puede incluir el fresado de la carpeta asfáltica antigua y el tratamiento puntual de la capa de base granular.				
Cant	Mano de obra		Cant	Equipo
1	Superintendente de obra		1	Barredora autopropulsada
3	Operador		3	Camión volqueta $\geq 8 \text{ m}^3$
1	Ayudante operador		1	Camión distribuidor de asfaltos
3	Chofer		1	Terminadora autopropulsada
6	Peones		1	Compactador rodillo liso vibratorio
6			1	Compactador neumático
Cant	Unid	Materiales	Producción promedio por día	
1,1	m^3	Mezcla asfáltica en caliente	100 $\text{m}^3/\text{día}$	
0,7	l/m^2	Emulsión asfáltica SS	Unidad de medida	
			m^3	
Procedimiento				
Se debe considerar la ejecución de trabajos preliminares tales como:				
Bacheo asfáltico donde se considere apropiado restablecer las características de soporte del pavimento.				
Capa de nivelación superficial para mantener los espesores de la misma capa de rodadura constante.				
Fresado de la carpeta de rodadura, cuando se considere necesario por las altas irregularidades de la superficie, que no pueden ser corregidos con la capa de nivelación y/o bacheo.				
1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. Se debe contar con la suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos.				
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos, chalecos reflectivos y todos los elementos de seguridad industrial.				
3. Identificar las zonas a intervenir y proceder a delimitarlas.				
4. Preparar la superficie para aplicar el recapado asfáltico haciendo bacheo y sellos de fisuras y grietas, y efectuar la limpieza de la superficie a recapar haciendo un barrido cuidadoso hasta eliminar toda basura, polvo, barro y otros materiales sueltos. En algunos casos ha de requerirse el fresado de la carpeta asfáltica existente.				
5. Verificar las condiciones climáticas.				
6. Aplicar el riego de liga en proporciones que podrán variar desde 0,4 a 1,0 l/m^2 .				
7. Ejecutar la colocación de la capa asfáltica de refuerzo con la terminadora autopropulsada y luego compactar la mezcla extendida con cilindro vibratorio.				
8. Los procedimientos que se utilicen para realizar estos trabajos no deberán afectar, en forma alguna, otras áreas del pavimento, de las bermas y demás elementos de la vía no incluidos en el trabajo.				
9. Hacer la limpieza general del sitio de trabajo y los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a los depósitos de excedentes autorizados por la Supervisión.				
10. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.7: Procedimiento de construcción del fresado superficial de carpeta asfáltica

Actividad			
Fresado superficial de carpeta asfáltica			
Descripción de la actividad			
Obtención de un nuevo perfil longitudinal y transversal de un pavimento asfáltico existente, mediante el fresado en frío parcial o total de las capas asfálticas y el transporte del material resultante del mismo.			
Cant	Mano de obra		Equipo
1	Superintendente de obra		1
2	Operador		1
1	Ayudante operador		2
2	Chofer		1
4	Peones		
Cant	Unid	Materiales	Producción promedio por día
			2500 m ³ /día
			Unidad de medida
			m ² fresado en el espesor establecido
Procedimiento			
<ol style="list-style-type: none"> Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. Se debe contar con la suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos. El personal debe contar con los uniformes, cascos, chalecos reflectivos y todos los elementos de seguridad industrial. Identificar las zonas a intervenir y proceder a delimitarlas. Preparar la superficie haciendo un barrido cuidadoso para eliminar toda basura, polvo, barro y otros materiales sueltos. El fresado se efectuará sobre el área y espesor establecidos, paralelamente al eje de la carretera, cuidando de que el camión cisterna tenga la capacidad suficiente para proveer agua a la fresadora, minimizando las paradas del equipo. El material extraído como resultado del fresado, deberá ser transportado y acopiado en los lugares autorizados ya sea para su posterior reciclaje o para su disposición final en buzones aprobados por la parte ambiental. El trabajo de fresado se podrá realizar en varias capas, hasta alcanzar el espesor determinado debiendo quedar una superficie nivelada y sin fracturas. En la eventualidad de que al término de una jornada de trabajo no se complete el fresado en todo el ancho de la calzada, los bordes verticales, en sentido longitudinal y transversal, cuya altura supere 5 cm, se deberán suavizar de manera que no impliquen peligro para el tránsito automotor. Los procedimientos que se utilicen para realizar estos trabajos no deberán afectar, en forma alguna, otras áreas del pavimento, de las bermas y demás elementos de la vía no incluidos en el trabajo. Hacer la limpieza general del sitio de trabajo y los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a los depósitos de excedentes autorizados por la Supervisión. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados. 			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.8: Procedimiento de construcción del reciclado de pavimento en caliente en planta

Actividad			
Reciclado de pavimento en caliente en planta			
Descripción de la actividad			
Disgregación de las capas asfálticas por medios mecánicos y su utilización en la preparación de una mezcla densa en caliente, con la eventual adición de nuevos materiales pétreos, asfaltos, agentes rejuvenecedores, mejoradores de adherencia y la mezcla, extensión, compactación de la nueva capa asfáltica.			
Cant	Mano de obra		Cant
1	Superintendente de obra		1
2	Chofer		1
2	Operador		1
1	Ayudante operador		1
4	Peones		2
			1
			1
Cant	Unid	Materiales	Equipo
	m ³	Agregados	Equipo fresador
Variable según el diseño	1	Cemento asfáltico	Planta Tipo Tambor-mezclador
	1	Agente rejuvenecedor	Compactador rodillo liso vibratorio
	1	Aditivo mejorador de adherencia	Compactador neumático
	1	Asfaltos diluidos	Camión volqueta ≤ 8 m ³
			Terminadora autopropulsada
			Barredora autopropulsada
			Producción promedio por día
			variable
			Unidad de medida
			m ³
Procedimiento			
<ol style="list-style-type: none"> Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. Se debe contar con la suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos. El personal debe contar con los uniformes, cascos, chalecos reflectivos y todos los elementos de seguridad industrial. Previo a la ejecución del trabajo, se deberá haber establecido los tramos homogéneos de trabajo y obtenido para cada uno de ellos la caracterización de los materiales que constituyen el pavimento que será reciclado. La superficie a reciclar debe estar exenta de agua, vegetación, basuras, tierras, etc. Empleando la maquinaria para el proceso de escarificación y disgregado del pavimento en frío, se perfilará el pavimento en el número de capas y su espesor según se defina en el proyecto y se transportará los materiales recuperados para su posterior proceso en la planta recicladora de mezcla asfáltica en caliente. Para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente reciclada, se deberá realizar previamente un análisis de laboratorio de los materiales recuperados. Adicionalmente, deberán realizarse las pruebas a los agregados y asfaltos vírgenes, luego, se procederá a realizar el diseño de mezcla. El material recuperado, los áridos nuevos, los materiales asfálticos y aditivos que se empleen en la elaboración de las mezclas asfálticas, se mezclarán en las proporciones establecidas en el diseño, produciendo una mezcla homogénea y uniforme en planta. Cuando la mezcla se vaya a colocar en la misma vía de la cual se extrajo el pavimento para reciclar, o como refuerzo en un pavimento existente, se deberá efectuar los bacheos previos en sectores que correspondan a fallas de origen profundo, con el fin de evitar deficiencias en el soporte de la capa reciclada. Ejecutar la colocación de la capa asfáltica de refuerzo con la terminadora autopropulsada y luego compactar la mezcla extendida con cilindro vibratorio. Los procedimientos que se utilicen para realizar estos trabajos, no deberán afectar, en forma alguna, otras áreas del pavimento, de las bermas y demás elementos de la vía no incluidos en el trabajo. Hacer la limpieza general del sitio de trabajo y los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a los depósitos de excedentes autorizados por la Supervisión. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados, con lonas para evitar la contaminación del entorno o que se derramen. 			

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Alternativas para la rehabilitación de pavimentos flexibles

2.6.1. Sobrecapa delgada

Ejecutada en la restauración del pavimento, sobre el pavimento antiguo degradado, con el objetivo de impermeabilizar la superficie, sellar las aberturas existentes, sellar las fisuras existentes difiriendo su reflejo en las capas superiores de refuerzo. Puede ser aplicado con la finalidad de regularizar o nivelarla superficie deformada, generalmente es ejecutada en concreto asfáltico de granulometría fina.

Figura 2.37: Colocación de la sobrecapa asfáltica



Fuente: Guía para inspectores para la colocación de sobrecapas asfálticas

2.6.1.1 Carpeta de concreto asfáltico mezclado en caliente

Concreto asfáltico mezclado en caliente, mezcla ejecutada en la planta de asfalto adecuado, con características específicas, compuesta de agregados pétreos graduados, material de relleno (filler) y cemento asfáltico, mezclado esparcido y compactado en caliente. Puede ser empleado como revestimiento, regularización o refuerzo de pavimento.

El concreto asfáltico solamente deberá ser fabricado, transportado y aplicado cuando la temperatura ambiente sea superior a 10°C en ascenso.

Los materiales constituyentes del concreto asfáltico son los agregados pétreos graduados, agregados finos, material de relleno (filler) y ligante bituminoso, los cuales deben atender las siguientes especificaciones:

2.6.1.1.1 Agregados

Agregado grueso

El agregado grueso será piedra o grava triturada. El agregado grueso estará constituido de fragmentos sanos, duros, durables, libre de terrones de arcilla y sustancias nocivas, debe presentar las siguientes características:

- 1) El porcentaje de desgaste Los Ángeles de los agregados gruesos no será mayor que 40% a 500 rpm, al ser ensayado por el método AASHTO T-96.
- 2) Los agregados gruesos, al ser sometidos a cinco ensayos alternativos de resistencia, mediante sulfato de sodio, empleando el método AASHTO T-104, no podrá tener una pérdida de peso mayor que 12%.

Agregado fino

La porción de agregados que pasa el tamiz N° 10 se designa como agregado fino, que está conformado por arena natural, cerniduras de piedra, o en ayuda una combinación de las mismas.

Solamente se podrá utilizar cernidura de piedra calcárea cuando se emplee una cantidad igual de arena natural.

Los agregados finos se compondrán de granos angulares, limpios, compactos, de superficie rugosa carentes de terrones de arcilla y otras sustancias inconvenientes, tienen que presentar las siguientes características:

- 1) El ensayo de equivalente de arena, de acuerdo al método AASHTO T-176 deberá dar mayor que 45%.
- 2) Estos materiales no deberán acusar un hinchamiento mayor que 1,5% determinado por el método AASHTO T-101.
- 3) Cuando se utilice grava o cantos rodados triturados no menos del 90% en peso de las partículas retenidos por el tamiz n° 4, deberá presentar por lo menos una cara fracturada.

Material de relleno (filler)

Cuando sea necesario utilizar material de relleno (Filler), constituido por materiales finamente divididos, inertes en relación de los demás componentes de la mezcla, no plásticos, tales como polvo calcáreo, roca dolomítica, cemento portland, etc., con las exigencias granulométricas. (ABC, 2011, pág. 5-46)

2.6.1.1.2 Dosificación Marshall de las mezclas

- Porcentaje de vacíos → 3 a 5
- Relación bitumen-vacíos → 75-82
- Estabilidad mínima 1500 lb. → (75 golpes)
- Fluencia 1/100" → 8-16
- Resistencia remanente → min. 85%

2.6.2. Tratamientos superficiales dobles

2.6.2.1 Definición de tratamientos superficiales

Los tratamientos superficiales se definen como un riego de ligante, normalmente emulsión asfáltica de rompimiento rápido convencional o modificada, seguido de una cobertura de agregados de tamaño uniforme.

Un tratamiento superficial no tiene capacidad estructural, su capacidad está orientada hacia la funcionalidad. La función principal es proveer una superficie estable y antideslizante en cualquier tipo de clima, siendo además una capa sellante, resistente a la infiltración del agua, que protege las capas subyacentes.

Las características principales de un tratamiento superficial son: no agrega resistencia estructural, provee una superficie de rodadura de características similares a las de un pavimento flexible, elimina la emisión de polvo y protege la estructura de la base y sub-rasante (impermeabiliza).

La durabilidad de un tratamiento superficial depende de varios factores, entre ellos: intensidad del tránsito, condiciones del pavimento o base existente, estructura del pavimento existente (espesores y materiales presentes), condiciones climáticas, existencia

y estado de los drenajes, materiales utilizados, metodología constructiva empleada, control de calidad y maquinaria empleada en el proceso constructivo.

2.6.2.2 Tipos de tratamientos superficiales

2.6.2.2.1 Tratamiento superficial simple

Un tratamiento superficial simple se define como una aplicación única de asfalto o emulsión asfáltica a cualquier superficie asfáltica o granular (nueva o existente), seguida de una capa de agregado de tamaño uniforme (variable dependiendo de las condiciones de tránsito esperadas). El espesor de este tratamiento es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del agregado.

Figura 2.38: Tratamiento superficial simple (A: árido y L: ligante)



Fuente: Elaboración propia.

2.6.2.2.2 Tratamiento superficial doble

Son dos riegos alternados y uniformemente distribuidos de ligante bituminoso y agregado sobre una superficie acondicionada previamente. El tamaño medio del agregado de cada distribución sucesiva es la mitad o menos del tamaño medio de la capa precedente. El espesor total, es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del árido de la primera aplicación.

Figura 2.39: Tratamiento superficial doble (A: árido y L: ligante)

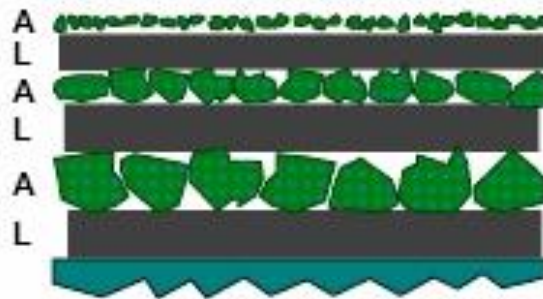


Fuente: Elaboración propia.

2.6.2.2.3. Tratamiento superficial múltiple

Un tratamiento superficial múltiple corresponde a dos o más tratamientos superficiales simples colocados uno sobre otro. En tratamientos superficiales múltiples, el proceso se repite para una segunda e incluso una tercera vez, con el tamaño del agregado descendiendo en cada aplicación en aproximadamente la mitad del tamaño de la capa anterior. (Hernández et al., 2016, pág. 37)

Figura 2.40: Tratamiento superficial múltiple (A: árido y L: ligante)



Fuente: Elaboración propia.

2.6.2.3 Procedimiento de construcción

Los procedimientos de construcción para los tratamientos múltiples son, esencialmente, los mismos que para los tratamientos simples, exceptuando que el proceso se repite una o dos veces. El procedimiento para un tratamiento doble consiste de los siguientes pasos:

- Ubicación de la primera aplicación de asfalto.
- Ubicación de la primera aplicación de agregado.
- Aplanamiento de la primera capa de agregado.
- Ubicación de la segunda capa de asfalto.
- Ubicación de la segunda capa de agregado.
- Aplanamiento de la segunda capa de agregado.

Debiera haber una imprimación o vulcanización apropiada, entre cada tratamiento.

Figura 2.41: Distribución de los agregados



Fuente: Publicación especial “Tratamientos superficiales como alternativa en rutas de lastre”, Programa de Infraestructura del Transporte.

2.6.2.3.1 Controles

Durante la ejecución de la obra se deben efectuar los controles siguientes:

- Condiciones climáticas.

Es ideal un clima cálido, seco. No se debe trabajar si la temperatura ambiente es menor de 10 °C para emulsiones asfálticas y 15 °C para cementos asfálticos y cortados, o si la temperatura superficial es menor de 21 °C. No debe trabajarse si hay tiempo neblinoso o posibilidades de lluvia.

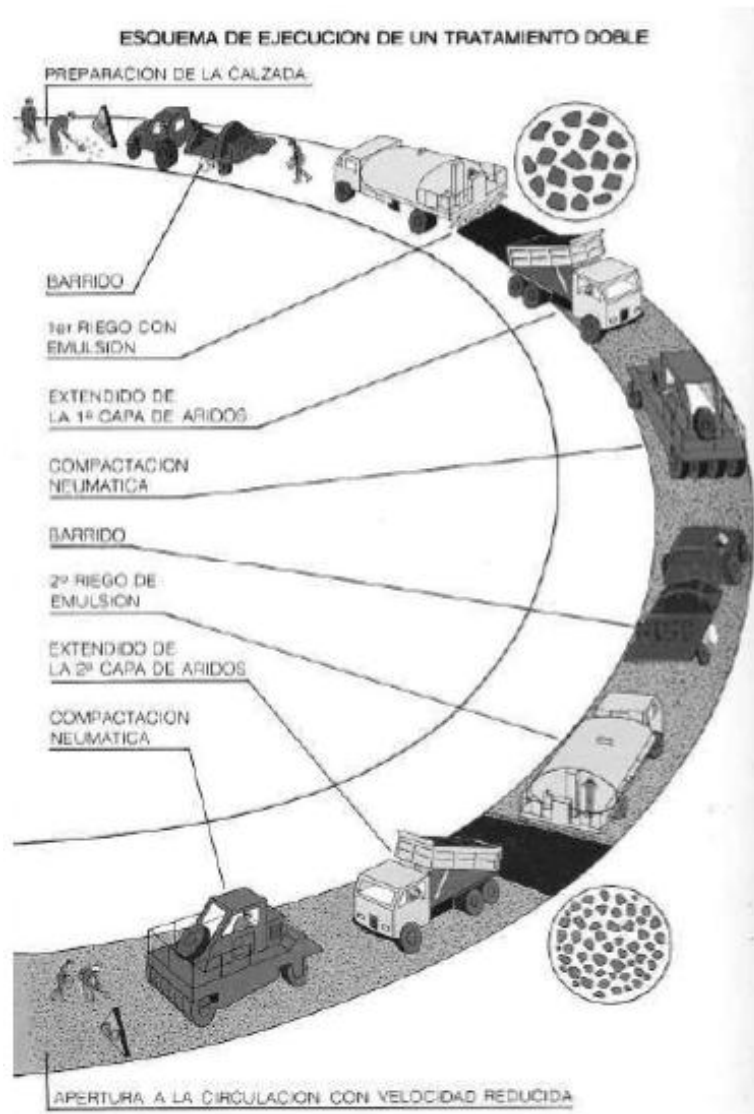
- Condiciones de la superficie.

La superficie deberá estar limpia, libre de materias extrañas y secas, sin acumulaciones de bitumen correspondiente a la imprimación o liga.

- Equipos.

Todas las partes de los equipos deben examinarse de modo de tener la certeza que están en buenas condiciones de trabajo. Se debe verificar que la barra regadora esté colocada a la altura correcta para el traslape adecuado y que todas las boquillas estén limpias y en el ángulo adecuado. (Pacheco, 2013, pág. 58)

Figura 2.42: Procedimiento de construcción del tratamiento superficial doble



Fuente: Pacheco Núñez M. H. (2013). Texto Guía de la Materia de Carreteras II. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Bolivia.

CAPÍTULO III
CARACTERIZACIÓN, DISEÑO Y CÁLCULOS

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN, DISEÑO Y CÁLCULOS

3.1. Ensayos de caracterización de los agregados

El agregado grueso, medio y fino fueron obtenidos de la Chancadora Charajas. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Hormigón de la UAJMS.

3.1.1. Granulometría

3.1.1.1. Granulometría de la grava (3/4")

Se trabajó con los siguientes pasos:

- En el caso de la grava se pesa seca en una cantidad de 5000 gr para cuartearla en el equipo del laboratorio.
- Una vez realizado esto se puso por 10 minutos a tamizar en el proctor, para luego usar un cepillo metálico para destrabar las piedras insertadas en los tamices.
- Finalmente se puso el agregado retenido en cada tamiz en bandejas para posteriormente ser pesadas cada una de ellas.

Figura 3.1: Granulometría del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

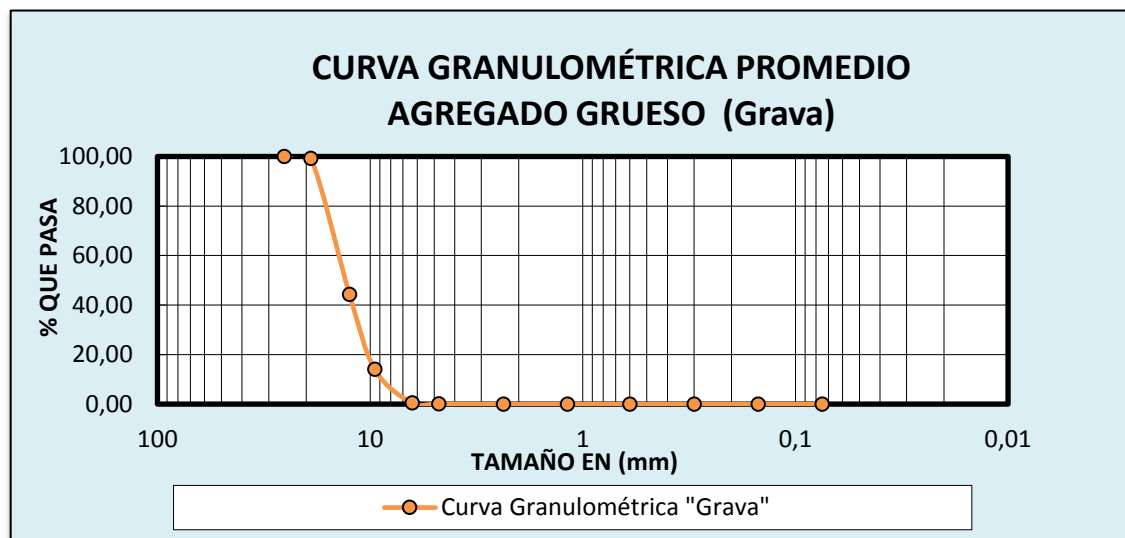
A continuación, se presenta un resumen de los valores obtenidos en laboratorio en conjunto con su gráfica resultante.

Tabla 3.1: Resumen de la granulometría de la grava

Peso total (gr)		5000
Tamices	Tamaño (mm)	% que pasa del total
1"	25,4	100,00
3/4"	19,0	99,25
1/2"	12,5	44,34
3/8"	9,50	14,02
1/4"	6,35	0,46
Nº4	4,75	0,13
Nº8	2,36	0,00
Nº16	1,18	0,00
Nº30	0,60	0,00
Nº50	0,30	0,00
Nº100	0,15	0,00
Nº200	0,075	0,00
BASE	-	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.1: Curva granulométrica promedio del agregado grueso (3/4")



Fuente: Elaboración propia.

3.1.1.2 Granulometría de la gravilla (3/8")

Se trabajó con los siguientes pasos:

- En el caso de la gravilla se pesa seca en una cantidad de 3000 gr para cuartearla en el equipo del laboratorio.
- Una vez realizado esto se puso por 10 minutos a tamizar en el proctor, para luego usar un cepillo metálico para destrabar las piedras insertadas en los tamices.
- Finalmente se puso el agregado retenido en cada tamiz en bandejas para posteriormente ser pesadas cada una de ellas.

Figura 3.2: Granulometría del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

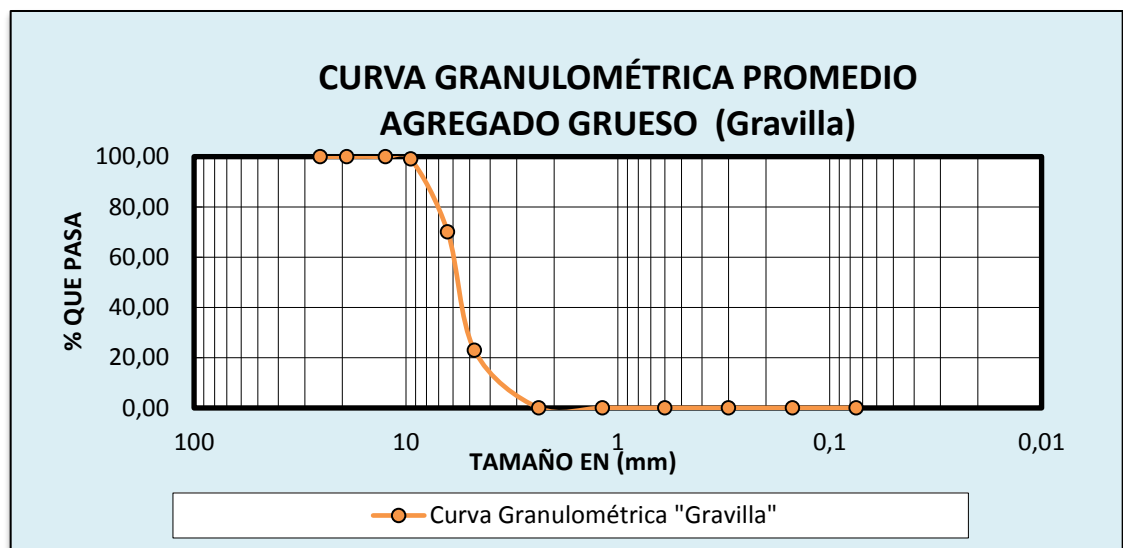
A continuación, se presenta un resumen de los valores obtenidos en laboratorio en conjunto con su gráfica resultante.

Tabla 3.2: Resumen de la granulometría de la gravilla

Peso total (gr)		3000
Tamices	Tamaño (mm)	% que pasa del total
1"	25,4	100,00
3/4"	19,0	100,00
1/2"	12,5	99,92
3/8"	9,50	99,06
1/4"	6,35	70,05
N°4	4,75	22,96
N°8	2,36	0,00
N°16	1,18	0,00
N°30	0,60	0,00
N°50	0,30	0,00
N°100	0,15	0,00
N°200	0,075	0,00
BASE	-	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.2: Curva granulométrica promedio del agregado gravilla (3/8")



Fuente: Elaboración propia.

3.1.1.3 Granulometría de la arena

Se realizó con el siguiente procedimiento:

- Para su realización primero se pesó 1000 gr de la arena seca que se encuentre sin grumos.
- Se ordena los tamices desde el de “1” hasta el tamiz n° 200 verificando que se encontrarán con su respectiva tapa y base.
- Luego se acudió al proctor para tamizar mecánicamente por 10 minutos y finalmente se pesa lo retenido en cada tamiz con la ayuda de varias bandejas y un cepillo para evitar pérdidas.

Figura 3.3: Granulometría del agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

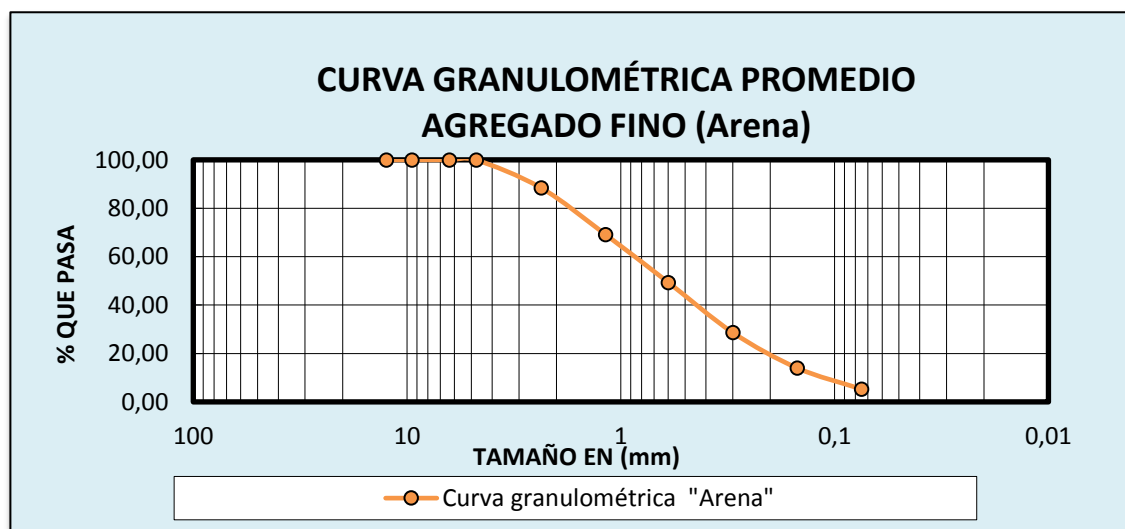
A continuación, se presenta un resumen de los valores obtenidos en laboratorio en conjunto con su gráfica resultante.

Tabla 3.3: Resumen de la granulometría de la arena

Peso total (gr)		1000
Tamices	Tamaño (mm)	% que pasa del total
1/2"	12,5	100,00
3/8"	9,50	100,00
1/4"	6,35	100,00
N°4	4,75	99,93
N°8	2,36	88,38
N°16	1,18	69,16
N°30	0,60	49,35
N°50	0,30	28,68
N°100	0,15	14,04
N°200	0,075	5,28
BASE	-	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.3: Curva granulométrica promedio del agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

Al analizar se puede deducir que la granulometría tanto de la grava, gravilla y arena es apta para su uso en mezclas asfálticas.

3.1.2. Peso específico

3.1.2.1 Peso específico de la grava (3/4")

Se contempló para observar las características físicas del agregado ejecutando el siguiente procedimiento:

- Se inicia saturando 6000 gr totalmente por tres días.
- Llegando al tercero se secó superficialmente una cantidad de 5000 gr que fueron sumergidos en una balanza con canastillo sumergido para obtener su peso en este estado.
- Finalmente, esta muestra fue llevada al horno por 24 horas y se hizo la lectura de su peso con tales cambios a los que fue expuesta.

Figura 3.4: Saturación de la grava



Fuente: Elaboración propia.

Se puede mostrar los siguientes resultados:

Tabla 3.4: Resumen del peso específico de la grava (3/4")

Determinación	Promedio
P. E. a granel (gr/cm ³)	2,72 gr/cm ³
P. E. saturado con sup. seca (gr/cm ³)	2,61 gr/cm ³
P. E. aparente (gr/cm ³)	2,65 gr/cm ³
(%) Porcentaje de absorción	1,45 %

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que es un agregado denso, pesado, con un bajo porcentaje de absorción y bueno para trabajar.

3.1.2.2 Peso específico de la gravilla (3/8")

Se contempló para observar las características físicas del agregado ejecutando el siguiente procedimiento:

- Se inicia saturando 6000 gr totalmente por tres días.
- Llegando al tercero se secó superficialmente una cantidad de 5000 gr que fueron sumergidos en una balanza con canastillo sumergido para obtener su peso en este estado.
- Finalmente, esta muestra fue llevada al horno por 24 horas y se hizo la lectura de su peso con tales cambios a los que fue expuesta.

Figura 3.5: Lectura del peso en la balanza con canastillo



Fuente: Elaboración propia.

Se puede mostrar los siguientes resultados:

Tabla 3.5: Resumen del peso específico de la gravilla (3/8")

Determinación	Promedio
P. E. a granel (gr/cm ³)	2,52 gr/cm ³
P. E. saturado con sup. seca (gr/cm ³)	2,57 gr/cm ³
P. E. aparente (gr/cm ³)	2,64 gr/cm ³
(%) Porcentaje de absorción	1,75 %

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.3 Peso específico de la arena

Se realizó el ensayo con el siguiente procedimiento:

- Con 3 días de anticipación se saturó totalmente 1 kg de arena. Pasado esos días se dispuso a secarla parcialmente con una secadora para luego pesar 500 gr de ésta e introducirla en el matraz y pesarla nuevamente.
- Una vez realizado esto se procede a llenar hasta los 500 ml con agua sacando todos los vacíos posibles golpeando suavemente con la mano.
- Finalmente se puso el contenido del matraz en una bandeja, llevó al horno por 24 horas y se hizo la lectura de la muestra en seco.

Figura 3.6: Eliminación de vacíos de la muestra



Fuente: Elaboración propia.

Se puede mostrar los siguientes resultados:

Tabla 3.6: Resumen del peso específico de la arena

Determinación	Promedio
P. E. a granel (gr/cm ³)	2,55 gr/cm ³
P. E. saturado con sup. seca (gr/cm ³)	2,65 gr/cm ³
P. E. aparente (gr/cm ³)	2,82 gr/cm ³
(%) Porcentaje de absorción	3,75 %

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Desgaste de los ángeles

3.1.3.1 Desgaste de los ángeles de la grava (3/4")

Proporcionará un índice de calidad del agregado al desgaste, producido por una combinación de acciones que incluye el impacto, rozamiento superficial y desintegración en una muestra de agregado, en la máquina de los ángeles. Para determinar si este es lo suficientemente duro para producir una mezcla resistente y apta para diseñar.

De acuerdo a la granulometría del agregado grueso y la norma ASTM C-131 se realizó el ensayo con una gradación de tipo B de la siguiente manera:

- Se trabajó con el agregado retenido en el tamiz de 1/2" del ensayo de la granulometría completando dicha muestra a los 2500 gr solicitados tamizando el faltante, así también se hizo para los 2500 gr del tamiz de 3/8".
- Luego se introdujo la muestra completa de ambos tamices en la máquina de los Ángeles con 11 esferas y 500 revoluciones durante 15 minutos.
- Se cernió por el tamiz N° 12, se pesó y llevó al horno por 24 horas para finalmente pesar dicha muestra nuevamente.

Figura 3.7: Introduciendo la grava a la máquina de desgaste de los ángeles



Fuente: Elaboración propia.

Se puede mostrar los siguientes resultados:

Tabla 3.7: Resultados del desgaste de los ángeles de la grava (3/4")

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
B	5000	3731,4	25,37	35% Max

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.2 Desgaste de los ángeles de la gravilla (3/8")

Para la gravilla se sigue el mismo procedimiento que para la grava a diferencia que esta muestra es de los tamices de N° 4 y N° 8, siendo una gradación de tipo D trabajando con 6 esferas a 500 revoluciones por 15 minutos, basándose en la misma norma.

Figura 3.8: Alistando la máquina de desgaste de los ángeles



Fuente: Elaboración propia.

Se puede mostrar los siguientes resultados:

Tabla 3.8: Resultados del desgaste de los ángeles de la gravilla (3/8")

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
D	5000	3638,8	27,22	35% Max

Fuente: Elaboración propia.

En vista de los resultados obtenidos tanto en el ensayo para la grava y de la gravilla se verifica que el agregado es apto para usar en la mezcla.

3.1.4. Equivalente de arena

Este se realizó netamente para determinar las proporciones presentes en el agregado fino de arena y arcilla basándose en la norma ASTM D-2419 trabajando con el siguiente procedimiento:

- Se tomó una muestra de 1000 gr y en una probeta se vertió aproximadamente 350 gr. Añadiendo posteriormente 4" de cloruro de calcio combinado con agua destilada a la probeta, dejando reposar por 5 minutos.

- Para eliminar los vacíos se agitó vigorosamente durante 30 segundos, mostrando luego una ligera separación de la arena con la arcilla.
- Después de dos días se leyeron los resultados en la probeta, este proceso se hizo para 3 muestras.

Figura 3.9: Agitando y eliminando vacíos de la muestra



Fuente: Elaboración propia.

Se puede mostrar el siguiente resultado:

Tabla 3.9: Resultado del equivalente de arena

Equivalente de arena (%)	Norma
68,45	> 50%

Fuente: Elaboración propia.

Entonces se afirma que el agregado fino es apto para su uso en una mezcla asfáltica.

3.1.5. Peso unitario

3.1.5.1. Peso unitario de la grava (3/4")

Se realizó el ensayo con el siguiente procedimiento:

- Se inició pesando el molde, después el molde más agua, el cual nos sirvió para calcular el volumen del mismo, dando un resultado de 9885.90 cm^3 .
- Luego se pesó el molde más la muestra suelta.
- Finalmente se pesó el molde más la muestra compactada, donde con la ayuda de una varilla se lo compactó en 3 capas cada una a 25 golpes, el cual al final se lo niveló con la misma varilla.

Figura 3.10: Compactando la muestra



Fuente: Elaboración propia.

Se puede mostrar el siguiente resultado:

Tabla 3.10: Resultado del peso unitario de la grava (3/4")

Determinación	Promedio
Peso unitario suelto (gr/cm^3)	1,39
Peso unitario compactado (gr/cm^3)	1,49

Fuente: Elaboración propia.

3.1.5.2. Peso unitario de la gravilla (3/8")

Se realizó el ensayo con el siguiente procedimiento:

- Se inició pesando el molde, después el molde más agua, el cual nos sirvió para calcular el volumen del mismo, dando un resultado de 9885.90 cm^3 .
- Luego se pesó el molde más la muestra suelta.
- Finalmente se pesó el molde más la muestra compactada, donde con la ayuda de una varilla se lo compactó en 3 capas cada una a 25 golpes, el cual al final se lo niveló con la misma varilla.

Figura 3.11: Vaciando la muestra en el molde



Fuente: Elaboración propia.

Se puede mostrar el siguiente resultado:

Tabla 3.11: Resultado del peso unitario de la gravilla (3/8")

Determinación	Promedio
Peso unitario suelto (gr/cm^3)	1,31
Peso unitario compactado (gr/cm^3)	1,43

Fuente: Elaboración propia.

3.1.5.3. Peso unitario de la arena

Se realizó el ensayo con el siguiente procedimiento:

- Se inició pesando el molde, después el molde más agua, el cual nos sirvió para calcular el volumen del mismo, dando un resultado de 3033.19 cm^3 .
- Luego se pesó el molde más la muestra suelta.
- Finalmente se pesó el molde más la muestra compactada, donde con la ayuda de una varilla se lo compactó en 3 capas cada una a 25 golpes, el cual al final se lo niveló con la misma varilla.

Figura 3.12: Pesando la muestra en la balanza



Fuente: Elaboración propia.

Se puede mostrar el siguiente resultado:

Tabla 3.12: Resultado del peso unitario de la arena

Determinación	Promedio
Peso unitario suelto (gr/cm^3)	1,61
Peso unitario compactado (gr/cm^3)	1,79

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. Partículas largas y achatadas

3.1.6.1 Partículas largas y achatadas de la grava (3/4")

Se realizó el ensayo con el siguiente procedimiento:

- Primeramente, se pesó una muestra de 1000 gr.
- Luego se tamizó en un juego de tamices (1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4"), donde después se procedió a pesar cada una de las muestras retenidas de cada tamiz.
- Finalmente, cada una de las muestras se aplicó en los calibradores tanto de alargamiento como aplanamiento, cada uno en su respectiva abertura, donde luego se pesó lo retenido y lo que pasa.

Figura 3.13: Calibrador de alargamiento



Fuente: Elaboración propia.

Se puede mostrar el siguiente resultado:

Tabla 3.13: Resultado de las partículas largas y achatadas de la grava (3/4")

Determinación	Total
Índice de alargadas (%)	9,89
Índice de lajas (%)	9,73

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6.2 Partículas largas y achatadas de la gravilla (3/8")

Se realizó el ensayo con el siguiente procedimiento:

- Primeramente, se pesó una muestra de 1000 gr.
- Luego se tamizó en un juego de tamices (1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4"), donde después se procedió a pesar cada una de las muestras retenidas de cada tamiz.
- Finalmente, cada una de las muestras se aplicó en los calibradores tanto de alargamiento como aplanamiento, cada uno en su respectiva abertura, donde luego se pesó lo retenido y lo que pasa.

Figura 3.14: Calibrando la muestra en aplanamiento y alargamiento



Fuente: Elaboración propia.

Se puede mostrar el siguiente resultado:

Tabla 3.14: Resultado de las Partículas largas y achatadas de la gravilla (3/8")

Determinación	Total
Índice de alargadas (%)	9,86
Índice de lajas (%)	8,52

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Ensayos de caracterización del cemento asfáltico convencional (85-100)

Como en la universidad se cuenta con los equipos disponibles en el laboratorio de asfaltos, entonces se procedió a realizar la caracterización del asfalto convencional 85-100 Betunel de industria brasilera (obtenidos de SE.DE.CA), mediante los ensayos de peso específico, punto de inflamación, penetración, ductilidad, punto de ablandamiento, película delgada y viscosidad, que se describen a continuación.

3.2.1. Peso específico del asfalto

Se realizó el ensayo en base al siguiente procedimiento:

- Se calentó el asfalto hasta los 100 °C se encuentre diluido a fuego bajo evitando así que este se requeme y pierda sus propiedades.
- Se vertió en un vaso precipitado y se dejó reposar durante 30 minutos pesar.
- Se terminó de llenar el vaso con agua destilada y sumergió en baño maría durante 30 minutos más.
- Finalmente se sacó, seco el vaso por fuera y peso la muestra para determinar el peso específico.

Figura 3.15: Reposo de las muestras durante 30 min.



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo el siguiente resultado observando que el asfalto es apto para el uso en mezclas asfálticas:

Tabla 3.15: Resultado de la penetración asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Peso Específico	gr/cm ³	1,031	0,991	1,051	1,024	1	1,05

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Punto de inflamación del asfalto

Se realizó de la siguiente manera:

- Inicialmente se conectó el equipo en un mesón firme a nivel, y se montó el termómetro cuidadosamente para no romperlo.
- Se dispuso a calentar el asfalto en una bandeja hasta los 100 °C y vertió en la copa de Cleveland hasta el punto donde en el que la parte superior del menisco quedó en la línea de llenado.
- Colocando en seguida la copa en su posición correspondiente en el equipo y espero hasta que el asfalto subiera los 232 °C establecido como mínimo.
- A continuación, se aplicó la llama de ensayo con la ayuda de fósforos, registrando como punto de inflamación aquel en cuyo instante se generó el anillo azul de fuego.

Figura 3.16: Ajustando el termómetro para el punto de inflamación



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo el siguiente resultado observando que el asfalto es apto para el uso en mezclas asfálticas:

Tabla 3.16: Resultado del punto de inflamación asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	252	254	250	252	232	-

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Penetración del asfalto

Este ensayo fue realizado con el siguiente procedimiento:

- Inicialmente se calentó el asfalto hasta los 100 °C a bajo fuego para evitar que este se requeme y pierda sus propiedades.
- Con la ayuda de tres moldes se vertió en ellos el asfalto uniformemente a una altura de 1 cm para cada uno respectivamente.
- Se dejó enfriar durante 30 minutos a temperatura ambiente (entre los 20 y 30°C), para luego sumergirlo en baño maría a 25 °C durante otros 30 minutos.
- Se montó el equipo de penetración ajustando la aguja y verificando que el penetrómetro se encuentre en 0.
- Una vez montado el equipo de penetración se aproximó la aguja hasta que tocó superficialmente la muestra, y se soltó la aguja en el mismo instante en que se inició el cronometro durante un tiempo de 5 segundos, y anotar la distancia en decimas de milímetro letrada en el penetrómetro.
- En anterior paso se realizó para la misma muestra en tres diferentes puntos distanciados a 1 cm del punto inicial.

Figura 3.17: Ajuste de la aguja para ensayar la penetración



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo el siguiente resultado observando que el asfalto es apto para el uso en mezclas asfálticas:

Tabla 3.17: Resultado de la penetración asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Penetración	0,1 mm	88	86	85	86	85	100

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Ductilidad del asfalto

Se trabajó con el siguiente procedimiento:

- Inicialmente se conectó el equipo de ductilidad para que marque los 25 °C del agua en su interior, y verificando que su lector se encuentre en cero.
- Se calentó el asfalto hasta los 100 °C.
- Mientras el asfalto calentaba se iba untando de vaselina y empolvado superficialmente los moldes.

- Una vez realizado esto, se vertió el asfalto con sumo cuidado en los moldes para no derramar en los bordes del mismo y dejó enfriar.
- Se sumergió los moldes en baño maría durante 30 minutos, luego de esto se sacó, secó y limpio de los restos de vaselina y talco.
- Cada uno de los moldes se montó en el equipo e inició el interruptor del lector el cual se observó hasta que rompió el asfalto sin caer a la base y anotó dicho valor lecturado en ese instante.

Figura 3.18: Vertiendo el asfalto en los moldes



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo el siguiente resultado observando que el asfalto es apto para el uso en mezclas asfálticas:

Tabla 3.18: Resultado de la ductilidad asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm	104	113	114	110	100	-

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Punto de ablandamiento del asfalto

Para realizarlo con éxito se siguió el siguiente procedimiento:

- Inicialmente se calentó el asfalto hasta los 100 °C.
- Mientras el asfalto calentaba se iba untando de vaselina y empolvado superficialmente los moldes sobre una base de vidrio.
- Una vez realizado esto, se vertió el asfalto con sumo cuidado en los moldes para no derramar en los bordes del mismo y dejó enfriar.
- En un vaso de precipitado se llenó de agua hasta los 2000 ml y se montó el equipo de anillo de bola con el asfalto para introducirlo después en dicho vaso.
- Se sumergió en agua hasta los 5 °C manteniendo la temperatura con hielo en una fuente.
- Para finalizar se llevó a baño maría a fuego fuerte, controlando con un termómetro en todo momento para lecturar la temperatura en el instante que cayeran las bolas a la base del vaso de precipitado.

Figura 3.19: Controlando la temperatura para el punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo el siguiente resultado observando que el asfalto es apto para el uso en mezclas asfálticas:

Tabla 3.19: Resultado del punto de ablandamiento asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Punto de ablandamiento	°C	44,0	46,0	45,0	45	41	53

Fuente: Elaboración propia.

3.2.6. Película delgada del asfalto

Se trabajó con el siguiente procedimiento:

- Primeramente, se pesó los platillos circulares.
- Se calentó el asfalto a 100 °C.
- Luego colocamos las muestras en los platillos circulares, donde después los pesamos.
- Se reguló el horno a una temperatura de 163 °C (325°F) y colocamos las muestras en su interior durante 5 horas.
- Se finalizó sacando las muestras, se dejó enfriar y se pesó calculando la pérdida en peso.

Figura 3.20: Pesando los platillos circulares



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo el siguiente resultado observando que el asfalto es apto para el uso en mezclas asfálticas:

Tabla 3.20: Resultado de la película delgada del asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Película delgada	gr	0,8	0,7	1,0	1	0	1

Fuente: Elaboración propia.

3.2.7. Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C del asfalto

Se trabajó con el siguiente procedimiento:

- Primeramente, se calentó el asfalto a 100 °C.
- Luego llenamos el equipo con el asfalto, de la misma manera con el aceite el cual medimos la temperatura.
- Colocamos los frasquitos en dirección recta para que caiga el asfalto.
- Finalmente llegando a la temperatura deseada, se dejó caer el asfalto y con la ayuda de un cronometro se midió el tiempo que tarda en caer.

Figura 3.21: Observando la caída del asfalto y controlando el tiempo



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo el siguiente resultado observando que el asfalto es apto para el uso en mezclas asfálticas:

Tabla 3.21: Resultado de la Viscosidad Saybolt-Furol del asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras		Resultado	Especificaciones	
		1	2		Mínimo	Máximo
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C	s	389	395	392	85	-

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Caracterización y diseño de una mezcla asfáltica

3.3.1. Diseño granulométrico- método Marshall (ASTM D-3515)

Con el objeto de hacer un buen diseño es que se hizo tres granulometrías para 5000 gr tanto de la arena, grava y gravilla, de manera que estos resulten representativos para el diseño.

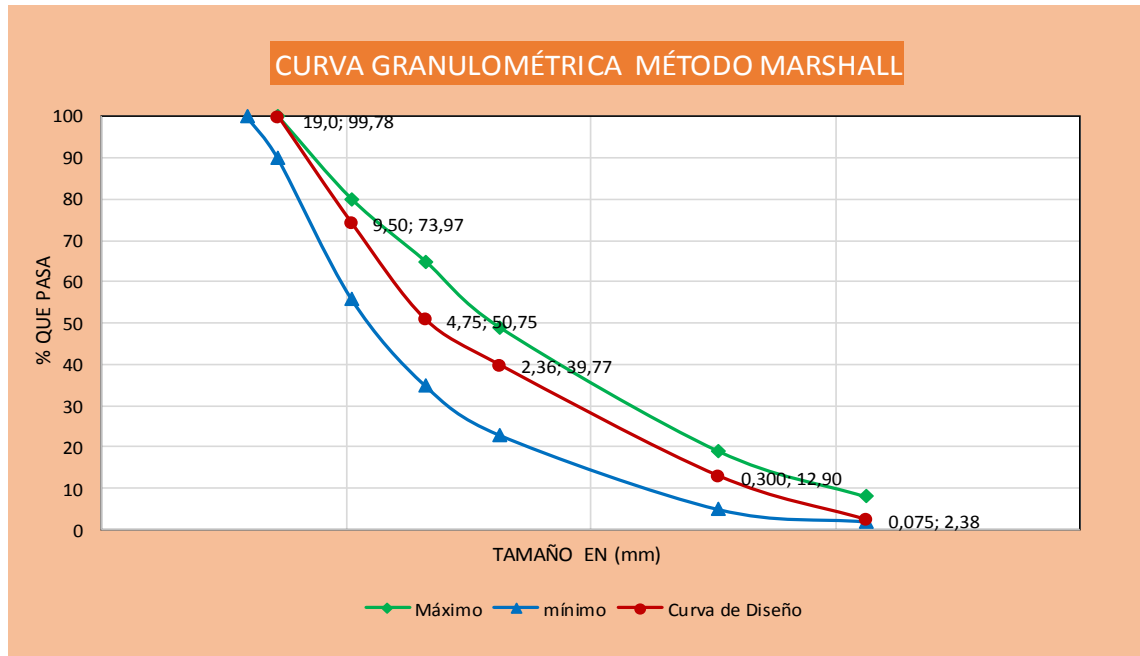
Se fue haciendo variar los valores de dosificación poco a poco de manera de buscar los valores que cumplan con la especificación impuesta por la norma. No dejando de lado el hecho que para producir una buena mezcla esta debe contener un mayor porcentaje de material fino, un medio de la grava y el menor correspondiente a la gravilla. Determinando un 30 % de grava, un 25 % de gravilla y un 45 % de arena.

Tabla 3.22: Curva de dosificación ASTM

Tamices	Tamaño (mm)	Dosificación						Curva de dosificación				Especificaciones	
		Grava *	Gravilla *	Arena *	Grava	Gravilla	Arena	Peso ret. 100,00	Ret. acum	% Ret	% que pasa del total	ASTM D3515	
		Peso ret. (gr)	Peso ret. (gr)	Peso ret. (gr)	(%) 30,00	(%) 25,00	(%) 45,00					Mínimo	Máximo
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	37,33	0,00	0,00	11,20	0,00	0,00	11,20	11,20	0,22	99,78	90	100
1/2"	12,5	2745,77	3,78	0,00	823,73	0,94	0,00	824,67	835,87	16,72	83,28	-	-
3/8"	9,50	1515,70	43,33	0,00	454,71	10,83	0,00	465,54	1301,42	26,03	73,97	56	80
1/4"	6,35	678,03	1450,61	0,00	203,41	362,65	0,00	566,06	1867,48	37,35	62,65	-	-
N°4	4,75	16,60	2354,22	3,67	4,98	588,56	1,65	595,19	2462,67	49,25	50,75	35	65
N°8	2,36	6,57	1148,06	577,17	1,97	287,01	259,73	548,71	3011,38	60,23	39,77	23	49
N°16	1,18	0,00	0,00	961,33	0,00	0,00	432,60	432,60	3443,98	68,88	31,12	-	-
N°30	0,60	0,00	0,00	990,33	0,00	0,00	445,65	445,65	3889,63	77,79	22,21	-	-
N°50	0,30	0,00	0,00	1033,67	0,00	0,00	465,15	465,15	4354,78	87,10	12,90	5	19
N°100	0,15	0,00	0,00	731,83	0,00	0,00	329,33	329,33	4684,10	93,68	6,32	-	-
N°200	0,075	0,00	0,00	438,00	0,00	0,00	197,10	197,10	4881,20	97,62	2,38	2	8
BASE	-	0,00	0,00	264,00	0,00	0,00	118,80	118,80	5000,00	100,00	0,00	-	-
	Peso total	5000,00	5000,00	5000,00	1500,00	1250,00	2250,00	5000,00					

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.4: Curva de diseño granulométrico - Método Marshall (ASTM D 3515)



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Determinación del contenido mínimo de asfalto por el procedimiento del área superficial

El método se basa en la estimación de la superficie de los agregados pétreos por cada kilogramo de material de los tamices de 1 1/2", 3/4", N°4, N°40, N°200 y la base de acuerdo a la tabla 3.23.

Tabla 3.23: Constantes de área correspondientes al material retenido

Constantes de área correspondientes al material retenido		
Material que pasa	Material que retiene	Constante de área (m ² /kg)
1 1/2"	3/4"	0,27
3/4"	N° 4	0,41
N° 4	N° 40	2,05
N° 40	N°200	15,38
N°200	Base	53,30

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que se basa en el índice asfáltico (ver tabla 3.24), identificado por el tipo de material pétreo y su absorción.

Tabla 3.24: Índice asfáltico

Índice asfáltico	
Material pétreo	I.A.
Gravas y arenas o materiales redondeados de baja absorción	0,0055
Gravas angulosas o redondas, trituradas de baja absorción	0,006
Gravas angulosas o redondeadas de alta absorción y rocas trituradas de mediana absorción	0,007
Rocas trituradas de alta absorción	0,008

Fuente: Elaboración propia.

Como es de vital importancia encontrar el contenido mínimo de asfalto necesario para cumplir como cementante en la mezcla, se realizó su cálculo de la siguiente manera:

- Una vez realizada la granulometría de los agregados se puede obtener los porcentajes de cada tamiz correspondiente a la tabla anterior y multiplicar por su constante de área, para alcanzar sus superficies por cada kg de material.
- Luego se sumó las superficies y multiplicó el resultado por el índice asfáltico que en este caso fue 0,008 por ser rocas trituradas de alta absorción.

Se obtuvo un valor de 4.25 %, la cual se adoptó 4.50 % como contenido mínimo de acuerdo a la granulometría presentada para el diseño de la mezcla.

Tabla 3.25: Contenido mínimo de asfalto

Contenido mínimo de asfalto				
Material que retiene	Constante de área (m²/kg)	Material retenido (%)		Superficie de agregado por kilogramo de material (m²/kg)
		(%)	Unidad	
3/4"	0,27	0,22400	0,002240	0,00060480
Nº 4	0,41	49,0293	0,490293	0,20102022
Nº 40	2,05	26,9667	0,269667	0,55281689
Nº200	15,38	21,4040	0,214040	3,29193520
Base	53,30	2,37600	0,023760	1,26640800
		100	1	↓
		Suma		5,3127851
		I.A.		0,0425
		Contenido min. de asfalto		4,25%
		Contenido min. de asfalto (adoptado)		4,50%

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Determinación del número de muestras

Mediante el ensayo Marshall se debe seguir lo siguiente: A modo de obtener curvas que muestren un valor óptimo bien definido se realizaron 6 promedios por cada 3 briquetas de prueba con rangos desde 4.0 % a 6,5 % con un incremento de 0,5 %. Pues en base al contenido mínimo de asfalto encontrado se debe tomar de uno a dos valores por debajo del encontrado y dos a más valores por encima, que vayan en incremento y descenso de 0,5 %. Dándonos un total de 18 briquetas como referencia para el ensayo Marshall.

3.3.4. Dosificación según diseño granulométrico

Cabe mencionar que en una mezcla tradicional el agregado debe de encontrarse seco. Con un peso base de 1200 gr para cada briketa es que se realizó la siguiente dosificación para utilizar con ambos cementos asfálticos:

Tabla 3.26: Dosificación mezcla asfáltica

	Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla					
	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
Porcentaje de agregado (%)	96,00%	95,50%	95,00%	94,50%	94,00%	93,50%
Peso del cemento asfáltico (gr)	48,00	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de grava (gr)	345,60	343,80	342,00	340,20	338,40	336,60
Peso de gravilla (gr)	288,00	286,50	285,00	283,50	282,00	280,50
Peso de arena (gr)	518,40	515,70	513,00	510,30	507,60	504,90
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Características Marshall de la mezcla asfáltica tradicional con cemento asfáltico convencional 85-100

Tabla 3.27: Planilla Marshall con asfalto convencional

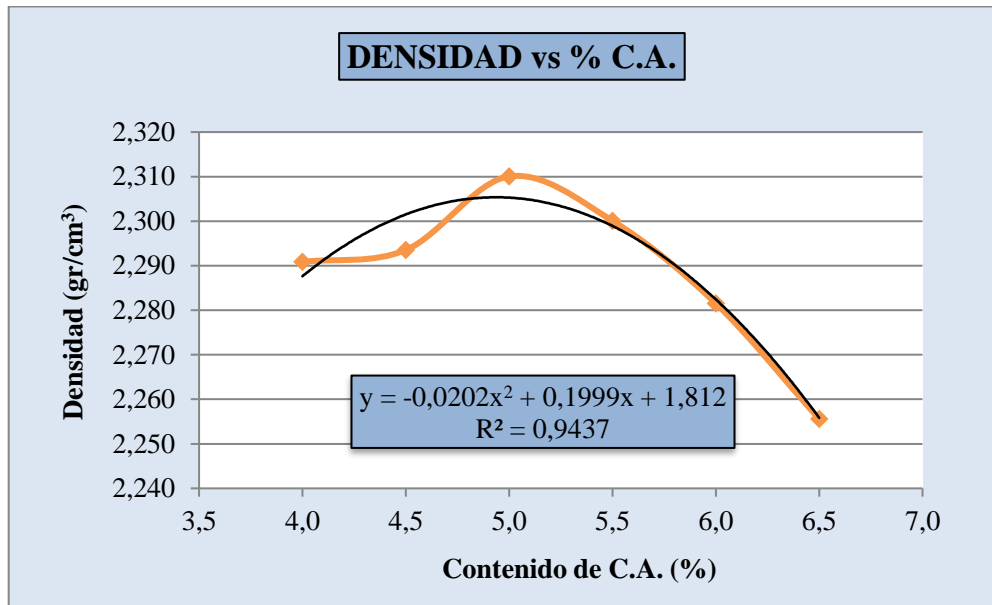
Granulometría formada			P. Especifico	% agregado		Tipo de cemento asfáltico: convencional		85/100		Agregado		P.E.	%
Mat. retenido tamiz N° 4			2.68	49.25		Número de golpes por cara		75		Grava		2.72	30
Mat. pasa tamiz N° 4			2.55	50.75		Temperatura de mezclado (°C)		160		Gravilla		2.64	25
Peso específico Total			2.61	100		Peso específico del ligante AASHTO T-229 (gr/cm³)		1.0240		Arena		2.55	45

N° de probeta	% de Asfalto		Altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia			
	Base Mezcla	Base Agregados		Seco	Sat. sup. seca	Sumergida en agua		Probeta	Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio	
																						%
1	4.00	4.17	6.58	1191.2	1198.1	682	516.1	2.31	2.29	2.46	6.70	15.64	57.20	1890	2300242.47	0.95	2178099.59	2201582.98	20.32	22.86		
2			6.42	1171.2	1179.5	665	514.5	2.28						1851	2252606.60	0.98	2213185.98		25.4			
3			6.47	1183.4	1188.2	671	517.2	2.29						1875	2281920.98	0.97	2213463.35		22.86			
4	4.50	4.71	6.30	1178.0	1187.1	678	509.1	2.31	2.29	2.44	5.84	15.92	63.30	1987	2418721.43	1.01	2450164.80	2377786.463	25.4	23.71		
5			6.64	1170.6	1172.3	660	512.3	2.28						2038	2481014.48	0.94	2321485.25		22.86			
6			6.46	1175.3	1178.1	663	515.1	2.28						1995	2428492.89	0.97	2361709.33		22.86			
7	5.00	5.26	6.47	1194.3	1200.3	691	509.3	2.34	2.31	2.42	4.41	15.69	71.89	2260	2752172.51	0.97	2669607.33	2527566.672	22.86	26.25		
8			6.35	1177.2	1185.4	666	519.4	2.27						1968	2395514.21	1.00	2395514.21		30.48			
9			6.43	1186.7	1194.8	683	511.8	2.32						2110	2568957.63	0.98	2517578.47		25.4			
10	5.50	5.82	6.32	1161.5	1164.7	653	511.7	2.27	2.30	2.40	4.06	16.42	75.26	2120	2581171.95	1.01	2601821.33	2235941.673	33.02	27.94		
11			6.37	1180.6	1186.1	678	508.1	2.32						1525	1854419.59	1.00	1845147.50		27.94			
12			6.30	1175.3	1179.5	670	509.5	2.31						1834	2231842.25	1.01	2260856.20		22.86			
13	6.00	6.38	6.21	1172.9	1175.0	665	510.0	2.30	2.28	2.38	4.07	17.44	76.65	1718	2090156.07	1.04	2167491.85	1949702.962	30.48	33.87		
14			6.24	1185.3	1188.1	676	512.1	2.31						1424	1731054.91	1.03	1781255.50		33.02			
15			6.22	1179.1	1188.7	660	528.7	2.23						1510	1836098.10	1.04	1900361.54		38.1			
16	6.50	6.95	6.20	1186.5	1189.2	671	518.2	2.29	2.26	2.36	4.40	18.72	76.49	1540	1872741.08	1.04	1947650.72	1699818.154	33.02	36.41		
17			6.26	1162.7	1171.4	652	519.4	2.24						1176	1428139.64	1.02	1462414.99		38.1			
18			6.23	1178.1	1186.3	660	526.3	2.24						1347	1637004.60	1.03	1689388.75		38.1			
Especificaciones			mínimo										3	13	75						816465.60	20.32
			máximo										5	-	82						-	40.64

Fuente: Elaboración propia.

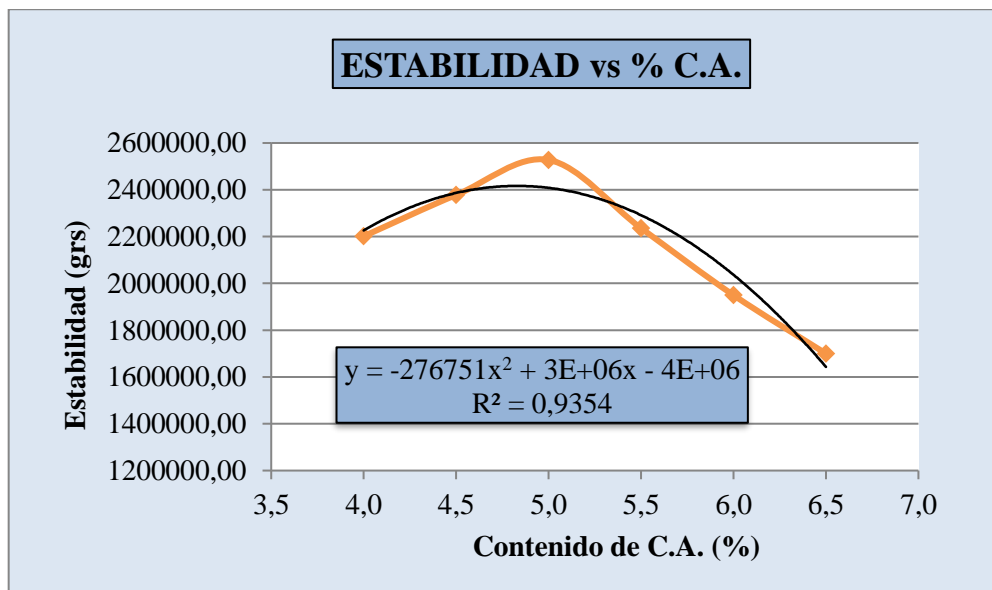
3.4.1. Curvas método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico

Gráfica 3.5: Densidad vs % C.A. asfalto convencional



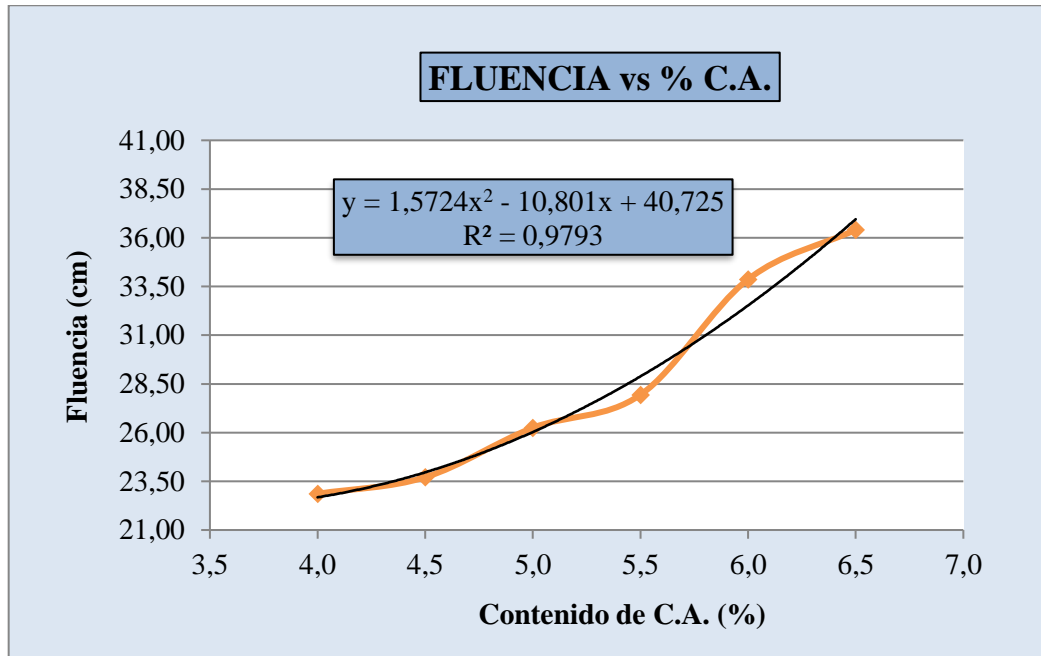
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.6: Estabilidad vs % C.A. asfalto convencional



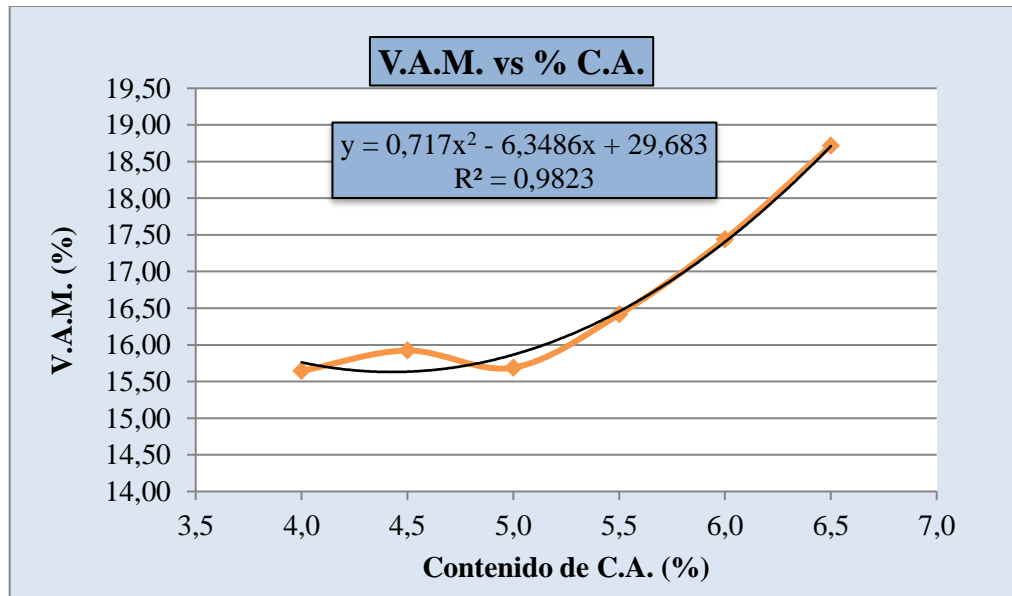
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.7: Fluencia vs % C.A. asfalto convencional



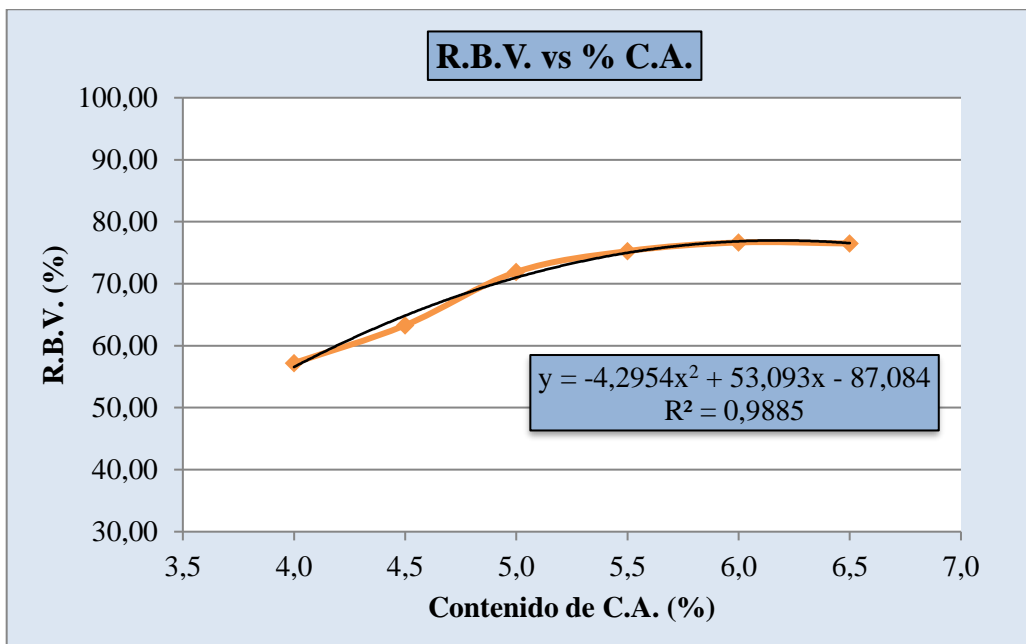
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.8: V.A.M vs % C.A. asfalto convencional



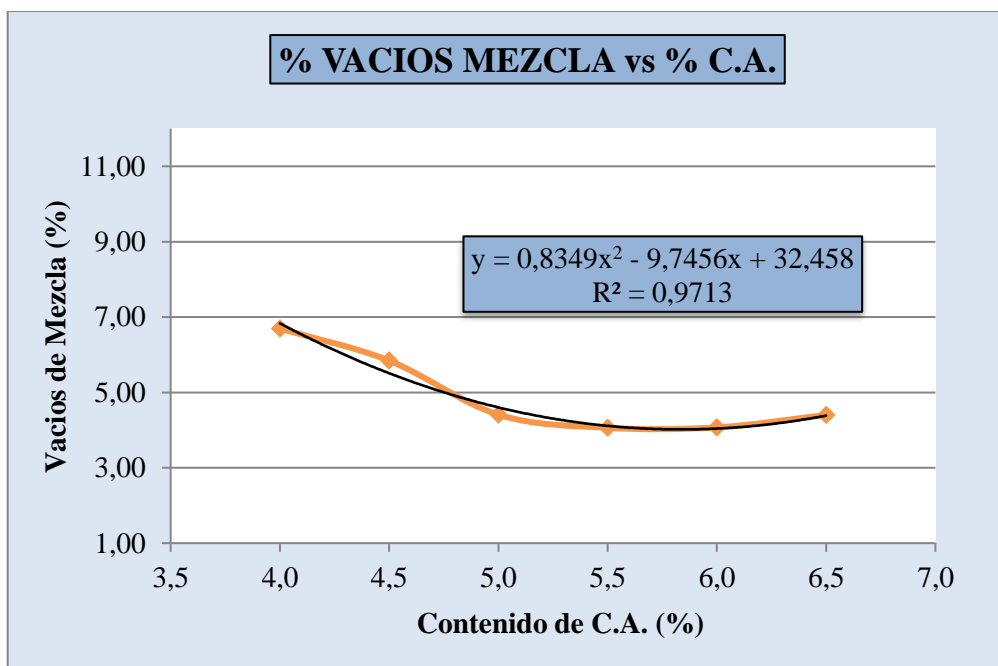
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.9: R.B.V. vs % C.A. asfalto convencional



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.10: % vacíos mezcla vs % C.A. asfalto convencional



Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Resumen de las características Marshall

En la siguiente tabla 3.28 se refleja el contenido óptimo de cemento asfáltico convencional 85-100 obtenido a partir del ensayo Marshall, mediante la prueba de 18 briquetas se consideraron los resultados de las curvas correspondientes a estabilidad, densidad y vacíos de la mezcla en los cuales se determina el contenido de asfalto para conseguir, estabilidad máxima, densidad máxima y el valor promedio de los contenidos de asfalto, siendo así el contenido óptimo de asfalto el promedio numérico de los contenidos de asfalto indicados anteriormente.

Tabla 3.28: Porcentaje óptimo del asfalto convencional

	Ensayo	Valor de diseño	% de C.A.
Determinación del porcentaje óptimo del cemento asfáltico	Estabilidad Marshall (gr)	2416412,16	4,83
	Densidad máxima (gr/cm ³)	2,31	4,95
	Vacíos de la mezcla (%)	4,00	5,84
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%) =	5,20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.29: Resumen características Marshall con asfalto convencional

Resumen características Marshall	Densidad (gr/cm ³)	2,31
	Estabilidad Marshall (gr)	2377306,07
	Fluencia (cm)	27,10
	V.A.M. (%)	16,06
	R.B.V. (%)	72,89
	Vacíos de mezcla (%)	4,27

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Dosificación de la mezcla con asfalto convencional (85-100)

De los resultados del ensayo Marshall para mezcla convencional se obtuvo el 5,20 % de cemento asfáltico para la dosificación de la mezcla. Luego de realizadas la elaboración de

18 briquetas, determinar las curvas de ensayo y la aplicación de los criterios recomendados por las normas; se justifica el porcentaje usado para la dosificación.

Tabla 3.30: Dosificación del cemento asfáltico en la mezcla

Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla	5,20%
Porcentaje de agregado (%)	94,80%
Peso del cemento asfáltico (gr)	62,45
Peso de grava (gr)	341,26
Peso de gravilla (gr)	284,39
Peso de arena (gr)	511,90
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Procedimiento del cálculo y elaboración de la dosificación para las alternativas de rehabilitación

3.6.1. Extracción de núcleos

La extracción de núcleos se llevó a cabo en las calles urbanas del casco viejo de la ciudad de Tarija, las cuales fueron realizadas en las noches y madrugadas durante 2 días seguidos, esto por el peligro que se podía tener por el tránsito constante de los vehículos.

Los tramos donde se realizó la práctica son de la calle Alejandro del Carpio, dividido en 10 tramos:

Tabla 3.31: Tramos de las extracciones de núcleos

Tramo 1	Alejandro del Carpio Sucre - Daniel Campos
Tramo 2	Alejandro del Carpio Daniel Campos - Colón
Tramo 3	Alejandro del Carpio Colón - Suipacha
Tramo 4	Alejandro del Carpio Suipacha - Méndez
Tramo 5	Alejandro del Carpio Méndez - Delgadillo
Tramo 7	Alejandro del Carpio Issac Attie - Junín
Tramo 8	Alejandro del Carpio Junín - O'Connor
Tramo 9	Alejandro del Carpio O'Connor - Ejercito
Tramo 10	Alejandro del Carpio Ejercito - Padilla

Fuente: Elaboración propia.

Con el equipo de extractor otorgado por el laboratorio de asfaltos de la universidad, se extrajo 3 núcleos por tramo teniendo un total de 30 muestras.

Las muestras extraídas serán llevadas al ensayo de compresión en el Laboratorio de Maderas perteneciente a la Facultad de Forestal, las cuales 10 muestras serán de referencia, 10 con rehabilitación de sobrecapa delgada y 10 con rehabilitación de tratamiento superficial doble.

Figura 3.22: Unas de las calles seleccionadas para la extracción de núcleos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.23: Cierre de calles



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.24: Extracción de núcleos en calles urbanas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.25: Suministrando agua al extractor de núcleos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.26: Preparación del material y llenado del lugar de extracción



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Métodos de rehabilitación

Los métodos que se escogió para la comparación de rehabilitación, fueron la sobrecapa delgada y el tratamiento superficial doble, las cuales fueron seleccionadas a base de que son los métodos más utilizados para la reparación superficial.

Los materiales que se utilizara para ambos métodos, serán las mismas, tanto los agregados como el cemento asfáltico convencional (85/100).

A continuación, se describirán la elaboración y los cálculos que nos ayudarán a poder diseñar de la mejor manera:

3.6.2.1 Sobrecapa delgada

3.6.2.1.1 Cálculo de la cantidad de materiales

Para el diseño de la sobrecapa delgada lo realizamos con la mezcla en caliente ya diseñada anteriormente mediante el método Marshall, donde obtuvimos una dosificación y un porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

Para el espesor “h” de la sobrecapa adoptamos el valor de 3 cm, el cual es la altura mínima que se puede considerar para una sobrecapa según las especificaciones de la Alcaldía, donde también para ser considerada como operación de restauración, la sobrecapa debe tener un espesor compacto inferior a 4 cm según. Para obtener una dosificación de mezcla para un espesor de 3 cm y un porcentaje óptimo de 5,20 % de cemento asfáltico, se realizó el siguiente cálculo:

Interpolamos:

- Espesor para un porcentaje de 5,20 % de cemento asfáltico:

Porcentaje de asfalto (%)	Espesor (cm)
5,00	6,42
5,20	x
5,50	6,33

$$x = 6,42 + \left(\frac{6,33 - 6,42}{5,50 - 5,00} \right) * (5,20 - 5,00)$$

$$h = x = 6,38 \text{ cm}$$

- Peso de una mezcla para un espesor de 3 cm:

Espesor (cm)	Peso de la mezcla (gr)
6,38	1200
3,00	x

$$x = \frac{3 * 1200}{6,38}$$

$$\text{Peso} = x = 564,09 \text{ gr}$$

- Dosificación para un peso de 564,09 gr de mezcla asfáltica y un porcentaje óptimo de 5,20 % de cemento asfáltico:

Tabla 3.32: Dosificación de la mezcla asfáltica en caliente para una sobrecapa delgada

Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla	5,20%
Porcentaje de agregado (%)	94,80%
Peso del cemento asfáltico (gr)	29,36
Peso de grava (gr)	160,42
Peso de gravilla (gr)	133,68
Peso de arena (gr)	240,63
Peso total de la briqueta (gr)	564,09

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.1.2 Elaboración

La elaboración de la aplicación de la rehabilitación se lo realizo de la siguiente manera:

- Primeramente, con la ayuda de una amoladora, se nivelo las muestras a una altura contante de 7 cm, el cual nos ayudó trabajar de la mejor manera ya que en la parte inferior de los núcleos se encontraban desnivelados.

Figura 3.27: Nivelando los núcleos con amoladora



Fuente: Elaboración propia.

- Luego se aplicó un riego de liga, dejándolo este durante 24 hr, donde usamos la dosificación de 70/30, 70% de asfalto y 30% de gasolina, el cual es usado comúnmente por la alcaldía.

Figura 3.28: Aplicación del riego de liga



Fuente: Elaboración propia.

- Finalmente preparamos la mezcla con la dosificación ya obtenida y con la ayuda de las briquetas de Marshall como moldes aplicamos la sobrecapa sobre el núcleo con el riego de liga ya lista, además de utilizar un compactador manual donde compactamos a 50 golpes por norma, ya que era una mezcla para un tráfico liviano.

Figura 3.29: Alistando los moldes



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.30: Preparación de la mezcla



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.31: Vaciando la mezcla



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.32: Compactando la sobrecapa



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.33: Núcleos con sobrecapa



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.2 Tratamiento superficial doble

3.6.2.2.1 Cálculo de la cantidad de materiales (Dimensión mínima promedio)

Tabla 3.33: Granulometría utilizada para el diseño del tratamiento superficial

N° tamiz estándar	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa (por peso)			
		B		D	
		Agregado utilizado	Especificaciones	Agregado utilizado	Especificaciones
1"	25,40	100,00	100	100,00	
3/4"	19,00	99,25	90 – 100	100,00	
1/2"	12,5	44,34	20 – 55	99,92	100
3/8"	9,50	14,02	0 – 15	99,06	85 – 100
1/4"	6,35	0,46		70,05	
N°4	4,75	0,13	0 – 5	22,96	10 – 30
N°8	2,36	0,00		0,00	0 – 10
N°16	1,18	0,00		0,00	
N°30	0,60	0,00		0,00	
N°50	0,30	0,00		0,00	
N°100	0,150	0,00		0,00	
N°200	0,075	0,00		0,00	

Fuente: Elaboración propia.

Para dosificar tratamientos dobles se sigue el siguiente procedimiento:

Dosis de áridos

Calcule la dosis para cada capa del tratamiento como si se tratara de un tratamiento simple. Normalmente, cada capa tiene un tamaño máximo nominal no superior a la mitad del tamaño máximo nominal de la capa inferior. Si es necesario se pueden corregir las dosis en terreno ajustando el valor del factor M.

$$C = M * [(1 - 0,4 * V) * H * \rho_{RS} * E]$$

Donde:

C= Dosis de árido (kg/m²).

M= Factor de corrección que debe ser evaluado por la experiencia del diseñador en base al clima y tránsito. Su valor normal es 1,0.

V= Vacíos en el árido.

H= Dimensión mínima promedio (mm).

ρ_{RS} = Densidad real seca del árido (kg/cm³).

E= Factor de desperdicio.

- Contenido de vacíos

$$V = 1 - \frac{\rho_{as}}{\rho_{RS}}$$

Donde:

V= Contenido de huecos, expresado en forma decimal.

ρ_{as} = Densidad aparente suelta del árido (kg/m³).

ρ_{RS} = Densidad real seca del árido (kg/m³).

Los datos necesarios a ser utilizados para el contenido de vacíos son los siguientes:

Tabla 3.34: Datos de densidades de la grava y gravilla

Grava (3/4")	1ra Capa	Densidad aparente suelta (kg/m ³)	1390
		Densidad real seca (kg/m ³)	2720
Gravilla (3/8")	2da Capa	Densidad aparente suelta (kg/m ³)	1310
		Densidad real seca (kg/m ³)	2640

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

$$1ra\ Capa\ (Grava\ 3/4''): \quad V = 1 - 1390/2720 = \mathbf{0,49}$$

$$2da\ Capa\ (Gravilla\ 3/8''): \quad V = 1 - 1310/2640 = \mathbf{0,50}$$

- Dimensión mínima promedio

$$H(mm) = \frac{TM}{1,09 + (0,0118 * IL)}$$

Donde:

H=Dimensión mínima promedio (mm).

TM= Tamaño medio del árido, abertura del tamiz teórico por el cual pasa el 50 % del árido (mm).

IL= Índice de Lajas (%).

Para el tamaño medio TM, se lo realizó mediante la interpolación entre los porcentajes superior e inferior del 50% que pasa, lo cual se obtuvo los siguientes resultados:

1ra Capa (Grava 3/4"):

Tamaño (mm)	% que pasa
19	99,25
X	50,00
12,5	44,34

$$\frac{99,25 - 44,34}{\log 19 - \log 12,5} = \frac{99,25 - 50}{\log 19 - \log X} = X = 13,05\ mm$$

$$\mathbf{TM = 13,05 \text{ mm}}$$

2da Capa (Gravilla 3/8"):

Tamaño (mm)	% que pasa
6,35	70,05
X	50,00
4,75	22,96

$$\frac{70,05 - 22,96}{\log 6,35 - \log 4,75} = \frac{70,05 - 50}{\log 6,35 - \log X} = X = 5,61 \text{ mm}$$

$$\mathbf{TM = 5,61 \text{ mm}}$$

Reemplazando los valores se obtiene los siguientes resultados:

1ra Capa (Grava 3/4"):

Datos

$$IL = 9,73 \%$$

$$TM = 13,05 \text{ mm}$$

$$H(\text{mm}) = \frac{13,05}{1,09 + (0,0118 * 9,73)}$$

$$\mathbf{H = 10,83 \text{ mm}}$$

2da Capa (Gravilla 3/8"):

Datos

$$IL = 8,52 \%$$

$$TM = 5,61 \text{ mm}$$

$$H(\text{mm}) = \frac{5,61}{1,09 + (0,0118 * 8,52)}$$

$$\mathbf{H = 4,71 \text{ mm}}$$

- Determinación del factor de desperdicio:

Tabla 3.35: Factor de Desperdicio

H(mm)	Desperdicio %	Factor de desperdicio E
< 6,5	5	1,05
6,5 - 8,0	4	1,04
8,1 - 9,5	3	1,03
> 9,5	2	1,02

Fuente: Elaboración propia.

Se obtiene los siguientes valores del factor E:

1ra Capa (Grava 3/4"):

$$H = 10,83 \text{ mm} \rightarrow E = 1,02$$

2da Capa (Gravilla 3/8"):

$$H = 4,71 \text{ mm} \rightarrow E = 1,05$$

Con valores ya obtenidos de los factores, se procederá a calcular la dosis de áridos para un tratamiento superficial doble.

1ra Capa (Grava 3/4")

Datos:

$$M = 1,0$$

$$V = 0,49$$

$$H = 10,83 \text{ mm}$$

$$C = 1,0 * [(1 - 0,4 * 0,49) * 10,83 * 2,72 * 1,02]$$

$$\rho_{RS} = 2720 \text{ kg/m}^3 = 2,72$$

$$C = 24,16 \text{ kg/m}^2$$

$$E = 1,02$$

2da Capa (Gravilla 3/8")

Datos:

$$M= 1,0$$

$$V= 0,50$$

$$H= 4,71 \text{ mm}$$

$$C = 1,0 * [(1 - 0,4 * 0,50) * 4,71 * 2,64 * 1,05]$$

$$\rho_{RS} = 2640 \text{ kg/m}^3$$

$$C= 10,44 \text{ kg/m}^2$$

$$E= 1,05$$

Dosis de ligante

Calcule la dosis para cada capa como si se tratara de un tratamiento simple. El factor de corrección por textura superficial se aplica solo a la primera capa. Una vez determinadas las dosis de ligante para cada capa, se determina la dosis total del tratamiento sumando las dos dosis individuales. Finalmente, las dosis de cada capa o aplicación se distribuyen porcentualmente.

$$B = K * \left(\frac{0,40 * H * T * V + S + A}{R} \right)$$

Donde:

B=Dosis de ligante (l/m²).

K=Factor de corrección que debe ser evaluado en base al clima por la experiencia del diseñador. Su valor normal es 1,0 pero puede ser mayor o menor. En climas tropicales se ha aplicado 0,9, mientras en climas muy fríos se usa 1,2.

H= Dimensión mínima promedio (mm).

T= Factor de tránsito.

V= Vacíos en el árido.

S= Factor de corrección por textura superficial (l/m²).

A= Factor de corrección por absorción de asfalto en el árido (l/m²).

R= Porcentaje de asfalto residual de la emulsión (decimal).

- Determinación del Factor de tránsito

Tabla 3.36: Factor de tránsito T

Volumen de tránsito ⁽¹⁾ (veh/día)	Factor T
< 100	0,85
100 - 500	0,75
500 - 1000	0,70
1000 - 2000	0,65
> 2000	0,60
(1) Volumen estimado para el año de puesta en servicio del tratamiento o sello.	
(2) En el caso de tratamiento para bermas, considerar T= 0,85	

Fuente: Elaboración propia.

El tratamiento superficial que se diseñará será para un tráfico mediano; los valores que se obtuvieron de la tabla 3.35 son los siguientes:

1ra Capa: **T = 0,75**

2da Capa: **T = 0,75**

- Corrección por textura superficial S

Tabla 3.37: Corrección por textura

Textura Superficial	Corrección S (l/m ²)
pavimento asfáltico con exceso de asfalto superficial	hasta -0,3
pavimento asfáltico de textura cerrada	0,0
pavimento asfáltico de textura abierta	
1	0,1
2	0,2
3	0,3
4	0,4
5	0,5
base granular imprimada	0,0 - 0,2

Fuente: Elaboración propia.

El tipo textura superficial que usaremos es para un pavimento asfáltico de textura cerrada; los valores que obtuvimos son los siguientes:

$$1\text{ra Capa: } S = 0 \text{ l/m}^2$$

$$2\text{da Capa: } S = 0 \text{ l/m}^2$$

- Factor de corrección por absorción de asfalto en el árido (l/m^2)

Este factor compensa la disminución en la dosis de ligante que provoca la absorción del árido.

El valor recomendado para este factor es de $A=0$; por las características de los materiales utilizados en nuestro país, normalmente este factor se desprecia para la mayoría de los áridos.

- Porcentaje de asfalto residual de la emulsión

Se debe determinar el porcentaje de residuo asfáltico (R) del ligante (Normalmente emulsión), de acuerdo al método A0301. Este ensayo se puede omitir si la muestra de ligante se suministra acompañada del certificado de ensayo respectivo.

El valor adoptado será de $R=0,55$, por revisión bibliográfica y ser valorada por la universidad.

Cálculo de la dosis de ligante, con los datos obtenidos:

1ra Capa:

$$B = 1,0 * \left(\frac{0,40 * 10,83 * 0,49 + 0 + 0}{0,55} \right)$$

$$B = 3,86 \text{ l/m}^2$$

2da Capa:

$$B = 1,0 * \left(\frac{0,40 * 4,71 * 0,50 + 0 + 0}{0,55} \right)$$

$$B = 1,71 \text{ l/m}^2$$

Resultados de dosis de áridos y ligantes

Tabla 3.38: Resultados de dosis de áridos y ligantes

Dosis de áridos (kg/m ²)	Capas	Resultados	Dosis de ligantes (l/m ²)	Capas	Resultados
	1ra Capa (Grava 3/4")	24,16		1ra Capa	3,86
	2da Capa (Gravilla 3/8")	10,44		2da Capa	1,71

Fuente: Elaboración propia.

Cantidad de asfalto por porcentaje

Tabla 3.39: Distribución de la dosis total de ligante

Capa	Tratamiento doble	Tratamiento triple
1a Capa	40 - 45	30
2a Capa	60 - 55	40
3a Capa	-	30

Fuente: Elaboración propia.

Según establecido en la tabla 3.39, la distribución de la dosis para un tratamiento doble, la primera capa está entre 40 – 45 % y para la segunda capa de 55 – 60%, donde el espesor del tratamiento superficial doble tiene ser de acuerdo a la Dimensión mínima promedio H. Para nuestro tratamiento doble usaremos una distribución de 40 % para la primera capa y 60 % para nuestra segunda capa:

Tabla 3.40: Cantidad de ligantes por capa

Capas	Dosis ligantes (l/m ²)	Dosis total (l/m ²)	Distribución (%)	Cantidad de ligantes (l/m ²)
1ra Capa	3,86	5,57	40%	2,23
2da Capa	1,71		60%	3,34

Fuente: Elaboración propia.

Cantidad de materiales de agregados y ligantes asfálticos para un tratamiento superficial doble con asfalto convencional (85/100).

- Cantidad de material para m².

Tabla 3.41: Cantidad de material de agregados y ligantes asfálticos para m²

Capas	Material	Cantidad	Unidad
Primera	Cemento asfáltico	2,23	l/m ²
	Grava (3/4")	24,16	kg/m ²
Segunda	Cemento asfáltico	3,34	l/m ²
	Gravilla (3/8")	10,44	kg/m ²

Fuente: Elaboración propia.

- Cantidades de materiales de agregados y ligantes asfálticos para un área de briqueta de Marshall.

Diámetro estándar de una briqueta:

$$D = 101,6 \text{ mm} = 0,1016 \text{ m}$$

Área de la briqueta:

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

$$A = \pi * \frac{0,1016^2}{4}$$

$$A = 0,00810732 \text{ m}^2$$

Regla de tres para hallar el peso para un área de briqueta Marshall:

Tabla 3.42: Interpolación de variables

Cemento asfáltico					
Primera capa	Área (m ²)	Cantidad (l/m ²)	Resultado		
	1,00	2,23	x	18,06	g/m ²
	0,00810732	x			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.43: Dosificación de tratamiento superficial doble para un área de briqueta de Marshall

Capas	Material	Cantidad	Unidad
Primera	Cemento asfáltico	18,06	gr/m ²
	Grava (3/4")	195,85	gr/m ²
Segunda	Cemento asfáltico	27,09	gr/m ²
	Gravilla (3/8")	84,68	gr/m ²

Fuente: Elaboración propia.

Con el método de Dimensión Mínima Promedio, se llegó a una dosificación, con la cual se va a elaborar la rehabilitación que se aplicará sobre los núcleos extraídos.

3.6.2.2.2 Elaboración

La elaboración de la aplicación de la rehabilitación se lo realizó de la siguiente manera:

- Primeramente, con la ayuda de una amoladora, se niveló las muestras a una altura contante de 7 cm, el cual nos ayudó trabajar de la mejor manera ya que en la parte inferior de los núcleos se encontraban desnivelados.

Figura 3.34:Alistando la amoladora



Fuente: Elaboración propia.

- Luego se aplicó un riego de liga, dejándolo este durante 24 hr, donde usamos la dosificación de 70/30, 70% de asfalto y 30% de gasolina, el cual es usado comúnmente por la alcaldía.

Figura 3.35: Pintando los núcleos con riego de liga



Fuente: Elaboración propia.

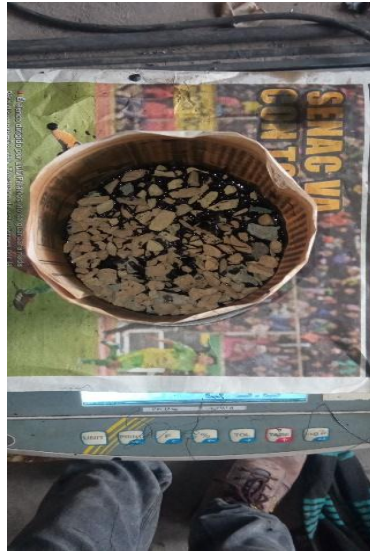
- Finalmente alistamos los materiales, pesamos la dosificación de las capas y con la ayuda de los moldes y el compactador manual aplicamos el tratamiento superficial doble.

Figura 3.36: Aplicando el cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.37: Segunda capa de gravilla



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.38: Compactando el tratamiento superficial doble



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.39: Moldes con tratamientos ya compactados



Fuente: Elaboración propia.

3.7. Resumen de resultados de las alternativas de rehabilitación

Tabla 3.44: Dosificación de las alternativas de rehabilitación

Dosificación de las alternativas de rehabilitación				
Rehabilitación	Material	Cantidad	Unidad	
Sobrecapa delgada	Cemento asfáltico	29,36	gr	
	Grava (3/4")	160,42	gr	
	Gravilla (3/8")	133,68	gr	
	Arena	240,63	gr	
Tratamiento superficial doble	Primera capa	Cemento asfáltico	18,06	gr
		Grava (3/4")	195,85	gr
	Segunda capa	Cemento asfáltico	27,09	gr
		Gravilla (3/8")	84,68	gr

Fuente: Elaboración propia.

3.8. Aplicación del ensayo a compresión

El ensayo a compresión se realizó en el laboratorio de Tecnología de la Madera, perteneciente a la Carrera de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, ubicado en el frontis de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Las muestras sin rehabilitación, con sobrecapa y tratamientos superficiales dobles, fueron llevadas al ensayo de Compresión Paralela en la Prensa Universal AMSLER.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión sobre muestras no confinadas hasta que presente una falla que será observada visualmente. Aplicaremos cargas ya prescritas de manera continua, donde registraremos la carga máxima soportada por la muestra, al mismo tiempo se obtendrá los valores de deformaciones que serán lecturadas del deformímetro. Las deformaciones serán registradas con rango de cada 3 KN de carga, se empezará desde una carga mínima de “0” hasta llegar a la carga máxima, donde se anotará los tipos de fallas, en este caso fisuras y achatamientos.

Con los datos obtenidos del ensayo, se realizará la comparación de las muestras mediante graficas de carga vs deformación, donde se podrá observar el comportamiento dinámico de las deformaciones sometidas a diferentes cargas y los efectos de las capas de rehabilitación.

Figura 3.40: Equipo AMSLER



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.41: Lectura del deformímetro



Fuente: Elaboración propia.

3.9. Datos obtenidos del ensayo a compresión

Con los datos obtenidos del ensayo, se realizará la comparación de las muestras mediante gráficas de carga vs deformación. En las siguientes tablas se mostrarán todos los valores obtenidos del ensayo a Compresión, las deformaciones de acuerdo a sus cargas sometidas de todos los tramos.

3.9.1. Deformaciones de núcleos sin rehabilitación

(C1= Número de calle; 2= Número de muestra)

Tabla 3.45: Deformaciones de los núcleos sin rehabilitación

Núcleos sin rehabilitación										
Carga (KN)	Deformación (mm)									
	C1-2	C2-2	C3-2	C4-2	C5-2	C6-2	C7-2	C8-2	C9-2	C10-2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,95	0,64	0,54	0,55	0,63	0,57	0,34	0,66	0,57	0,78
6	1,47	0,95	0,78	0,83	1,08	1,04	0,59	0,98	0,85	1,06
9	1,94	1,17	0,95	1,09	1,43	1,34	0,81	1,21	1,05	1,35
12	2,28	1,36	1,08	1,40	1,86	1,61	0,94	1,39	1,27	1,65
15	2,64	1,50	1,23	1,68	2,15	1,85	1,07	1,58	1,41	1,84
18	2,94	1,64	1,36	1,93	2,51	2,09	1,2	1,80	1,55	2,07
21	3,24	1,77	1,52	2,19	2,88	2,35	1,33	1,99	1,70	2,33
24	3,56	1,96	1,67	2,58	3,30	2,59	1,45	2,16	1,86	2,54
27	3,95	2,13	1,87	3,01	3,87	2,79	1,59	2,37	2,05	2,85
30		2,37	2,02	3,37	4,35	2,97	1,77	2,60	2,28	
33		2,68	2,19			3,13	1,99	2,79	2,49	
36			2,41				2,19	3,11	2,76	
39			2,69				2,48		3,00	
42							2,97			

Fuente: Elaboración propia.

3.9.2. Deformaciones de los núcleos con sobrecapa

(C1= Número de calle; 1= Número de muestra)

Tabla 3.46: Deformaciones de los núcleos con Sobrecapa

Núcleos con sobrecapa										
Carga (KN)	Deformación (mm)									
	C1-1	C2-1	C3-1	C4-1	C5-1	C6-1	C7-1	C8-1	C9-1	C10-1
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1,30	1,11	1,04	0,64	1,27	1,05	0,85	1,12	0,81	1,25
6	1,91	1,75	1,63	1,53	2,12	1,64	1,67	1,96	1,38	1,78
9	2,35	2,16	2,11	2,24	2,94	2,03	2,21	2,56	1,91	2,01
12	2,76	2,49	2,48	2,65	3,59	2,37	2,58	3,12	2,34	2,26
15	3,19	2,90	2,72	3,04	4,20	2,71	2,93	3,65	2,74	2,51
18	3,58	3,31	2,99	3,45	4,70	3,08	3,2	3,98	3,05	2,7
21	3,91	3,72	3,29	3,81	5,06	3,42	3,41	4,29	3,31	2,91
24	4,26	4,02	3,57	4,08	5,32	3,78	3,64	4,54	3,49	3,14
27	4,57	4,25	3,89	4,42	5,61	4,21	3,87	4,78	3,67	3,41
30	4,87	4,50	4,37	4,75	5,84	4,56	4,09	5,02	3,86	3,77
33	5,12	4,71		5,01	6,01	4,82	4,29	5,21	4,08	4,45
36		5,13		5,31		5,01	4,53	5,37	4,31	
39							4,92	5,48	4,57	
42									4,78	

Fuente: Elaboración propia.

3.9.3. Deformaciones de los núcleos con tratamiento superficial doble

(C1= Número de calle; 3= Número de muestra)

Tabla 3.47: Deformaciones de los núcleos con Tratamiento Superficial Doble

Núcleos con tratamiento superficial doble										
Carga (KN)	Deformación (mm)									
	C1-3	C2-3	C3-3	C4-3	C5-3	C6-3	C7-3	C8-3	C9-3	C10-3
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1,42	1,38	1,29	1,23	1,45	1,37	1,92	1,38	1,15	1,53
6	2,12	2,05	1,98	1,97	2,68	1,89	2,51	2,15	2,14	2,35
9	2,64	2,79	2,56	2,55	3,78	2,48	2,98	2,97	2,69	2,89
12	3,24	3,57	2,95	3,01	4,35	2,95	3,35	3,61	3,21	3,48
15	3,86	4,38	3,45	3,40	4,76	3,53	3,7	4,15	3,75	4,42
18		5,01	3,96	3,83	5,13	4,09	4,01	4,84	4,38	5,55
21		5,57	4,67	4,38	5,54	4,85	4,34	5,97	4,98	6,64
24			5,22	4,87			4,67		5,45	
27				5,58			5,09			

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS
RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de la comparación de los resultados

La comparación se realizó a dos diferentes métodos de rehabilitación, sobrecapa y tratamiento superficial, teniendo como referencia a una muestra sin rehabilitación, se analizará el comportamiento dinámico de las deformaciones y la carga máxima hasta que presente la falla de fisuras.

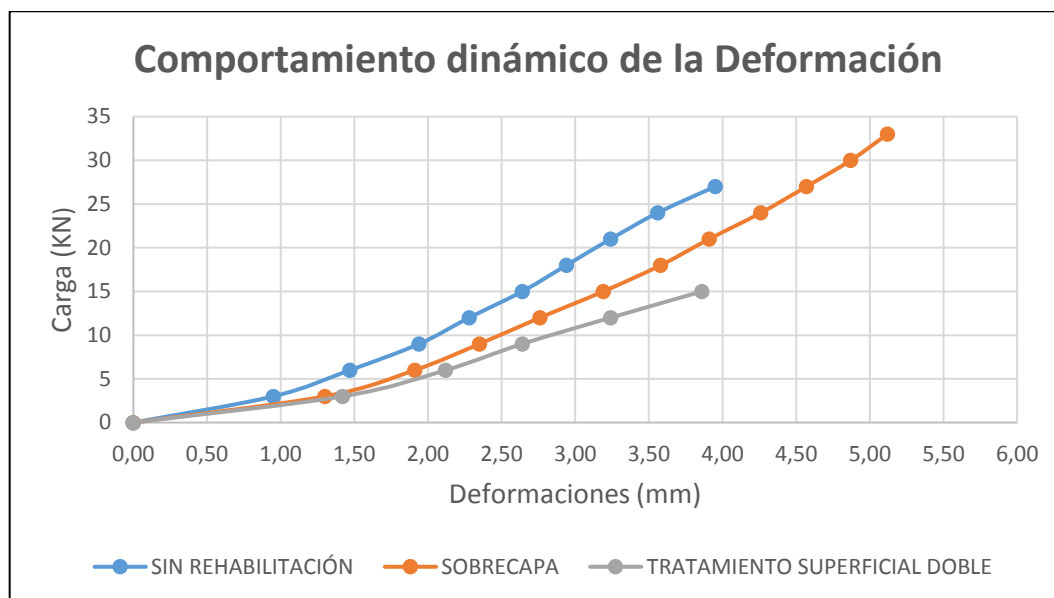
Tramo N° 1: Alejandro del Carpio (Calles Sucre – Daniel Campos)

Tabla 4.1: Deformación (mm), Tramo N° 1

Carga (KN)	Deformación (mm)		
	Sin rehabilitación	Sobrecapa	Tratamiento superficial doble
0	0,00	0,00	0,00
3	0,95	1,30	1,42
6	1,47	1,91	2,12
9	1,94	2,35	2,64
12	2,28	2,76	3,24
15	2,64	3,19	3,86
18	2,94	3,58	
21	3,24	3,91	
24	3,56	4,26	
27	3,95	4,57	
30		4,87	
33		5,12	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.1: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo N° 1



Fuente: Elaboración propia.

Realizando este ensayo obtuvimos que la deformación que presenta el núcleo sin rehabilitación es de 3,95 mm para una carga máxima de ruptura de 27 KN, la deformación que presenta el núcleo con sobrecapa es de 5,12 mm para una carga máxima de ruptura de 33 KN y la deformación que presenta el núcleo con tratamiento superficial doble es de 3,86 mm para una carga de 15 KN, donde se puede demostrar que a medida se incrementa la carga aumenta la deformación. La deformación máxima que puede tener una mezcla asfáltica es de 5 mm.

Los núcleos con rehabilitación se deforman más rápido a comparación de la referencia, observando que las capas de rehabilitación se deforman primeramente sin afectar a la carpeta asfáltica (núcleo), donde podemos mencionar que la sobrecapa, a una carga de 18 KN llega a una deformación de 3,58 mm, en cambio el tratamiento a una carga de 6 KN su deformación es de 2,12 mm, llegando respectivamente a una diferencia de 1,54 y 1,74 mm de deformación del núcleo, verificando que sí están dentro del rango de 5 mm de deformación máxima. También podemos observar que la rehabilitación con sobrecapa (33 KN) tiene una carga máxima de ruptura mayor al del tratamiento superficial doble (15KN) y al núcleo sin rehabilitación (27 KN), permitiendo ser la mejor alternativa.

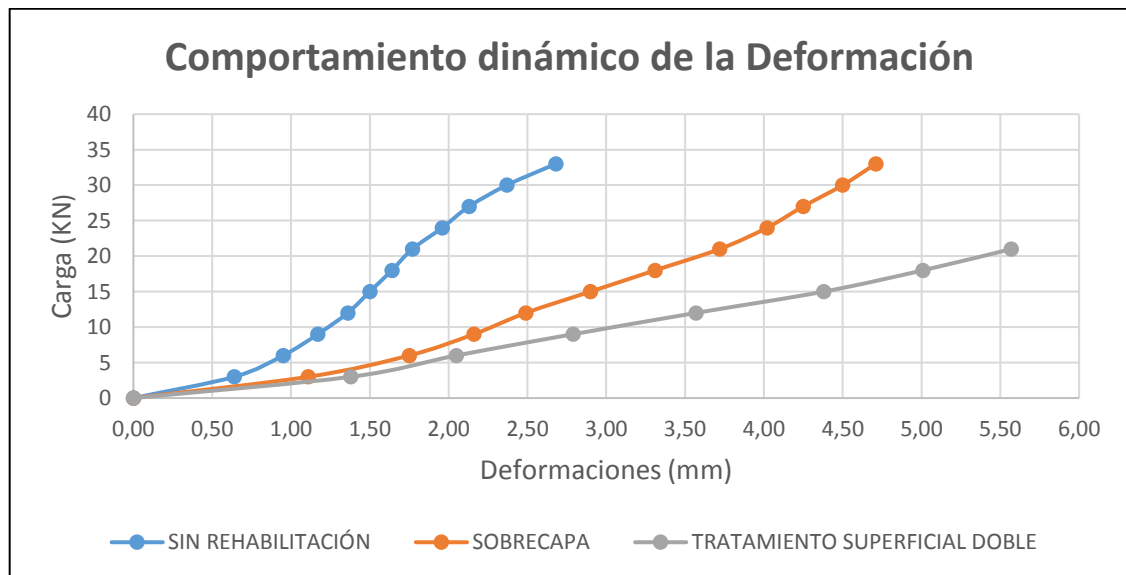
Tramo N° 2: Alejandro del Carpio (Calles Daniel Campos - Colón)

Tabla 4.2: Deformación (mm), Tramo N° 2

Carga (KN)	Deformación (mm)		
	Sin rehabilitación	Sobrecapa	Tratamiento superficial doble
0	0,00	0,00	0,00
3	0,64	1,11	1,38
6	0,95	1,75	2,05
9	1,17	2,16	2,79
12	1,36	2,49	3,57
15	1,50	2,90	4,38
18	1,64	3,31	5,01
21	1,77	3,72	5,57
24	1,96	4,02	
27	2,13	4,25	
30	2,37	4,50	
33	2,68	4,71	
36		5,13	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.2: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo N° 2



Fuente: Elaboración propia.

Realizando este ensayo obtuvimos que la deformación que presenta el núcleo sin rehabilitación es de 2,68 mm para una carga máxima de ruptura de 33 KN, la deformación que presenta el núcleo con sobrecapa es de 5,13 mm para una carga máxima de ruptura de

36 KN y la deformación que presenta el núcleo con tratamiento superficial doble es de 5,57 mm para una carga de 21 KN, donde se puede demostrar que a medida se incrementa la carga aumenta la deformación. La deformación máxima que puede tener una mezcla asfáltica es de 5 mm.

Los núcleos con rehabilitación se deforman más rápido a comparación de la referencia, observando que las capas de rehabilitación se deforman primeramente sin afectar a la carpeta asfáltica (núcleo), donde podemos mencionar que la sobrecapa, a una carga de 21 KN llega a una deformación de 3,72 mm, en cambio el tratamiento a una carga de 9 KN su deformación es de 2,79 mm, llegando respectivamente a una diferencia de 1,41 y 2,78 mm de deformación del núcleo, verificando que sí están dentro del rango de 5 mm de deformación máxima. También podemos observar que la rehabilitación con sobrecapa (36 KN) tiene una carga máxima de ruptura mayor al del tratamiento superficial doble (21 KN) y al núcleo sin rehabilitación (33 KN), permitiendo ser la mejor alternativa.

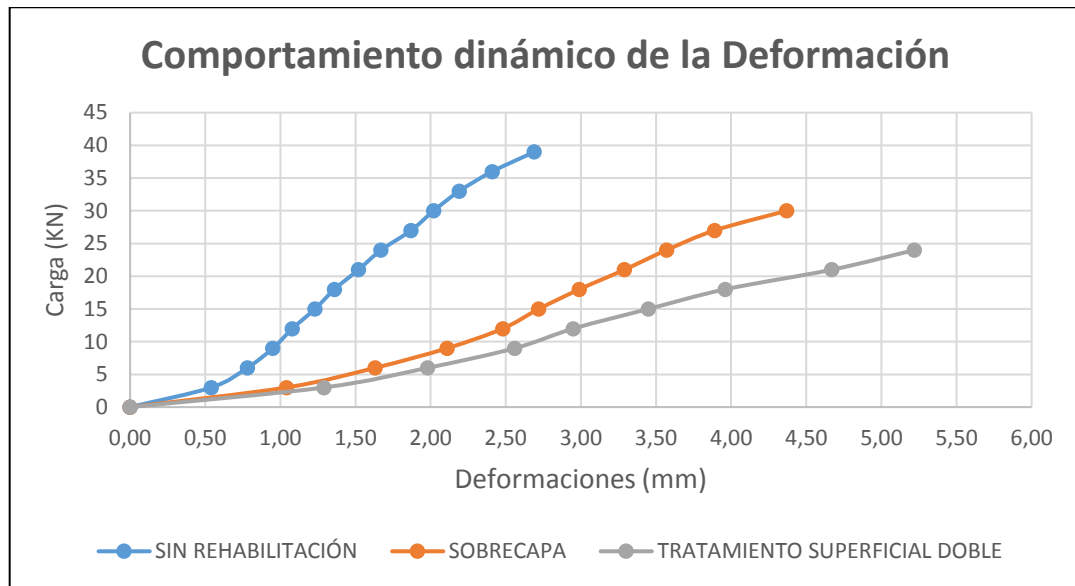
Tramo N° 3: Alejandro del Carpio (Calles Colón - Suipacha)

Tabla 4.3: Deformación (mm), Tramo N° 3

Carga (KN)	Deformación (mm)		
	Sin rehabilitación	Sobrecapa	Tratamiento superficial doble
0	0,00	0,00	0,00
3	0,54	1,04	1,29
6	0,78	1,63	1,98
9	0,95	2,11	2,56
12	1,08	2,48	2,95
15	1,23	2,72	3,45
18	1,36	2,99	3,96
21	1,52	3,29	4,67
24	1,67	3,57	5,22
27	1,87	3,89	
30	2,02	4,37	
33	2,19		
36	2,41		
39	2,69		

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.3: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo N° 3



Fuente: Elaboración propia.

Realizando este ensayo obtuvimos que la deformación que presenta el núcleo sin rehabilitación es de 2,69 mm para una carga máxima de ruptura de 39 KN, la deformación que presenta el núcleo con sobrecapa es de 4,37 mm para una carga máxima de ruptura de 30 KN y la deformación que presenta el núcleo con tratamiento superficial doble es de 5,22 mm para una carga de 24 KN, donde se puede demostrar que a medida se incrementa la carga aumenta la deformación. La deformación máxima que puede tener una mezcla asfáltica es de 5 mm.

Los núcleos con rehabilitación se deforman más rápido a comparación de la referencia, observando que las capas de rehabilitación se deforman primeramente sin afectar a la carpeta asfáltica (núcleo), donde podemos mencionar que la sobrecapa, a una carga de 18 KN llega a una deformación de 2,99 mm, en cambio el tratamiento a una carga de 6 KN su deformación es de 1,98 mm, llegando respectivamente a una diferencia de 1,38 y 3,24 mm de deformación del núcleo, verificando que sí están dentro del rango de 5 mm de deformación máxima. También podemos observar que la rehabilitación con sobrecapa (30 KN) tiene una carga máxima de ruptura mayor al del tratamiento superficial doble (24 KN), pero menor al del núcleo sin rehabilitación (39 KN).

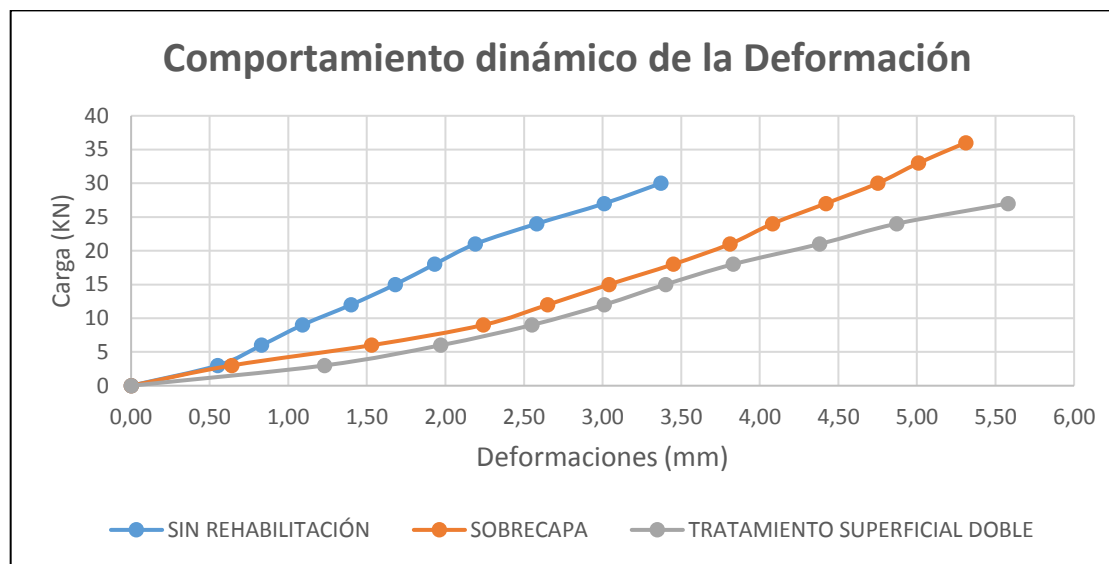
Tramo N° 4: Alejandro del Carpio (Calles Suipacha - Méndez)

Tabla 4.4: Deformación (mm), Tramo N° 4

Carga (KN)	Deformación (mm)		
	Sin rehabilitación	Sobrecapa	Tratamiento superficial doble
0	0,00	0,00	0,00
3	0,55	0,64	1,23
6	0,83	1,53	1,97
9	1,09	2,24	2,55
12	1,40	2,65	3,01
15	1,68	3,04	3,40
18	1,93	3,45	3,83
21	2,19	3,81	4,38
24	2,58	4,08	4,87
27	3,01	4,42	5,58
30	3,37	4,75	
33		5,01	
36		5,31	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.4: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo N° 4



Fuente: Elaboración propia.

Realizando este ensayo obtuvimos que la deformación que presenta el núcleo sin rehabilitación es de 3,37 mm para una carga máxima de ruptura de 30 KN, la deformación que presenta el núcleo con sobrecapa es de 5,31 mm para una carga máxima de ruptura de

36 KN y la deformación que presenta el núcleo con tratamiento superficial doble es de 5,58 mm para una carga de 27 KN, donde se puede demostrar que a medida se incrementa la carga aumenta la deformación. La deformación máxima que puede tener una mezcla asfáltica es de 5 mm.

Los núcleos con rehabilitación se deforman más rápido a comparación de la referencia, observando que las capas de rehabilitación se deforman primeramente sin afectar a la carpeta asfáltica (núcleo), donde podemos mencionar que la sobrecapa, a una carga de 15 KN llega a una deformación de 3,04 mm, en cambio el tratamiento a una carga de 3 KN su deformación es de 1,23 mm, llegando respectivamente a una diferencia de 2,27 y 4,35 mm de deformación del núcleo, verificando que si están dentro del rango de 5 mm de deformación máxima. También podemos observar que la rehabilitación con sobrecapa (36 KN) tiene una carga máxima de ruptura mayor al del tratamiento superficial doble (27 KN) y al núcleo sin rehabilitación (30 KN), permitiendo ser la mejor alternativa.

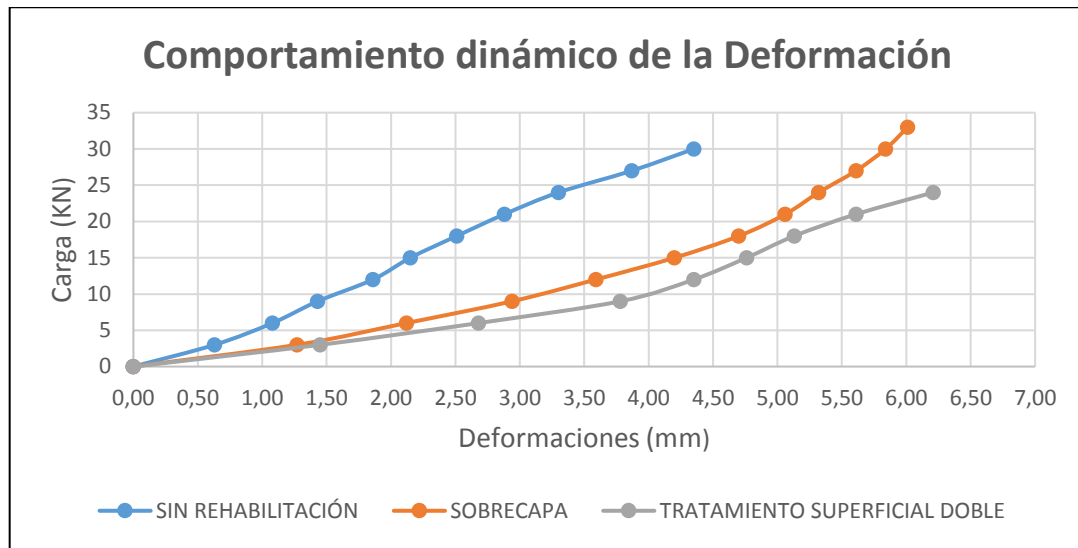
Tramo N° 5: Alejandro del Carpio (Calles Méndez - Delgadillo)

Tabla 4.5: Deformación (mm), Tramo N° 5

Carga (KN)	Deformación (mm)		
	Sin rehabilitación	Sobrecapa	Tratamiento superficial doble
0	0,00	0,00	0,00
3	0,63	1,27	1,45
6	1,08	2,12	2,68
9	1,43	2,94	3,78
12	1,86	3,59	4,35
15	2,15	4,20	4,76
18	2,51	4,70	5,13
21	2,88	5,06	5,61
24	3,30	5,32	6,21
27	3,87	5,61	
30	4,35	5,84	
33		6,01	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.5: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo N° 5



Fuente: Elaboración propia.

Realizando este ensayo obtuvimos que la deformación que presenta el núcleo sin rehabilitación es de 4,35 mm para una carga máxima de ruptura de 30 KN, la deformación que presenta el núcleo con sobrecapa es de 6,01 mm para una carga máxima de ruptura de 33 KN y la deformación que presenta el núcleo con tratamiento superficial doble es de 6,21 mm para una carga de 24 KN, donde se puede demostrar que a medida se incrementa la carga aumenta la deformación. La deformación máxima que puede tener una mezcla asfáltica es de 5 mm.

Los núcleos con rehabilitación se deforman más rápido a comparación de la referencia, observando que las capas de rehabilitación se deforman primeramente sin afectar a la carpeta asfáltica (núcleo), donde podemos mencionar que la sobrecapa, a una carga de 12 KN llega a una deformación de 3,59 mm, en cambio el tratamiento a una carga de 3 KN su deformación es de 1,45 mm, llegando respectivamente a una diferencia de 2,42 y 4,76 mm de deformación del núcleo, verificando que sí están dentro del rango de 5 mm de deformación máxima. También podemos observar que la rehabilitación con sobrecapa (33 KN) tiene una carga máxima de ruptura mayor al del tratamiento superficial doble (24 KN) y al núcleo sin rehabilitación (30 KN), permitiendo ser la mejor alternativa.

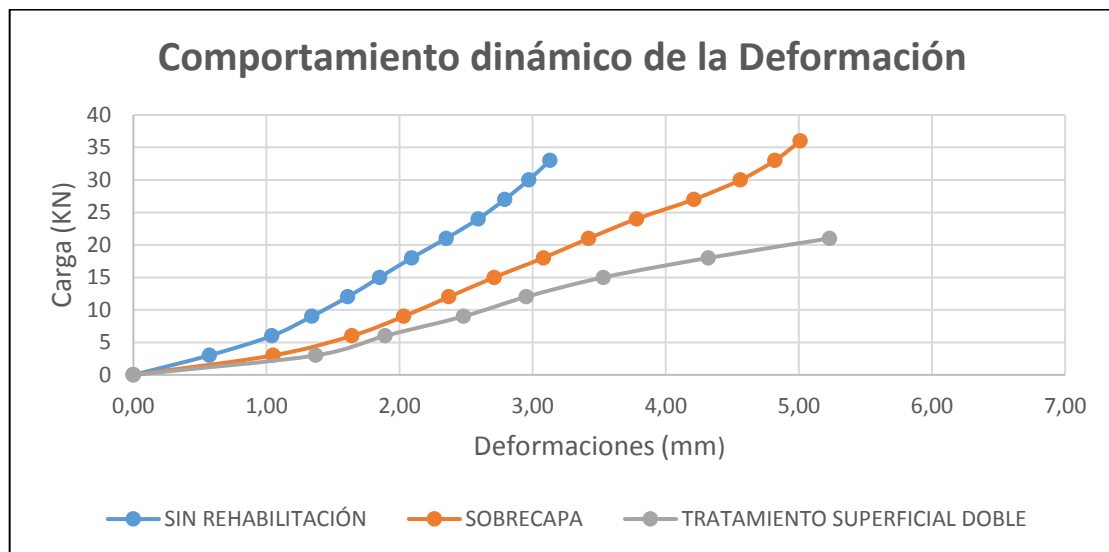
Tramo N° 6: Alejandro del Carpio (Calles Delgadillo – Issac Attie)

Tabla 4.6: Deformación (mm), Tramo N° 6

Carga (KN)	Deformación (mm)		
	Sin rehabilitación	Sobrecapa	Tratamiento superficial doble
0	0,00	0,00	0,00
3	0,57	1,05	1,37
6	1,04	1,64	1,89
9	1,34	2,03	2,48
12	1,61	2,37	2,95
15	1,85	2,71	3,53
18	2,09	3,08	4,32
21	2,35	3,42	5,23
24	2,59	3,78	
27	2,79	4,21	
30	2,97	4,56	
33	3,13	4,82	
36		5,01	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.6: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo N° 6



Fuente: Elaboración propia.

Realizando este ensayo obtuvimos que la deformación que presenta el núcleo sin rehabilitación es de 3,13 mm para una carga máxima de ruptura de 33 KN, la deformación que presenta el núcleo con sobrecapa es de 5,01 mm para una carga máxima de ruptura de

36 KN y la deformación que presenta el núcleo con tratamiento superficial doble es de 5,23 mm para una carga de 21 KN, donde se puede demostrar que a medida se incrementa la carga aumenta la deformación. La deformación máxima que puede tener una mezcla asfáltica es de 5 mm.

Los núcleos con rehabilitación se deforman más rápido a comparación de la referencia, observando que las capas de rehabilitación se deforman primeramente sin afectar a la carpeta asfáltica (núcleo), donde podemos mencionar que la sobrecapa, a una carga de 18 KN llega a una deformación de 3,08 mm, en cambio el tratamiento a una carga de 6 KN su deformación es de 1,89 mm, llegando respectivamente a una diferencia de 1,93 y 3,34 mm de deformación del núcleo, verificando que sí están dentro del rango de 5 mm de deformación máxima. También podemos observar que la rehabilitación con sobrecapa (36 KN) tiene una carga máxima de ruptura mayor al del tratamiento superficial doble (21 KN) y al núcleo sin rehabilitación (33 KN), permitiendo ser la mejor alternativa.

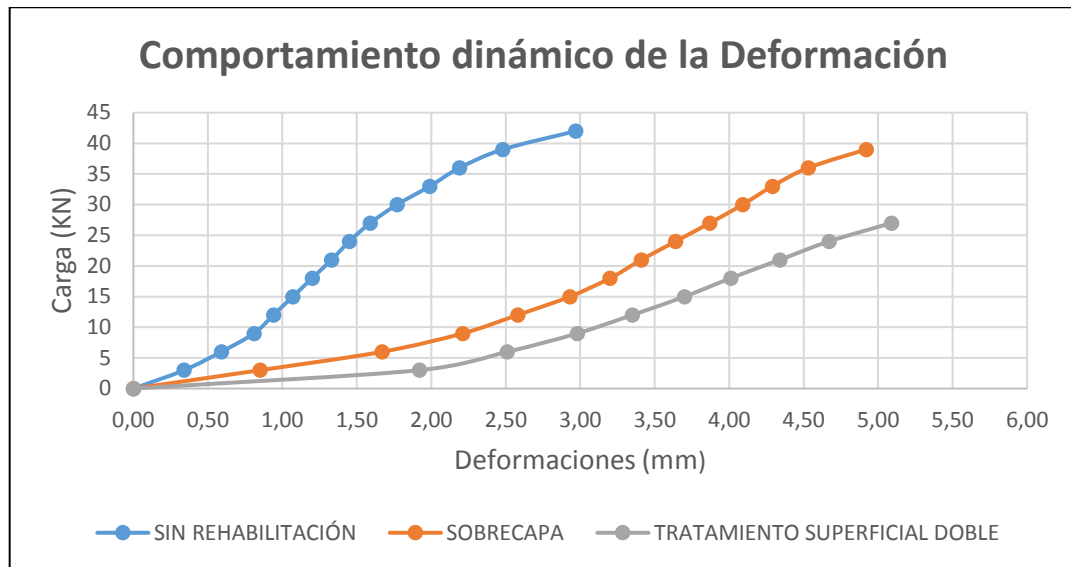
Tramo N° 7: Alejandro del Carpio (Calles Issac Attie - Junín)

Tabla 4.7: Deformación (mm), Tramo N° 7

Carga (KN)	Deformación (mm)		
	Sin rehabilitación	Sobrecapa	Tratamiento superficial doble
0	0,00	0,00	0,00
3	0,34	0,85	1,92
6	0,59	1,67	2,51
9	0,81	2,21	2,98
12	0,94	2,58	3,35
15	1,07	2,93	3,7
18	1,2	3,20	4,01
21	1,33	3,41	4,34
24	1,45	3,64	4,67
27	1,59	3,87	5,09
30	1,77	4,09	
33	1,99	4,29	
36	2,19	4,53	
39	2,48	4,92	
42	2,97		

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.7: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo N° 7



Fuente: Elaboración propia.

Realizando este ensayo obtuvimos que la deformación que presenta el núcleo sin rehabilitación es de 2,94 mm para una carga máxima de ruptura de 42 KN, la deformación que presenta el núcleo con sobrecapa es de 4,92 mm para una carga máxima de ruptura de 39 KN y la deformación que presenta el núcleo con tratamiento superficial doble es de 5,09 mm para una carga de 27 KN, donde se puede demostrar que a medida se incrementa la carga aumenta la deformación. La deformación máxima que puede tener una mezcla asfáltica es de 5 mm.

Los núcleos con rehabilitación se deforman más rápido a comparación de la referencia, observando que las capas de rehabilitación se deforman primeramente sin afectar a la carpeta asfáltica (núcleo), donde podemos mencionar que la sobrecapa, a una carga de 18 KN llega a una deformación de 3,20 mm, en cambio el tratamiento a una carga de 3 KN su deformación es de 1,92 mm, llegando respectivamente a una diferencia de 1,72 y 3,17 mm de deformación del núcleo, verificando que sí están dentro del rango de 5 mm de deformación máxima. También podemos observar que la rehabilitación con sobrecapa (39 KN) tiene una carga máxima de ruptura mayor al del tratamiento superficial doble (27 KN), pero menor al núcleo sin rehabilitación (42 KN).

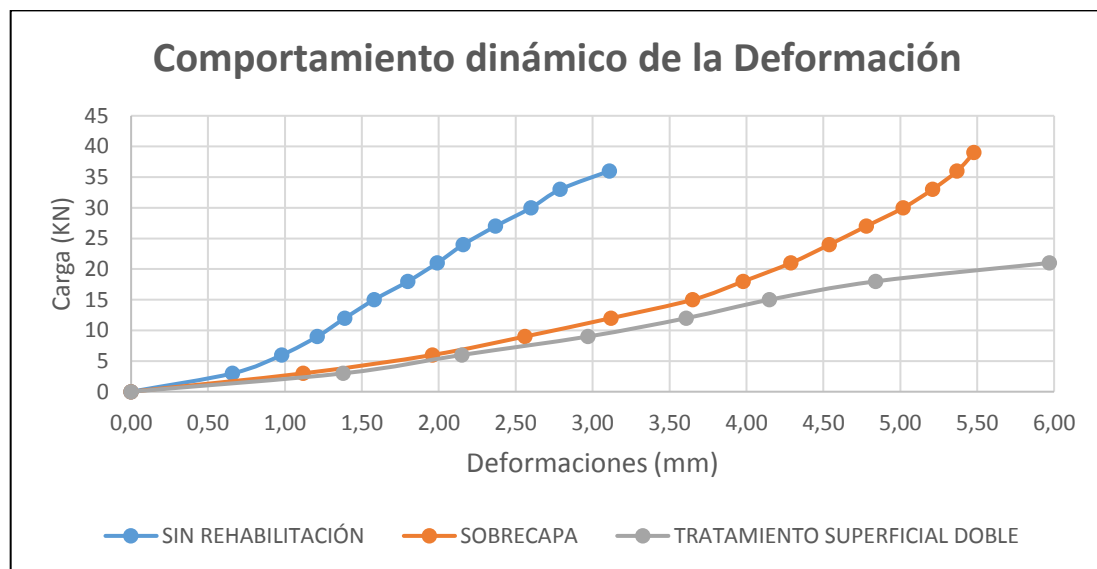
Tramo N° 8: Alejandro del Carpio (Calles Junín - O'Connor)

Tabla 4.8: Deformación (mm), Tramo N° 8

Carga (KN)	Deformación (mm)		
	Sin rehabilitación	Sobrecapa	Tratamiento superficial doble
0	0,00	0,00	0,00
3	0,66	1,12	1,38
6	0,98	1,96	2,15
9	1,21	2,56	2,97
12	1,39	3,12	3,61
15	1,58	3,65	4,15
18	1,80	3,98	4,84
21	1,99	4,29	5,97
24	2,16	4,54	
27	2,37	4,78	
30	2,60	5,02	
33	2,79	5,21	
36	3,11	5,37	
39		5,48	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.8: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo N° 8



Fuente: Elaboración propia.

Realizando este ensayo obtuvimos que la deformación que presenta el núcleo sin rehabilitación es de 3,11 mm para una carga máxima de ruptura de 36 KN, la deformación

que presenta el núcleo con sobrecapa es de 5,48 mm para una carga máxima de ruptura de 39 KN y la deformación que presenta el núcleo con tratamiento superficial doble es de 5,97 mm para una carga de 21 KN, donde se puede demostrar que a medida se incrementa la carga aumenta la deformación. La deformación máxima que puede tener una mezcla asfáltica es de 5 mm.

Los núcleos con rehabilitación se deforman más rápido a comparación de la referencia, observando que las capas de rehabilitación se deforman primeramente sin afectar a la carpeta asfáltica (núcleo), donde podemos mencionar que la sobrecapa, a una carga de 15 KN llega a una deformación de 3,65 mm, en cambio el tratamiento a una carga de 3 KN su deformación es de 1,38 mm, llegando respectivamente a una diferencia de 1,83 y 4,59 mm de deformación del núcleo, verificando que sí están dentro del rango de 5 mm de deformación máxima. También podemos observar que la rehabilitación con sobrecapa (39 KN) tiene una carga máxima de ruptura mayor al del tratamiento superficial doble (21 KN) y al núcleo sin rehabilitación (36 KN), permitiendo ser la mejor alternativa.

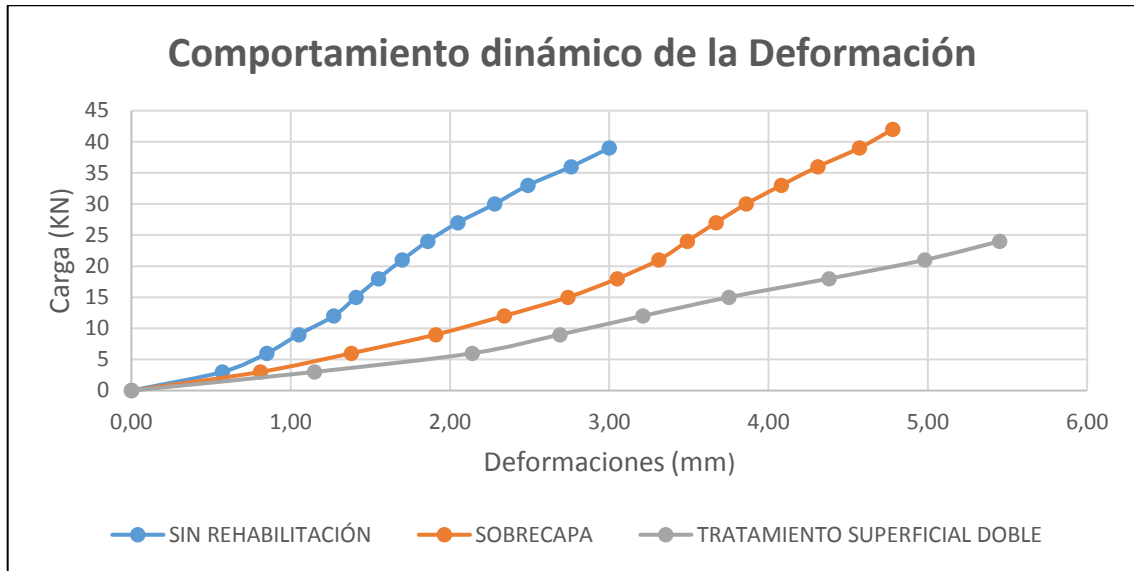
Tramo N° 9: Alejandro del Carpio (Calles O'Connor - Ejército)

Tabla 4.9: Deformación (mm), Tramo N° 9

Carga (KN)	Deformación (mm)		
	Sin rehabilitación	Sobrecapa	Tratamiento superficial doble
0	0,00	0,00	0,00
3	0,57	0,81	1,15
6	0,85	1,38	2,14
9	1,05	1,91	2,69
12	1,27	2,34	3,21
15	1,41	2,74	3,75
18	1,55	3,05	4,38
21	1,70	3,31	4,98
24	1,86	3,49	5,45
27	2,05	3,67	
30	2,28	3,86	
33	2,49	4,08	
36	2,76	4,31	
39	3,00	4,57	
42		4,78	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.9: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo N° 9



Fuente: Elaboración propia.

Realizando este ensayo obtuvimos que la deformación que presenta el núcleo sin rehabilitación es de 3,00 mm para una carga máxima de ruptura de 39 KN, la deformación que presenta el núcleo con sobrecapa es de 4,78 mm para una carga máxima de ruptura de 42 KN y la deformación que presenta el núcleo con tratamiento superficial doble es de 5,45 mm para una carga de 24 KN, donde se puede demostrar que a medida se incrementa la carga aumenta la deformación. La deformación máxima que puede tener una mezcla asfáltica es de 5 mm.

Los núcleos con rehabilitación se deforman más rápido a comparación de la referencia, observando que las capas de rehabilitación se deforman primeramente sin afectar a la carpeta asfáltica (núcleo), donde podemos mencionar que la sobrecapa, a una carga de 18 KN llega a una deformación de 3,05 mm, en cambio el tratamiento a una carga de 6 KN su deformación es de 2,14 mm, llegando respectivamente a una diferencia de 1,73 y 3,31 mm de deformación del núcleo, verificando que sí están dentro del rango de 5 mm de deformación máxima. También podemos observar que la rehabilitación con sobrecapa (42 KN) tiene una carga máxima de ruptura mayor al del tratamiento superficial doble (24 KN) y al núcleo sin rehabilitación (39 KN), permitiendo ser la mejor alternativa.

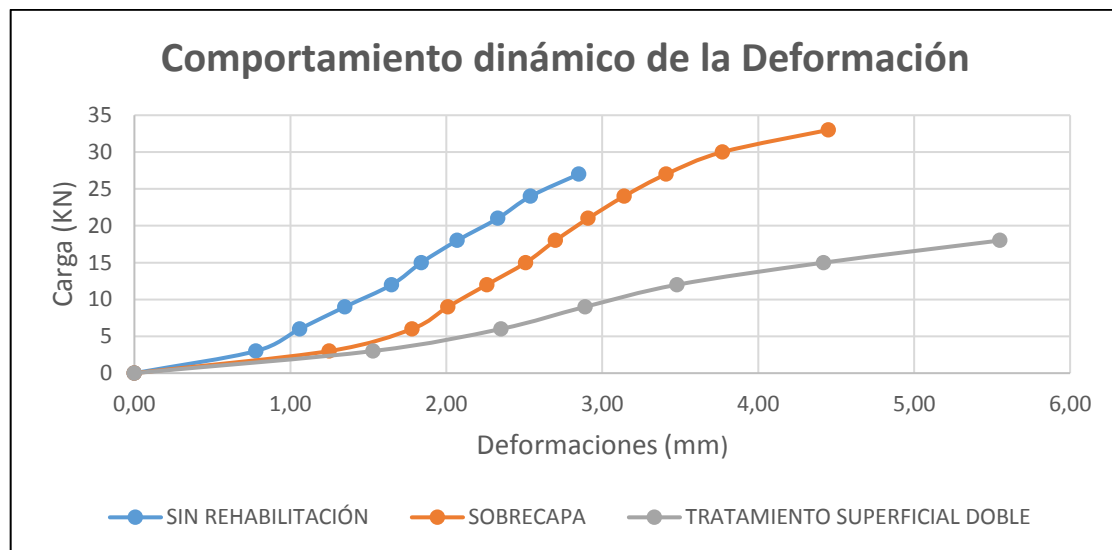
Tramo N° 10: Alejandro del Carpio (Calles Ejército - Padilla)

Tabla 4.10: Deformación (mm), Tramo N° 10

Carga (KN)	Deformación (mm)		
	Sin rehabilitación	Sobrecapa	Tratamiento superficial doble
0	0,00	0,00	0,00
3	0,78	1,25	1,53
6	1,06	1,78	2,35
9	1,35	2,01	2,89
12	1,65	2,26	3,48
15	1,84	2,51	4,42
18	2,07	2,7	5,55
21	2,33	2,91	
24	2,54	3,14	
27	2,85	3,41	
30		3,77	
33		4,45	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.10: Carga (KN) vs Deformación (mm), Tramo N° 10



Fuente: Elaboración propia.

Realizando este ensayo obtuvimos que la deformación que presenta el núcleo sin rehabilitación es de 2,85 mm para una carga máxima de ruptura de 27 KN, la deformación

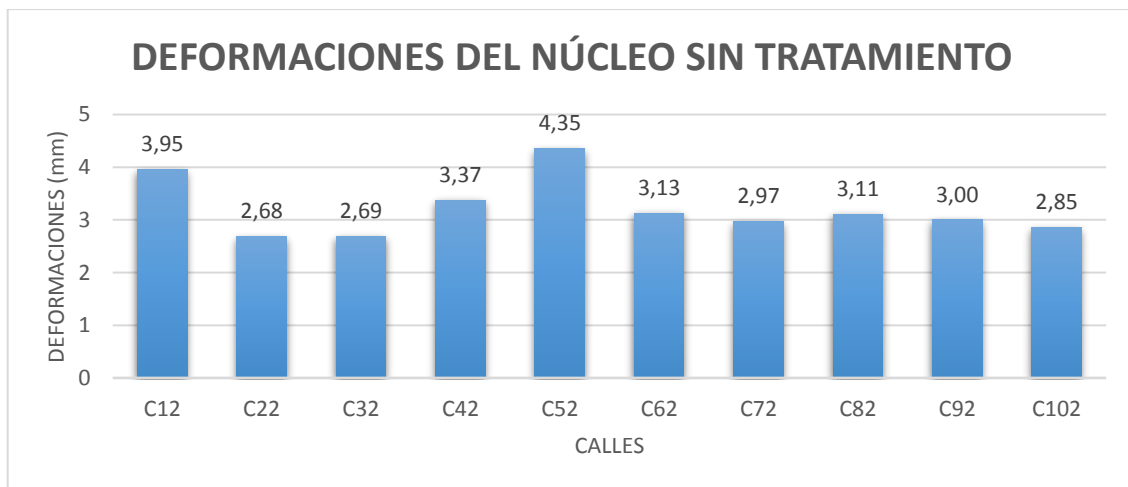
que presenta el núcleo con sobrecapa es de 4,45 mm para una carga máxima de ruptura de 33 KN y la deformación que presenta el núcleo con tratamiento superficial doble es de 5,55 mm para una carga de 18 KN, donde se puede demostrar que a medida se incrementa la carga aumenta la deformación. La deformación máxima que puede tener una mezcla asfáltica es de 5 mm.

Los núcleos con rehabilitación se deforman más rápido a comparación de la referencia, observando que las capas de rehabilitación se deforman primeramente sin afectar a la carpeta asfáltica (núcleo), donde podemos mencionar que la sobrecapa, a una carga de 15 KN llega a una deformación de 2,51 mm, en cambio el tratamiento a una carga de 3 KN su deformación es de 1,53 mm, llegando respectivamente a una diferencia de 1,94 y 4,02 mm de deformación del núcleo, verificando que sí están dentro del rango de 5 mm de deformación máxima. También podemos observar que la rehabilitación con sobrecapa (33 KN) tiene una carga máxima de ruptura mayor al del tratamiento superficial doble (18 KN) y al núcleo sin rehabilitación (27 KN), permitiendo ser la mejor alternativa.

4.1.1 Diagramas comparativas de las deformaciones por capas

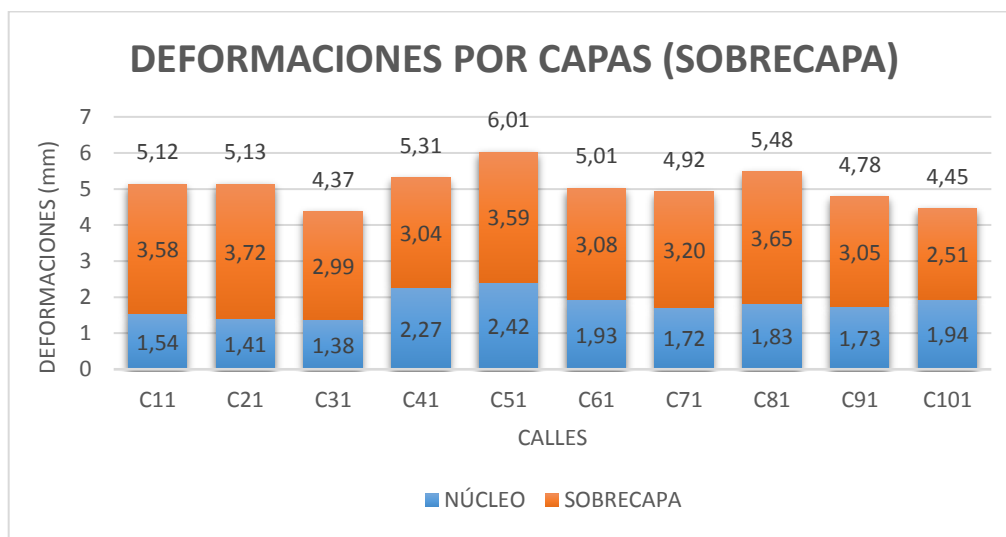
En las siguientes gráficas de diagramas, observaremos las deformaciones que presentaron, primero los núcleos sin rehabilitación y luego los núcleos al estar con rehabilitación.

Gráfica 4.11: Diagrama de las deformaciones del núcleo sin rehabilitación de todos los tramos



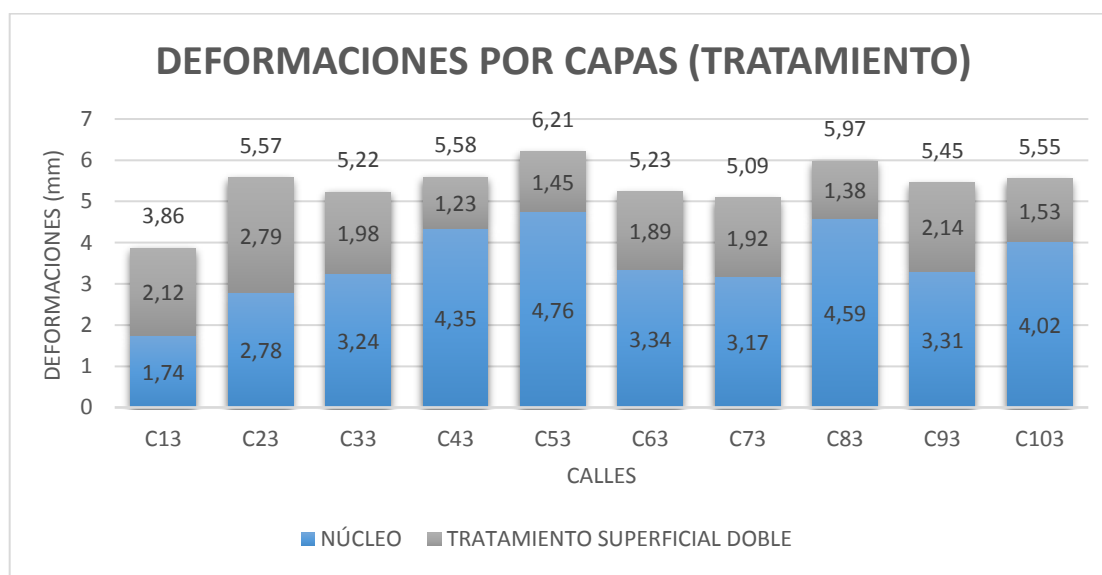
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.12: Diagrama comparativa de las deformaciones por capas (sobrecapa) de todos los tramos



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.13: Diagrama comparativa de las deformaciones por capas (tratamiento superficial doble) de todos los tramos



Fuente: Elaboración propia.

Observando los diagramas comparativos de deformaciones por capas, verificamos que los núcleos trabajan juntamente con las capas de rehabilitación, donde el primero en sufrir las

cargas y deformaciones son las capas que se encuentran encima, existiendo mayores deformaciones por parte de los tratamientos a la misma carga que la sobrecapa.

Las deformaciones ocurridas en los núcleos después de las capas de rehabilitación, tienen que ser menores a la máxima deformación de los núcleos sin rehabilitación, donde podemos observar que las sobrecapas cumplen con esa condición en todos los tramos, en cambio los tratamientos superficiales no, con excepción en el tramo N° 1.

En comparación a la máxima deformación de una mezcla de 5 mm, las dos rehabilitaciones se encuentran dentro de ese rango, pero la sobrecapa es la que cumple con todas las observaciones, el cual podemos decir que es la mejor alternativa entre las dos rehabilitaciones aplicadas.

4.2. Análisis y comparación de precios de la aplicación de los métodos de rehabilitación

Es muy importante tener en cuenta que el precio de producción es uno de los factores más relevantes a considerar en los proyectos de ingeniería, por lo tanto, mientras más eficiente sea la labor de estas, menos recursos se invertirán en su producción y a su vez el precio final será menor.

Para la presente investigación se analizará los precios de producción para los diferentes métodos de rehabilitación.

4.2.1. Análisis del precio de producción para una sobrecapa delgada

Tabla 4.11: Precio unitario para 1 m² de sobrecapa delgada.

Análisis de precios unitarios					
Proyecto de grado				Actividad N° 1	
Actividad: Sobrecapa delgada (h= 3 cm)			Cantidad:	1,00	
Unidad: m ²			Moneda:	Bs	
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
1 Materiales					
1	Grava de 3/4"	m ³	0,018	180,00	3,15
2	Gravilla de 3/8"	m ³	0,010	195,00	1,95
3	Arena	m ³	0,020	200,00	4,00
4	Gas natural	mill	0,003	16,00	0,04
5	Cemento asfáltico 85-100	kg	4,750	9,80	46,55
6	Diésel	lt	0,060	3,72	0,22
7	Gasolina especial	lt	0,003	3,74	0,01
8	Kerosene	lt	0,225	2,80	0,63
9	Escoba	pza.	0,100	35,00	3,50
Total materiales					60,05
2 Mano de obra					
1	Operador planta asfáltica	hr	0,006	25,00	0,15
2	Ayudante operador planta asfáltica	hr	0,004	10,00	0,04
3	Peón	hr	0,003	10,00	0,03
4	Operador pala cargadora	hr	0,002	20,00	0,04
5	Personal de limpieza	hr	0,084	10,00	0,84
6	Operador riego asfáltico	hr	0,004	20,00	0,08
7	Ayudante operador riego asfáltico	hr	0,004	10,00	0,04
8	Operador de terminadora de asfalto	hr	0,008	20,00	0,16
9	Nivelador de terminadora	hr	0,008	15,00	0,12
10	Operador de rodillo neumático	hr	0,008	18,00	0,14
11	Operador de rodillo liso	hr	0,008	18,00	0,14
12	Conductor volqueta	hr	0,002	20,00	0,04
13	Laborista de asfalto	hr	0,001	20,00	0,02
14	Maestro de asfalto	hr	0,004	20,00	0,08
Sub total mano de obra					1,93
Cargas sociales 65% del sub total M. O.				65,00	1,25
Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del Sub total de M. O. + Cargas sociales)				14,94	0,48
Total mano de obra					3,66
3 Equipo, maquinaria y herramientas					
1	Planta asfáltica	hr	0,004	3500,00	14,00
2	Laboratorio de asfalto	hr	0,001	400,00	0,40
3	Distribuidor de asfalto	hr	0,004	350,00	1,40
4	Terminadora de asfalto	hr	0,01	1050,00	10,50
5	Rodillo neumático	hr	0,005	350,00	1,75
6	Cargador frontal	hr	0,003	350,00	1,05
7	Volquetas	hr	0,025	150,00	3,75
8	Rodillo Liso	hr	0,010	350,00	3,50
Herramientas menores 5 % de la mano de obra				5,00	0,18
Total equipo, maquinaria y herramientas					36,53
4 Gastos generales y administrativos					
Gastos generales 10% (1+2+3)					10,02
5 Utilidad					
Utilidad 10% (1+2+3+4)					11,03
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					3,75
Total ítem precio unitario					125,04

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Análisis del precio de producción para un tratamiento superficial doble

Tabla 4.11: Precio unitario para 1 m² de tratamiento superficial doble

Análisis de precios unitarios					
Proyecto de grado					Actividad N° 2
Actividad: Tratamiento superficial doble				Cantidad:	1,00
Unidad: m²			Moneda: Bs		
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
1 Materiales					
1	Grava de 3/4"	m ³	0,009	180,00	1,60
2	Gravilla de 3/8"	m ³	0,004	195,00	0,77
4	Cemento asfáltico 85-100	kg	5,570	9,80	54,59
Total materiales					56,96
2 Mano de Obra					
1	Capataz	hr	0,60	20,00	12,00
2	Operador distribuidor de agregado	hr	0,04	12,00	0,48
3	Operador distribuidor de asfalto	hr	0,04	15,00	0,60
4	Chofer de tanque de almacenamiento	hr	0,00	18,00	0,02
5	Operador compactador mecánico	hr	0,04	8,50	0,34
6	Ayudante	hr	0,02	15,00	0,30
Sub total mano de obra					13,74
Cargas sociales 65% del sub total M. O.				65,00	8,93
Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del Sub total de M. O. + Cargas sociales)				14,94	3,39
Total mano de obra					26,05
3 Equipo, maquinaria y herramientas					
1	Camión distribuidor de agregado	hr	0,04	200,00	8,00
2	Camión distribuidor de asfalto	hr	0,04	160,00	6,40
3	Tanque de almacenamiento	hr	0,04	70,00	2,80
4	Compactador mecánico	hr	0,04	260,00	10,40
Herramientas menores 5 % de la mano de obra				5,00	1,30
Total equipo, maquinaria y herramientas					28,90
4 Gastos generales y administrativos					
Gastos generales 10% (1+2+3)					11,19
5 Utilidad					
Utilidad 10% (1+2+3+4)					12,31
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					4,18
Total ítem precio unitario					139,60

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Resumen de precios unitarios

Tabla 4.12: Resumen de precios unitarios

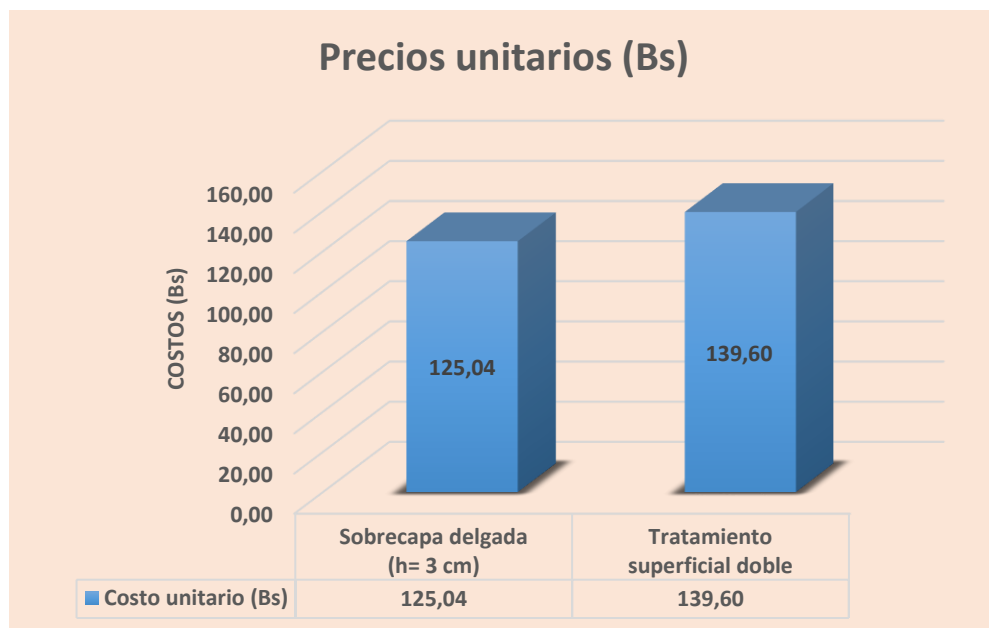
Identificación	Precio unitario (Bs)
Sobrecapa delgada (h= 3 cm)	125,04
Tratamiento superficial doble	139,60

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Comparación mediante gráficas de los precios unitarios

4.2.4.1. Comparación mediante gráficas de barras

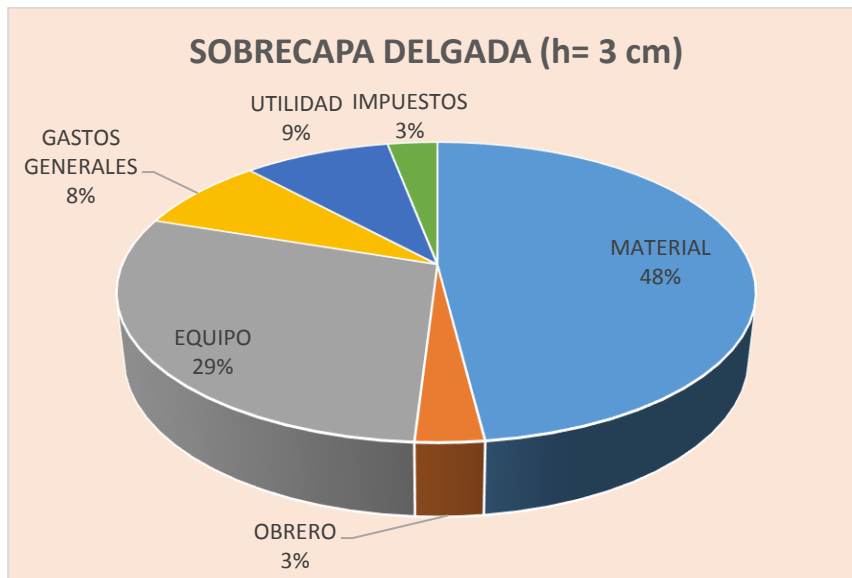
Gráfica 4.14: Comparación de precios unitarios (barras)



Fuente: Elaboración propia.

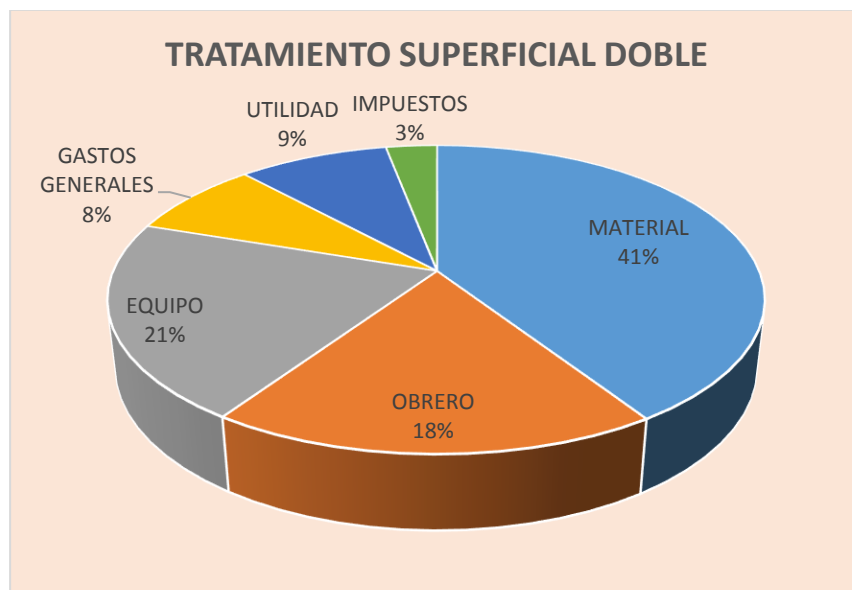
4.2.4.2. Comparación mediante gráficas de anillos

Gráfica 4.15: Tabla comparativa de la sobrecapa delgada (h= 3 cm)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.16: Tabla comparativa del tratamiento superficial doble



Fuente: Elaboración propia.

Es preciso tener en cuenta que el costo de producción es uno de los indicadores más importantes a considerar en los proyectos de ingeniería. Por lo tanto, mientras más eficiente sea la labor de éstas, menos recursos se invertirán en su producción y, por consiguiente, menor será la cuantía de los gastos.

El costo de producción debe establecerse como un medidor fiel del aprovechamiento de los recursos materiales, laborales y financieros en el proceso de producción, porque junto con los indicadores del volumen de realización, determina el nivel de ganancia que obtiene la organización.

Luego de realizar la comparación de las propiedades mecánicas, en este caso la resistencia a las deformaciones, podemos resaltar que según a los datos obtenidos la sobrecapa presenta mejor resistencia, mejorando la capacidad del núcleo de pavimento flexible viejo, a comparación del tratamiento superficial doble.

Del análisis comparativo del presupuesto para una sobrecapa delgada y un tratamiento superficial doble, se observa que el costo del tratamiento es mayor respecto a la sobrecapa, debido a la maquinaria y mano de obra que se utiliza.

4.3. Análisis e interpretación de los resultados de los agregados y cemento asfáltico

4.3.1. De los agregados

Realizando los ensayos de: Granulometría, peso específico, desgaste de los ángeles, equivalente de arena, partículas alargadas y achatadas y el peso unitario. Se observa que gratamente que todos los ensayos realizados cumplieron con todas las especificaciones requeridas para su uso.

En donde las partículas achatadas y alargadas, obtuvimos en grava un valor de 9,89 % y 9,73 % respectivamente, en cambio en la gravilla se obtuvo 9,86 % y 8,52 %, observando que son menores al 10 % planteado como máximo por las especificaciones ASTM. Así también en el peso específico y la granulometría para el diseño fueron aceptables.

Para el diseño granulométrico Marshall, obtuvimos una dosificación de 30 % de grava, 25 % de gravilla y 45 % de arena, el cual se cumplió con las todas las especificaciones requeridas.

4.3.2. Del cemento asfáltico

El asfalto convencional 85 – 100 Betunel de industria brasileña cumplió con todas las especificaciones establecidas por el fabricante para su uso, habiendo realizado los siguientes ensayos: ductilidad, punto de ablandamiento, peso específico, penetración, viscosidad y película delgada.

También se obtuvo el porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 5,20 % donde se realizó por el método de Marshall, partiendo de un valor de porcentaje mínimo de 4,50 %.

Cumpliendo con todas las especificaciones, se pudo diseñar la mezcla asfáltica para la sobrecapa y el tratamiento superficial doble.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los ensayos realizados a los agregados gruesos y finos seleccionados demuestran que son de buena calidad y cumplen con las especificaciones requeridas para la dosificación, por ejemplo, en el desgaste de los ángeles de la grava de 3/4" y gravilla de 3/8", se obtuvo un % de 25,37 y 27,22 respectivamente, que son menores al 35% planteado como máximo por la especificación ASTM. Así también la granulometría, peso específico, peso unitario y equivalente de arena fueron aceptables para el diseño.
- Se establecieron también que los ensayos realizados para el cemento asfáltico, son de buena calidad y cumplen con las especificaciones requeridas para el diseño y elaboración de mezclas asfálticas. Se obtuvieron los siguientes resultados, que según AASHTO cumplieron con todas las especificaciones:

Ensayo	Unidad	Resultados
Penetración	mm	86
Peso específico	gr/cm ³	1,024
Punto de inflamación	°C	252
Película delgada	gr/cm ³	0,8
Punto de ablandamiento	°C	45
Ductilidad	cm	110
Viscosidad	s	392

- Se realizó el diseño de las mezclas asfálticas, donde primeramente se encontró un contenido mínimo de cemento asfáltico de 4,50 %, el cual empleando el método de diseño Marshall, se obtuvo las propiedades y sus características, a fin de determinar el porcentaje de cemento óptimo cuyo valor es 5,20 %.

- Se mencionaron en general todas las fallas que se pueden hallar en los pavimentos flexibles, describiendo sus conceptos y causas más comunes que pueden provocar las mismas, también las unidades en que pueden ser medidos.
- La alcaldía nos brindó la información de las zonas de tráfico liviano, las cuales en su mayoría se encuentran dentro del casco viejo, por lo tanto, esta información nos ayudó a la selección de los tramos de estudio.
- Los métodos seleccionados para la rehabilitación de pavimentos flexibles fueron: la sobrecapa delgada y el tratamiento superficial doble, donde se diseñaron y calcularon sus dosificaciones para ser aplicados.
- Del análisis del comportamiento dinámico por la prensa universal AMSLER para los núcleos sin rehabilitación, la máxima deformación que se presentó fue de 4,35 mm con una carga de 30 KN en el tramo n° 5 (Méndez y Delgadillo), la mínima deformación se presentó en el tramo n° 2 (Daniel Campo y Colón) con 2,68 mm con una carga de 33 KN.
- Para los núcleos con sobrecapa, la máxima deformación se produjo en el tramo n° 5 (Méndez y Delgadillo) con 6,01 mm con una carga de 33 KN y la mínima deformación de 4,37 mm con una carga de 30 KN en el tramo n° 3 (Colón y Suipacha).
- Para los núcleos con tratamiento superficial doble, se presentaron una máxima deformación de 6,21 mm con una carga de 24 KN en el tramo n° 5 (Méndez y Delgadillo) y una mínima de 3,86 mm con una carga de 15 KN en el tramo n° 1 (Sucre y Daniel Campos), con este análisis se pudo comprobar que a medida que se incrementa la carga aumenta la deformación.
- Se pudo observar que las deformaciones del núcleo sin rehabilitación no sobrepasó el valor de la máxima deformación de 5 mm que puede llegar a tener una mezcla asfáltica.
- Se comprobó que los núcleos con la rehabilitación trabajan de forma conjunta, donde pudimos observar visualmente que la primera en deformarse es la capa de rehabilitación, la cual se deforma rápidamente a comparación del núcleo.

- Las sobrecapas llegan a su máxima deformación por ende a su ruptura a una carga mayor a los de los de tratamientos superficiales dobles, por ejemplo, en el tramo n° 3, la sobrecapa resistió una carga de 30 KN en cambio el tratamiento 24 KN.
- Se constató, que las deformaciones que provocan las cargas en los núcleos después de deformarse la primera capa, la sobrecapa tiende a proteger de mejor manera a los núcleos provocando deformaciones menores a sus máximas deformaciones de ruptura, verificando que los tratamientos superficiales no cumplen funciones estructurales.
- Finalmente, de acuerdo a la hipótesis, se concluye que la sobrecapa es la mejor alternativa y el más óptimo cumpliendo tanto en la parte funcional como en el presupuesto siendo el menor costo a comparación del tratamiento, el cual fue elegido de acuerdo a la calidad y costo.

5.2. Recomendaciones

- Realizar de la mejor manera los ensayos a los agregados y al cemento asfáltico a ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas para conocer sus propiedades y su calidad, además de verificar si cumplen con las especificaciones para su empleo.
- Elaborar el mezclado del cemento asfáltico con los agregados de la manera más homogénea posible para evitar la variabilidad de los resultados de la mezcla en los distintos ensayos.
- Ser muy cuidadosos al momento de trabajar con el cemento asfáltico y las mezclas asfálticas, ya que se trabaja en altas temperaturas, se debe tener muy en cuenta las recomendaciones de seguridad que te dan los encargados de laboratorio para la manipulación de los materiales y equipos.
- La extracción de núcleos se debe realizar en el horario de la noche – madrugada, para no tener problemas con la transitabilidad de los vehículos, para poder trabajar de la mejor manera y lo más importante evitar accidentes no deseados.
- Es necesario realizar una experimentación a escala real, para poder observar y verificar como son los comportamientos de los materiales de un pavimento flexible viejo al ser rehabilitado.