

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Con el pasar de los tiempos, se ha buscado mejorar la calidad de nuestros caminos, ya sea reforzando su estructura para resistir mayor carga vehicular, o para reparar caminos que presenten algún tipo de deterioro. Se ha optado por implementar nuevas alternativas para reparar pavimentos que fueron deteriorados con el pasar de los años y para ello, se elige un tipo de tratamiento superficial, en base al nivel de deterioro que presente.

El tratamiento superficial más empleado, fue el slurry o micropavimentos, la cual es una alternativa muy utilizada, ya que, si es utilizada apropiadamente, proporciona una buena solución para los problemas de la superficie. El Slurry o micropavimento puede impermeabilizar el pavimento, evitando la pérdida de material e impidiendo además el envejecimiento del ligante asfáltico, pudiendo así restaurar las propiedades del pavimento original.

El uso adecuado de los micropavimentos y Slurry, permite brindar soluciones para sellar los pavimentos que presentan un estado de oxidación muy avanzado. Además, que presenta un menor costo, y una solución más rápida para evitar molestias a los usuarios cuando estos pavimentos están siendo reparados; también provee una mayor resistencia al deslizamiento, mejorando así su nivel de vida útil.

Para esta investigación, se pretende realizar un estudio acerca de las propiedades mecánicas que presentan los micropavimentos, haciendo hincapié en las variantes mecánicas que presentará una vez que se le incorpore el RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado). Con el fin de resolver el problema económico, se pretende reutilizar el RAP, generando así una nueva alternativa de construcción de micropavimentos, que resulte económica y que aporte a la reducción de su contaminación ambiental.

1.2 Situación problemática

El problema más sobresaliente que se tiene en cuanto a pavimentos, es el deterioro que se produce con el tiempo, y esto es a causa de distintas fallas que afectan al pavimento, como suelen ser el resultado de un mal diseño de paquete estructural, una mala calidad de los materiales empleados, un deficiente sistema de drenaje para evacuar aguas de lluvia, o simplemente el efecto de las sollicitaciones externas de cargas vehiculares y agentes climáticos, etc.

A raíz de reparaciones tardías, estos pavimentos se desgastan considerablemente, perdiendo así algunas propiedades que las hacen más vulnerables ante los diversos factores que deben soportar la superficie del pavimento. Algunas de las fallas que comúnmente suelen presentarse son los agrietamientos, desintegración y baches; debido a estas fallas surgen consecuencias negativas, como ser un bajo nivel de servicio a los usuarios, ocasionando severos daños a vehículos y hasta accidentes de tránsito; es por esto que se prevee de realizarse tratamientos superficiales para refaccionarlas, haciéndolas más resistentes y de esta forma prolongar su nivel de servicio.

Una de las alternativas que comúnmente es utilizada para los tratamientos superficiales a los pavimentos, suelen ser las lechadas asfálticas (micropavimentos y slurry); debido a que estos tratamientos son aplicables de una manera más rápida y menos costosa en comparación a otro tipo de tratamiento superficial, además que no requiere mayor complejidad para su aplicación.

Actualmente, en la ciudad de Tarija, existe una variedad de calles que se encuentran deterioradas; en años anteriores, se procedió a la colocación de capas de micropavimentos en calles del casco viejo de la ciudad, este colocado se la realiza de una forma más rápida que un asfalto tradicional, proveyendo buenos resultados y rápida apertura a las calles para su uso cotidiano, sin necesidad de cortar la circulación de las calles por días, como requieren algunas otras técnicas de tratamientos superficiales.

Muchas veces el refaccionarlas requiere de un presupuesto elevado, es por eso que se pretende realizar una investigación de cómo afectaría la incorporación de la reutilización

del RAP a las lechadas asfálticas; generando así una nueva metodología más accesible para los tratamientos superficiales de los pavimentos flexibles.

1.2.1 Problema

¿En qué manera podrá influenciar el RAP a las propiedades mecánicas de los Slurry y Micropavimentos, cuando se adicione rap como material granular?

1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema

Las propiedades mecánicas son la que brindan estabilidad a los Slurrys y Micropavimentos, y es por ello que se debe analizar la variación que puede ocurrir al incorporarse rap dentro de la mezcla de estas lechadas, debido a que si se incorpora rap puede presentarse estabilidad y deformación bajas o hasta más elevadas, en comparación de mezclas convencionales de Slurrys y Micropavimentos.

1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema

Se plantea realizar la investigación durante cuatro meses, sin tomar en cuenta posibles paros o restricciones por cuarentena, y/o algún suceso inesperado que pueda alterar el tiempo tentativo que se plantea para el desarrollo de la investigación. Debido a que es necesario recurrir a un laboratorio de asfaltos para determinar lo propuesto, se trabaja en instalaciones del laboratorio de asfaltos de la U.A.J.M.S, ubicado en la ciudad de Tarija dentro del campus universitario.

1.3 Justificación

La presente investigación tiene por objetivo realizar un estudio de propiedades mecánicas de los slurry y micropavimentos, cuando a estos se le adiciones RAP para su preparación; generando de esta forma una nueva alternativa de preparación para este tipo de tratamiento superficial que se realizan a los pavimentos en deterioro.

Actualmente, se ha observado que existe un sinnúmero de calles y avenidas que necesitan reparación, algunas en mayor proporción y otras en menor, solicitando la urgencia de aplicar tratamientos superficiales. Los slurry y micropavimentos son una alternativa más

práctica y eficiente para el mantenimiento de calles en deterioro, debido a que estas no requieren de mayor complejidad para su aplicación; siempre y cuando las fallas que se presenten sean de menor proporcionalidad.

Existen un sinnúmero de pavimentos en desuso que se encuentran desechados en nuestras carreteras o en cualquier otro lugar que no sea apto, estos desechos presentan elevadas toxinas que dañan a los suelos orgánicos, erosionándolos y haciéndolos vulnerables para el cultivo de alguna vegetación. Al reutilizar el RAP se disminuye el impacto ambiental que pueden generar estos desechos cuando son botados en cualquier lugar, es por eso que se pretende reutilizar este RAP, incorporándolo como un nuevo agregado pétreo que comúnmente se suele utilizar para la preparación de estas lechadas asfálticas, de esta forma se puede generar una nueva solución para estos desechos, dándole así una nueva utilidad.

Además, se analizará las variaciones que pueden tener estas lechadas asfálticas cuando se le incremente el RAP, y de esta forma poder compararlas ante normativas y especificaciones ya establecidas. Al incrementar el RAP se pretende mejorar la calidad de los slurry y micropavimentos, así como también disminuir el costo de su empleación para que puedan ser implementadas como una nueva técnica para las empresas constructoras de caminos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades mecánicas del slurry y micropavimentos con la incorporación de rap a través de briquetas asfálticas, con la finalidad de determinar la factibilidad de su incorporación en este tipo de mezclas asfálticas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la emulsión asfáltica y su respectivo asfalto residual que se presenta dentro de la misma.

- Caracterizar los agregados a utilizar para la elaboración de muestras de este tipo.
- Determinar el contenido óptimo de emulsión asfáltica y/o asfalto residual que será empleada para la mezcla asfáltica.
- Elaborar briquetas asfálticas para ser sometidos a ensayos de laboratorio, permitiendo obtener resultados sobre las propiedades mecánicas de las lechadas asfálticas.
- Realizar un análisis a los resultados obtenidos de laboratorio, y analizar la influencia del RAP en las propiedades que presentan las lechadas asfálticas.

1.5 Hipótesis

Si se adiciona el rap en reemplazo de nuevos agregados pétreos, entonces, ¿es posible que algunas propiedades de los slurry y micropavimentos se modifiquen, haciéndola más vulnerable o más resistente ante las distintas adversidades a las cuales se enfrentan los pavimentos flexibles?

1.6 Operacionalización de las variables

1.6.1 Variable independiente

- Pavimentos asfálticos con slurry y micropavimentos.

1.6.2 Variable dependiente

- Propiedades mecánicas de slurry y micropavimentos con la adición de RAP.

1.7 Identificación del tipo de investigación

La presente investigación es de carácter experimental, esta se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

1.8 Unidades de estudio y decisión muestral

1.8.1 Unidad

- Carpetas Asfálticas de un Pavimento Flexible.

1.8.2 Población

- Propiedades mecánicas de las carpetas asfálticas del tipo Slurry y Micro Pavimentos.

1.8.3 Muestra

Se procederá a realizar 30 briquetas asfálticas para realizar su análisis, cuando a estos se le implemente RAP al 100%, 80%, 60%, 40% y 20%.

1.8.4 Muestreo

- Emulsión Asfáltica: la emulsión a usar es del Tipo RR2C, obtenida del Laboratorio de Suelos y Hormigones SOILSTESTING.
- Agregados: obtenida por una chancadora ubicada en Santa Ana, donde se realizó sus respectivos ensayos para su caracterización.
- Rap: el rap fue obtenido de la carretera de Tarija – Canaletas, donde posteriormente se realizó su caracterización.

1.9 Métodos y técnicas empleadas

Se realizarán varios ensayos para la elaboración de la investigación las cuales se llevarán en el laboratorio.

1.9.1 Métodos a utilizar en la evaluación

El método que se usará para esta investigación será el método inductivo, el cual es un proceso utilizado para sacar conclusiones generales, partiendo de hechos particulares; este método se basa en la observación, el estudio y la experimentación de diversos sucesos reales, para poder llegar a la conclusión que involucre a todos esos casos.

Para tener un mejor estudio de las muestras de Slurry y Micropavimentos se la realizará mediante ensayos de laboratorio.

- **En laboratorio:** Mediante esto, se puede realizar una caracterización de los materiales a utilizar y realizar la elaboración de briquetas asfálticas del tipo Slurry y Micropavimentos para obtener propiedades mecánicas de dichas muestras.

1.9.2 Técnicas a utilizar en la evaluación

La técnica de muestreo aplicada para esta investigación es de carácter experimental a través de ensayos. Se realizarán ensayos para la caracterización de los materiales de agregados pétreos y rap, como también ensayos para caracterizar las emulsiones asfálticas.

Caracterización de agregados

Tabla 1.1: Caracterización de los agregados

Ensayo	Descripción	Norma	Especificación
Granulometría	Mediante este ensayo se pretende obtener una buena distribución de los tamaños de los agregados, haciendolos pasar por un juego de tamices que especifica la norma para los Slurry y Micropavimentos. El RAP debe ser triturado y solo usarse aquel agregado que cumpla según las especificaciones.	AASHTO T 27 y T 11	TIPO II: Pasante tamiz N°4. TIPO III: Pasante tamiz N°3/8"
Equivalente de arena	Por medio de este ensayo se podrá caracterizar los aridos finos , además que nos permite evaluar la limpieza de los áridos a través de un indice relativo a la proporción del material, cuanto mayor es el equivalente de arena mejor es la calidad del material.	AASHTO T 176	45% min
Desgaste de Los Ángeles	El objetivo de la prueba de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles es determinar la resistencia a la trituración o abrasión de los materiales pétreos utilizados en las mezclas asfálticas.	AASHTO T 96	35% max.

Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de la emulsión asfáltica

Tabla 1.2: Caracterización de la emulsión asfáltica y residuo asfáltico

Ensayo	Descripción	Norma
Penetración	El ensayo de penetración tiene el objetivo de determinar el grado de dureza que tiene un cemento asfáltico del cual dependerá confirmar su utilización para la investigación.	AASHTO T 49 ASTM D 5 COVENIN 1105 MOP E 203
Viscosidad Saybolt Furol	Se define al ensayo de viscosidad aquel que determina la fluidez de un cemento asfáltico de manera que comprobemos las características suficientes para incorporar a una mezcla asfáltica. Existen diversas formas de determinar la viscosidad, para la investigación se usará la mas usual que es la de Saybolt Furol.	AASHTO T 72 ASTM E 102 COVENIN 426-92 MOP E 211
Punto de Ablandamiento	El ensayo de anillo y bola se emplea para determinar el punto de reblandamiento de los asfaltos. Este ensayo ha sido normalizado por la ASTM bajo el número D-2398, y empleado fundamentalmente para conocer el grado de susceptibilidad que tiene un material ante las variaciones de temperatura.	AASHTO T 53 ASTM D 2398 COVENIN 1419 MOP E 208
Ductilidad	La ductilidad de los materiales bituminosos se mide por su distancia de elongación antes de la ruptura, cuando los extremos de una briqueta conteniendo el espécimen se separan a una velocidad y temperatura determinada.	AASHTO T 51 ASTM D 113 COVENIN 1123 MOP E 205
Peso Específico	El peso específico del asfalto es la relación de su peso en el aire, al peso de un volumen igual de agua obteniendo como resultado el 0,996 estando dentro del límite permitido según la norma ASTM D-70.	ASTM D 70
Residuo por Destilación	Se emplea para el ensayo de emulsiones asfálticas con el fin de proporcionar información acerca de los componentes volátiles de los asfaltos líquidos y facilitar el medio para separar el cemento asfáltico de dichos componentes.	AASHTO T 78 ASTM D 402 COVENIN 418-93 MOP E 215

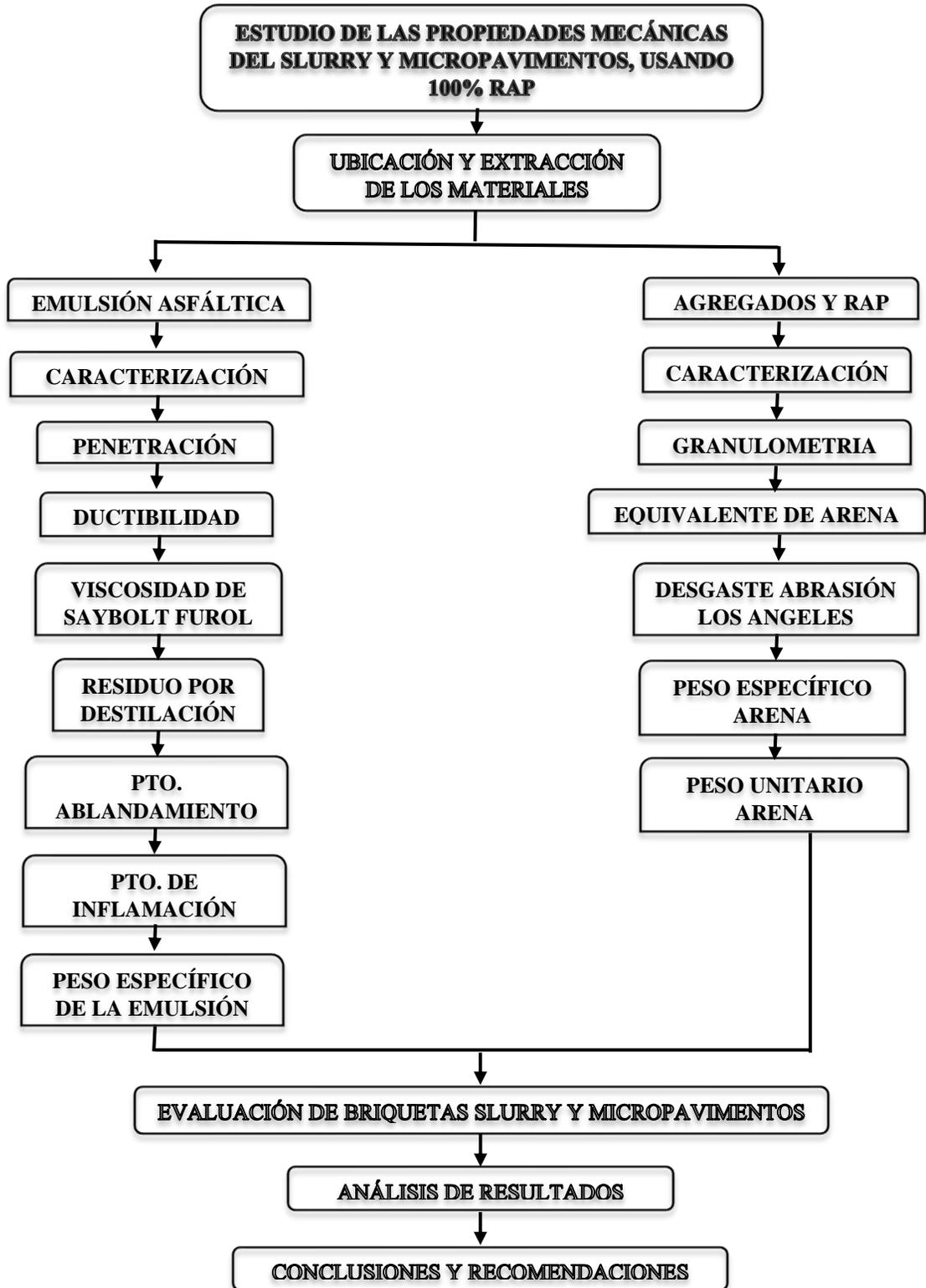
Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de briquetas para Slurry y Micropavimentos

- ❖ **Estabilidad:** Resistencia que ofrecerá la mezcla a la deformación, cuando esté sujeta a los esfuerzos aplicados.
- ❖ **Flujo:** Capacidad de deformación del asfalto.

No existe parámetros con las cuales se pueda comparar estos resultados de propiedades mecánicas, por lo cual se opta tomar como referencia o briquetas patrón aquellas que tengan un 0% de rap, ya que éstas vendrían a ser las briquetas convencionales del tipo Slurry y Micropavimento.

1.10 Procesamiento de la información



Para esta investigación, se pretende realizar un estudio de propiedades mecánicas de los Slurry y Micropavimentos, cuando a estos se le adicionen al 100% RAP; pero también se procederá a hacer el análisis implementando rap en distintos porcentajes, se pretende elaborar un mínimo de 30 muestras para someterla a diversos ensayos. A continuación, se presenta una tabla con los porcentajes a implementar de rap y la cantidad de muestras de briquetas que se elaborará.

Tabla 1.3: Elaboración de briquetas para laboratorio

Clasificación	Cantidad de briquetas	% de RAP y agregados pétreos
Slurry – Granul. Tipo II	3	100% agregado pétreo.
Slurry – Granul. Tipo II	3	20% RAP, 80% agregado pétreo
Slurry – Granul. Tipo II	3	40% RAP, 60% agregado pétreo
Slurry – Granul. Tipo II	3	60% RAP, 40% agregado pétreo
Slurry – Granul. Tipo II	3	80% RAP, 20% agregado pétreo
Slurry – Granul. Tipo II	3	100% RAP
Micropavimento – Granul. Tipo III	3	100% agregado pétreo
Micropavimento – Granul. Tipo III	3	20% RAP, 80% agregado pétreo
Micropavimento – Granul. Tipo III	3	40% RAP, 60% agregado pétreo
Micropavimento – Granul. Tipo III	3	60% RAP, 40% agregado pétreo
Micropavimento – Granul. Tipo III	3	80% RAP, 20% agregado pétreo
Micropavimento – Granul. Tipo III	3	100% RAP

Fuente: Elaboración propia.

La investigación iniciará con la ubicación y extracción del material, los materiales a usar para la mezcla asfáltica serán la emulsión asfáltica, agregados, rap y filler; todos estos materiales serán adquiridos de la alcaldía de la ciudad de Tarija. Debido a que los Slurry y Micropavimentos son lechadas asfálticas, estos requieren de material fino es decir de granulometría fina, es por eso que el rap será triturado y posterior se la llevará a ser

tamizado; se usará el material que solo pase por el tamiz N°4, ya que esta es la partícula más grande que presentan los Slurrys y Micropavimentos.

Una vez seleccionado el material, se procederá a ser caracterizados para su aplicación en los Slurry y Micropavimentos. Para caracterizar la emulsión asfáltica se deben realizar diversos ensayos, entre ellos se mencionarán los que se realizarán:

- ❖ Penetración.
- ❖ Viscosidad.
- ❖ Residuo por Destilación.
- ❖ Punto de Ablandamiento.
- ❖ Ductilidad.
- ❖ Peso Específico.

Con todos estos ensayos se pretende determinar que la emulsión asfáltica cumpla con todas las especificaciones que indica la normativa de los Slurry y Micropavimentos. Posterior a esto, se debe caracterizar a los agregados y rap, con la finalidad de estos cumplan con sus especificaciones que se requiere. Para esto se deberá realizar los siguientes ensayos:

- ❖ Granulometría.
- ❖ Equivalente de arena.
- ❖ Desgaste los Ángeles.

Una vez caracterizados los materiales, se realizará su debida dosificación y mezclado, para poder elaborar las briquetas y someterlas al ensayo del Marshall, y posterior a ello, se procederá a evaluar los parámetros de:

- ❖ Esfuerzo.
- ❖ Deformación o Fluencia.

Finalmente, se realizará el análisis de resultados y su comparación ante normativas ya establecidas, para poder establecer las conclusiones de la investigación.

1.11 Alcance

El presente trabajo denominado “Estudio de las propiedades mecánicas del Slurry y Micropavimentos, usando 100% rap”, corresponde a una investigación de carácter experimental, la cual consiste en observar el comportamiento de las propiedades mecánicas que tienen el Slurry y Micropavimentos cuando a estos se le adicione rap. Se analizan los parámetros de estabilidad y fluencia por medio del ensayo Marshall, para la cual se realizó briquetas asfálticas con distintos porcentajes de rap y briquetas convencionales al 0% de rap.

El alcance de la investigación es del tipo descriptivo, con un diseño experimental por medio de ensayos de laboratorio, aplicando el método inductivo para sacar las conclusiones a partir de tres hechos particulares: la observación, el estudio y la experimentación de diversos sucesos.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DEL TIPO SLURRY Y MICROPAVIMENTOS

2.1 Generalidades

Los slurry seal y micropavimentos corresponden a aplicaciones de emulsiones asfálticas, con adición de polímeros, que generalmente son utilizadas principalmente en la conservación de pavimentos de asfalto.

La ISSA (International Slurry Surfacing Association) define las lechadas como una mezcla de agregado (incluyendo el filler), emulsión asfáltica de quiebre lento, agua y aditivo, la que es distribuida uniformemente sobre la superficie de un pavimento existente, en espesores que van desde los 3 a 10 mm.

Por otro lado, los micropavimentos se definen como un tipo más avanzado de pavimentación superficial por distribuidas en espesores de 9 a 16 mm de espesor compuestas por emulsiones asfálticas modificadas con polímeros, en su totalidad agregado triturado, finos minerales, agua y aditivo de control según su uso, que se aplican sobre la superficie dañada para recuperar la funcionalidad de la vía.

La finalidad de este capítulo es poder conocer los conceptos básicos sobre el Slurry y Micropavimentos y todo lo que ello puede englobar, para de esta forma tener un mayor entendimiento sobre la investigación que se está realizando.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Pavimento

Estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales elaborados o no, colocados sobre el terreno acondicionado, que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos:

- Con seguridad.
- Con comodidad.

- Con el costo óptimo de operación.
- Superficie uniforme.
- Superficie impermeable.
- Color y textura adecuados.
- Resistencia a la repetición de cargas.
- Resistencia a la acción del medio ambiente.
- Que no transmita a las capas inferiores esfuerzos.
- Mayores a su resistencia.

Es importante tener en cuenta que el pavimento puede revestirse con diferentes materiales, como piedras o maderas. El término, sin embargo, suele asociarse en algunos países al asfalto, el material utilizado para construir calles, rutas y otras vías de comunicación.

Las denominadas mezclas asfálticas y el hormigón son los materiales más habituales para crear el pavimento urbano, ya que tienen un buen rendimiento de soporte y permiten el paso constante de vehículos sin sufrir grandes daños.

En los últimos años se ha promovido el desarrollo de pavimento que sea sostenible y que respete el medio ambiente. En este sentido cabe mencionar la creación de pavimento que combina el asfalto con el polvo de caucho que se obtiene a partir de neumáticos reciclados y la utilización del producto conocido como noxer, que tiene la capacidad de absorber la contaminación que producen los tubos de escape de los vehículos.

(Giordani, Claudio y Leone, Diego. *Pavimentos*. Universidad Tecnológica Nacional. Rosario - Argentina. Pág. 2).

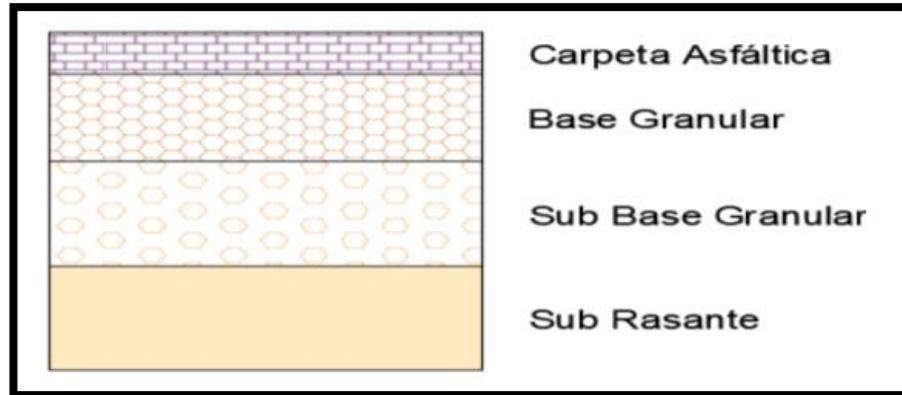
2.2.2 Tipos de pavimentos

Existen cuatro tipos de pavimentos convencionales como se muestra a continuación, estos adquieren su nombre de acuerdo con la respuesta estructural del pavimento.

Pavimento flexible: Según Kutz, (2011), “Los pavimentos flexibles son estructuras compuestas de varias capas, las capas superiores generalmente se construyen con materiales que tienen una mejor calidad, mientras que las capas inferiores se construyen

con materiales que tienen una calidad inferior que los materiales de la capa superior”, este tipo de pavimento está constituido por una mezcla asfáltica integrada por material bituminoso, agregados, filler y adicciones.

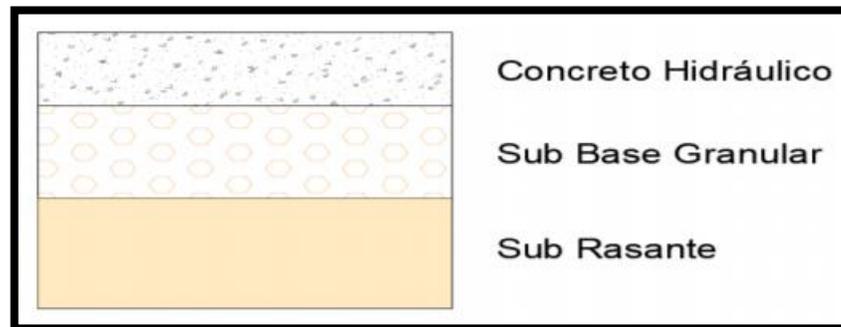
Figura 2.1: Estructura de pavimento flexible



Fuente: Peralta, Cristian José (2020).

Pavimento rígido: Para Kutz (2011), “se refieren al pavimento construido con concreto de cemento portland, este tipo de pavimento a menudo se analiza sobre la base de la teoría de placas”, para este proyecto se propone este tipo de sistema de pavimento, una de las características más sobresalientes de su poco mantenimiento durante su vida útil. Los pavimentos rígidos pueden estar soportado directamente sobre la sub rasante, o sobre una capa de material granular, como se muestra en la siguiente figura 2.3.

Figura 2.2: Estructura de pavimento rígido



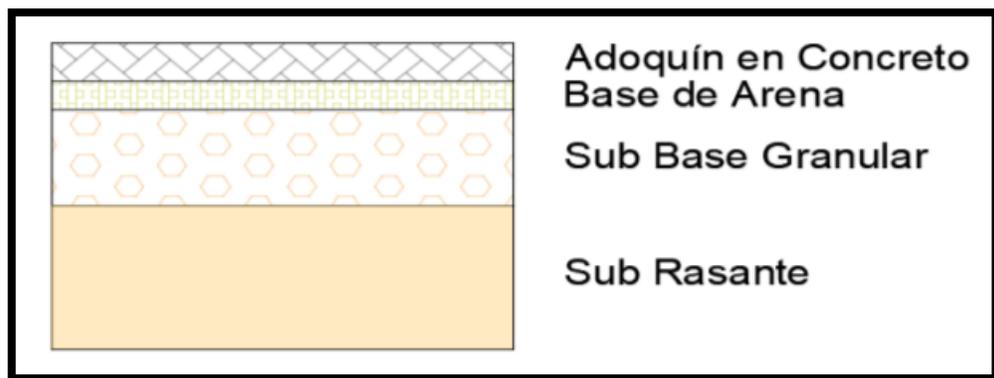
Fuente: Peralta, Cristian José (2020).

Los pavimentos rígidos se pueden dividir en cuatro tipos:

- Pavimento Articulado de Concreto Simple (JPCP).
- Pavimento Articulado de Concreto Reforzado (JRCP).
- Pavimento Continuo de Concreto Reforzado (CRCP).
- Pavimento de Concreto Pretensado (PCP).

Pavimento articulado: De acuerdo con blog pavimento articulado, 2019 “están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concretos prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme que puede esta puede ir ubicada sobre una capa delgada de arena”. Este tipo de pavimento es utilizado en la zona urbana para tráfico de vehículos livianos como autos, buses, y camiones pequeños, también son utilizados en vías en zonas de inestabilidad.

Figura 2.3: Estructura del pavimento articulado

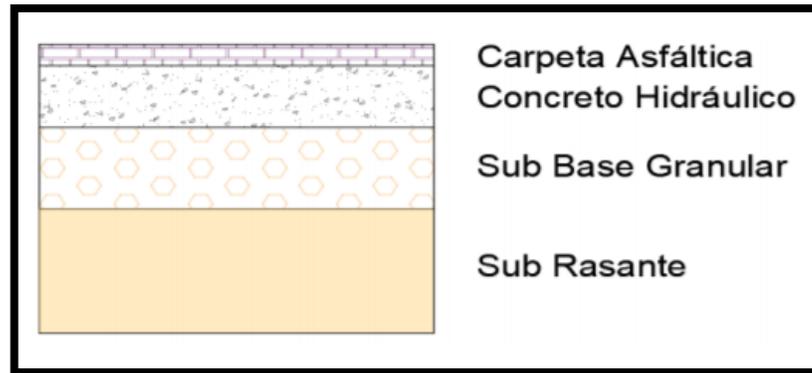


Fuente: Peralta, Cristian José (2020).

La configuración típica de este tipo de pavimento está en soportar la superficie de rodadura sobre una capa de arena, y esta sobre una capa de material granular, con el fin de corregir las deformaciones causadas por el tráfico generalmente se realiza sobre terrenos altamente inestable con el fin de hacerle mantenimiento periódico de bajo costo.

Pavimento semi-rígido: Es aquel en el que se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir, pavimentos “flexibles” y pavimentos “rígidos”, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima.

Figura 2.4: Estructura de pavimento semi-rígido



Fuente: Peralta, Cristian José (2020).

(Peralta López, Cristian J. (2020). *Diseño en pavimento rígido de la carrera 22 entre calles 15 y 18 del distrito turístico y cultural de Riohacha – La Guajira*. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá – Colombia. Pág. 14).

2.2.3 Elementos de pavimentos flexibles

- **Base:** La base es la capa situada debajo de la carpeta (pavimento flexible). Su función es eminentemente ser resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tránsito pesado. Así, para tránsito medio y ligero se emplean las tradicionales bases granulares, pero para tránsito pesado se emplean ya materiales granulares tratados con un cementante.

Figura 2.5: Etapas para la preparación de la base



Fuente: (Miranda Rebolledo, 2010).

- **Sub – base:** En los pavimentos flexibles, la subbase es la capa situada debajo de la base y sobre la capa subrasante, debe ser un elemento que brinde un apoyo uniforme y permanente al pavimento. Cuando se trate de un pavimento rígido, esta capa se ubica inmediatamente abajo de las losas de hormigón, y puede ser no necesaria cuando la capa subrasante es de elevada capacidad de soporte. Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su colocación y compactación. Debe ser un elemento permeable para que cumpla también una acción drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales usados carezcan de finos y en todo caso suele ser una capa de transición necesaria. Esta capa no debe ser sujeta al fenómeno de bombeo y que sirva como plataforma de trabajo y superficie de rodamiento para las máquinas pavimentadoras. En los casos que el tránsito es ligero, principalmente en vehículos pesados, puede prescindirse de esta capa y apoyar las losas directamente sobre la capa subrasante. Se emplean normalmente subbases granulares constituidas por materiales cribados o de trituración parcial, suelos estabilizados con cemento, etc.

- **Sub – rasante:** Esta capa debe ser capaz de resistir los esfuerzos que le son transmitidos por el pavimento. Interviene en el diseño del espesor de las capas del pavimento e influye en el comportamiento del pavimento. Proporciona en nivel necesario para la subrasante y protege al pavimento conservando su integridad en todo momento, aún en condiciones severas de humedad, proporcionando condiciones de apoyo uniformes y permanentes. Con respecto a los materiales que constituyen la capa subrasante, necesariamente deben utilizarse suelos compactables y obtener por lo menos el 95% de su grado de compactación.

Figura 2.6: Etapas para la preparación de la subrasante



Fuente: (Miranda Rebolledo, 2010).

(Miranda Rebolledo, Ricardo J. (2010). *Deterioro en pavimentos flexibles y rígidos*. Universidad Austral de Chile. Valdivia – Chile. Pág. 2).

2.2.4 Carpeta asfáltica o de rodadura

La carpeta asfáltica o de rodadura es la parte superior del pavimento flexible, la cual es una capa compuesta por material granular y cemento asfáltico compactado.

Todo agregado que se emplee en la carpeta asfáltica deberá cumplir con ciertas características como ser: granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. Es recomendable que dichas partículas del agregado presenten forma esférica, debido a que el agregado en forma de laja o punteada puede llegar a romperse fácilmente y afectar en su granulometría.

La carpeta asfáltica tiene las siguientes funciones:

- Proporcionar una superficie de rodamiento que permita un tránsito fácil y cómodo para los vehículos.
- Impedir la infiltración de agua de lluvia hacia las capas inferiores.
- Resistir la acción de los vehículos.

2.2.4.1 Compuestos de una carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica o de carpeta de rodadura está compuesta por los siguientes:

- **Material asfáltico:** El asfalto es un material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras o autopistas. También es utilizado en impermeabilizantes. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de bitumen, (AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-30 Y AC-40, los AC-5 normalmente son emulsiones.
- **Emulsión asfáltica:** Aniónicas (-), catiónicas (+) y de rompimiento rápido, medio y lento. Las emulsiones asfálticas son una mezcla de asfalto con agua que con el emulsificante una emulsión estable que permite tender las carpetas asfálticas "en frío", es decir, a temperaturas menores a 100°C. Las desventajas de las emulsiones asfálticas son principalmente el tiempo de fraguado que estas requieren, la complicada química y reología que se desarrolla en las emulsiones, pues los compuestos químicos presentes en el asfalto.
- **Agregados pétreos:** El término agregado se refiere a partículas minerales granulares que se usan ampliamente para bases, sub-bases y relleno de carreteras. Los agregados también se usan en combinación con un material cementante para formar concretos para bases, sub-bases, superficies de desgaste y estructuras de drenaje. Las fuentes de agregados incluyen los depósitos naturales de arena y grava, los pavimentos pulverizados de concreto y asfalto, el material pétreo resquebrajado y la escoria de altos hornos.

2.2.4.2 Tipos de carpetas asfálticas

Son tres los tipos de carpetas asfálticas más usados en el país:

- Por riegos.
- Mezclas en el lugar.
- Concretos asfálticos.

Carpetas por el sistema de riegos

Las carpetas por riegos consisten en una serie de capas sucesivas de productos asfálticos y pétreos sobre la base impregnada. La forma de construir las carpetas por riegos es la siguiente:

Sobre la base impregnada se da un primer riego de producto asfáltico que se cubre con un riego del material pétreo grueso; por medio de una compactadora de rodillo liso de 10 ton, se acomoda y se hacen tres cubrimientos de la superficie. En seguida, se repite toda la operación, solo que el material pétreo debe ser de dimensiones menores que el usado antes. Después se repite la operación con el material pétreo más fino; es decir, se da un riego de asfalto fluidificado, se riega el material pétreo y se acomoda con un rodillo liso.

Se deja una semana para que fragüe el producto asfáltico (es decir, que se evaporen los solventes) y, después de un barrido manual o mecánico, se retira el material fino que no esté adherido al resto de la estructura. El tipo de carpeta construida según especificaciones se denomina de tres riegos y los materiales pétreos que se utilizan tienen granulometría uniforme, es decir, su gama de tamaños es corta. Estos materiales se clasifican en los siguientes: el material 1 es el más grueso y su gama de tamaños es de 25.4 mm (1 pulg) a 6.35 mm (1/4 pulg); el material 2, de tamaño intermedio, varía de 12.7 mm (1/2 pulg) a 2.38 mm (num. 8); y el material 3, el más fino, tiene una granulometría de 9.51 mm (3/8 pulg) a 0.42 mm (N°40). También hay carpetas de uno y dos riegos cuyo procedimiento de construcción es semejante, pero se omiten uno o dos de los ciclos mencionados: el correspondiente al material 1 para la carpeta de 2 riegos y los de los materiales 1 y 2 para la de un riego. Los productos asfálticos que se utilizan en estas carpetas de riegos son: rebajado de tipo FR-3 y emulsiones de fraguado medio.

La cantidad apropiada en cada caso depende de la densidad y absorción del material pétreo, así como del tipo de producto asfáltico que se piensa utilizar. Lo conveniente es que hacer tramos de pruebas, variando las cantidades entre los rangos recomendados.

Carpetas asfálticas de mezclas en el lugar o en frío

Para elaborar las mezclas asfálticas en el lugar, se utilizan materiales pétreos de granulometría continua; las normas establecen dos zonas. El material pétreo se mezcla a la temperatura ambiente y es factible utilizar en la mezcla: rebajado asfáltico FR-3 (que se calienta a la temperatura adecuada) o emulsión de fraguado medio; asimismo, la mezcla se puede efectuar con moto conformadoras o mezcladoras semifijas. El control para verificar la calidad de las mezclas elaboradas en el lugar, consiste en conocer el contenido de asfalto y el peso volumétrico alcanzado en la compactación. Es preciso conocer si la permeabilidad de la carpeta es menor al 10%, pues en caso contrario, se debe proporcionar un sello.

Una carpeta asfáltica debe ser lo bastante impermeable, si una carpeta nueva o antigua no cumple con esta característica, se debe sellar superficialmente con uno de dos procedimientos; riego de sello o mortero asfáltico.

Carpetas de concreto asfáltico

Las carpetas de concreto asfáltico son mezclas de materiales pétreos y cemento asfáltico recubierto. Como este último es sólido a temperatura ambiente, es necesario calentarlo en una planta hasta 140°C; por consiguiente, el material pétreo también se calienta, a la temperatura de 160°C.

Para las carpetas de concreto asfáltico, las normas son muy exigentes en cuanto a su granulometría y marcan una sola zona granulométrica relativamente angosta, en donde debe alojarse la curva de proyecto. Esta curva está en función de la dureza y densidad del material y el equipo de trituración del contratista, que en algunos casos se requiere cambiar o ajustar para cumplir las especificaciones. En México está muy generalizado usar la prueba de Marshall para encontrar el contenido óptimo de asfalto; para ello se preparan

los especímenes con los siguientes contenidos de asfalto: uno con 0,5% menos que el CMCT, otro con este contenido y cuatro con contenidos mayores que 0,5% cada uno.

(Huerta Monteón Luis R. *Tipos de carpetas asfálticas*. Universidad de Guadalajara. Pág. 3).

2.2.5 Mezcla asfáltica

Es una combinación constituida por agregados pétreos (áridos) o siderúrgicos y ligante bituminoso (asfáltico), siendo que sus propiedades físicas dependen de las cantidades relativas de estos componentes. Estas mezclas forman parte de un pavimento flexible.

Tipos de Mezclas Asfálticas:

a) En función a la temperatura de fabricación, transporte y aplicación:

- Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC): Combinación de áridos (mezcla de varios tamaños de áridos gruesos y finos, incluido el polvo mineral) con un ligante asfáltico (Cemento Asfáltico de Petróleo-CAP), procesada en una planta sofisticada a altas temperaturas entre 150 y 160°C. (6). 15
- Mezclas Asfálticas Semi-tibias (MAST): Combinación de áridos (mezcla de varios tamaños de áridos gruesos y finos, incluido el polvo mineral) y ligante bituminoso (CAP), producidas a temperaturas debajo de la temperatura de vaporización del agua (100°C). (7).
- Mezclas Asfálticas Tibias (MAT): Son un tipo de mezcla de los mismos componentes que las MAC, producidos típicamente a temperaturas en un rango entre 120 ° C a 140 ° C. (7)
- Mezclas Asfálticas en Frio (MAF): Es un tipo de mezcla que combina áridos (mezcla de varios tamaños de áridos gruesos y finos, incluido el polvo mineral) con un ligante asfáltico en una planta o en una mezcladora portátil, a temperatura ambiente. Es decir, no se calientan los agregados ni el ligante asfáltico, se colocan y compactan a temperatura ambiente. Una mezcla de este tipo es la Mezcla

Asfáltica Emulsionada Modificada con Polímeros (MAEp), materia de este estudio como alternativa para conservación vial.

(Coronel Fonseca, O. (2017). *Micropavimento: Alternativa técnico-económica para la pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan-Pucusana*. Universidad César Vallejo. Lima –Perú. Pág. 14).

2.2.6 Slurry Seal

El Slurry Seal o lechada asfáltica, es una mezcla de agregados de granulometría cerrada, emulsión asfáltica, aditivos y agua. La mezcla se aplica como un tratamiento de superficie. Las lechadas asfálticas pueden ser tanto una técnica de mantenimiento preventiva como correctiva. El tratamiento no aumenta la resistencia estructural de un pavimento. Cualquier pavimento que es estructuralmente débil en áreas localizadas, debiera ser reparado antes de la aplicación de lechada asfáltica. Ahuellamiento, ondulaciones, hundimientos a lo largo de los bordes, deficiencias en el abovedado, u otras irregularidades de la superficie que disminuyen la transitabilidad del camino, debieran corregirse antes de extender la lechada asfáltica.

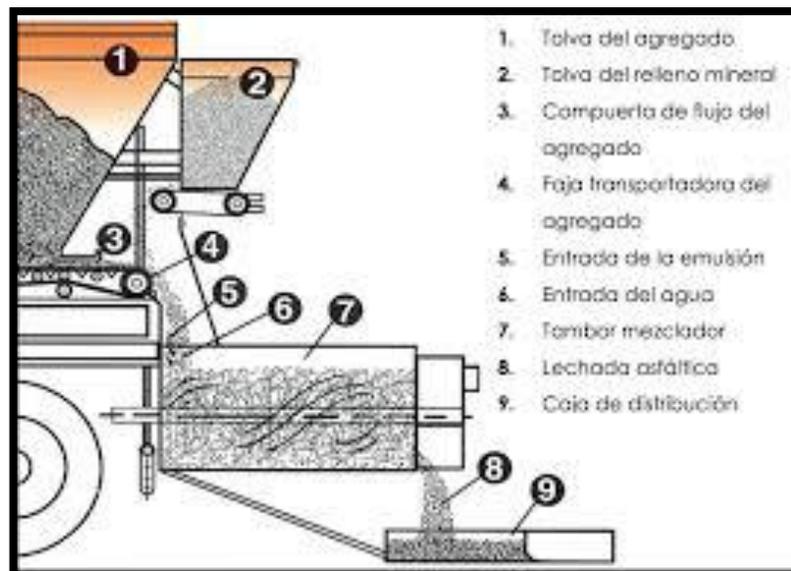
La lechada asfáltica es una técnica de mantenimiento muy efectiva para superficies de pavimentos viejos. La lechada llenara las fisuras superficiales, detendrá el desprendimiento de agregados y pérdida de matriz, mejorará la resistencia al deslizamiento y en general protegerá al pavimento y reducirá el deterioro por oxidación y agua y así prolongara globalmente la vida útil del pavimento.

Figura 2.7: Equipo de lechada asfáltica



Fuente: Bergkamp Inc.

Figura 2.8: Diagrama de una típica mezcladora para lechadas asfálticas



Fuente: Laname-UCR.

Tabla 2.1: Granulometrías para Slurry Seal

Tipo de gradación	I	II	III
Uso general	Sellado de fisuras y sellado de fino	Sellados en general, superficies de textura media	Superficies de textura muy pronunciada
Tamaño del tamiz	Porcentaje pasante	Porcentaje pasante	Porcentaje pasante
9,5 mm (3/8 pulg.)	100	100	100
4,75mm (N°4)	100	90-100	70-90
2,36mm (N°8)	90-100	65-90	45-70
1,18mm (N°16)	65-90	45-70	28-50
600 μm (N°30)	40-65	30-50	19-34
300μm (N°50)	25-42	18-30	12-25
150μm (N°100)	15-30	10-21	7-18
75μm (N°200)	10-20	5-15	5-15
Contenido de residuo asfáltico, en % de peso de agregado seco	10-16	7,5-13,5	6,5-12
Aplicación en kg/m ² (libras/yarda ²), basada en el peso de agregado seco	3,6-5,4 (8-12)	5,4-9,1 (12-20)	8,2-13,6 (18-30)
Recomendadas por la asociación internacional de lechadas asfálticas (international slurry surfacing association)			

Fuente: (Instituto de Asfalto y Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas, 2014)

Las lechadas asfálticas tienen varias ventajas:

- Son de rápida aplicación y así permiten una pronta reapertura del pavimento al tráfico.
- Impiden que el agregado este suelto.
- Proveen textura superficial y resistencia a la fricción excelentes.
- Capacidad para corregir irregularidades superficiales menores.
- Mínima pérdida de altura del cordón.
- No hay necesidad de ajustes por la presencia de bocas de inspección y otras estructuras.
- Excelente tratamiento de bajo costo para calles urbanas.

La lechada asfáltica se aplica en un espesor de 3 a 9 mm (1/8 a 3/8 pulgadas). La máquina utilizada para la mezcla y la aplicación es una unidad independiente, de mezcla de flujo continuo. Ella alimenta con exactitud a la cámara de mezclado con cantidades predeterminadas de agregado, filler mineral, aditivos, agua y emulsión asfáltica.

El agregado para lechadas debe ser limpio, anguloso, durable, bien graduado, y uniforme. Debe ser posible, debiera emplearse material de trituración en un 100%.

Para lechadas asfálticas se emplean tres granulometrías de agregados (*tabla 2.1*). La gradación Tipo I corresponde a una capa de sellado de poco espesor, que provee máxima penetración en las fisuras y buenas propiedades de sellado. La lechada asfáltica Tipo I también es un excelente pretratamiento para una capa de mezcla asfáltica en caliente o para un tratamiento superficial (chip seal). Tiene un buen comportamiento en áreas de baja densidad de tráfico, donde el principal objetivo es el sellado, tales como playas de estacionamiento, campos de aterrizaje de aviones livianos, o banquinas.

El tipo II es la gradación para lechadas más ampliamente utilizada. Las lechadas de granulometría tipo II protegen el pavimento subyacente de la oxidación y del daño por la humedad y mejoran la fricción superficial. Adicionalmente, las lechadas del tipo II pueden corregir casos de desprendimiento severo. Se emplean en pavimentos con tráfico moderado.

La gradación del Tipo III se emplea en correspondencia con aplicaciones voluminosas (8.2-13.6 kg/m²) y altos valores de fricción superficial. Las lechadas asfálticas Tipo III se emplean en carreteras de tráfico pesado.

Las emulsiones asfálticas utilizadas en las lechadas pueden ser SS-1 (RL-1), CSS-1 (CRL-1), SS-1h (RL-1h), QS-1h (RR QS-1h), CSS-1h (CRL-1h) o CQS-1h (RR QS-1h). Para las emulsiones CQS-1h y QS-1h, no se exige el ensayo de mezcla con cemento. La emulsión adecuada para cualquier agregado de lechada asfáltica puede ser verificada mediante una mezcla de diseño.

Es importante reparar todas las áreas de falla previamente a la aplicación de la lechada asfáltica. Selle las fisuras en la superficie del pavimento con un aceptable sellado de fisuras. Finalmente, la superficie debe ser limpiada de todos los materiales sueltos, manchas de aceite, vegetación y toda otra materia extraña.

Las lechadas asfálticas no deberían colocarse cuando la temperatura del pavimento o del aire es inferior a 10°C (50°F) y está descendiendo; pero pueden ser aplicadas cuando la temperatura del pavimento y del aire son superiores a 7°C (45°F) y en ascenso. Las lechadas asfálticas no deberían ser extendidas cuando existe la posibilidad de que el producto final hiele dentro de las 24 horas de ser colocado. Las lechadas asfálticas no deberían ser aplicadas en condiciones de niebla excesiva o en periodos de lluvia.

(Instituto de Asfalto y Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas. *Tratamientos superficiales*. Manual Básico de Emulsiones Asfálticas. Manual series N°19. Pág. 41).

2.2.7 Micropavimento

Al igual que las lechadas asfálticas, el micropavimento es una mezcla de agregados bien graduados, emulsión asfáltica, filler, aditivos y agua; pero mediante la adición de polímeros y el uso de técnicas de diseño especializadas, con el micropavimento pueden lograrse espesores varias veces el tamaño del agregado.

Como tratamiento superficial, el micropavimento ofrece protección al pavimento subyacente y mejora los valores de fricción superficial. Emulsivos especiales presentes en emulsiones de microaglomerados contribuyen a las características de rápida rotura. Bajo condiciones promedio, se requieren formulaciones que permitan la liberación de la superficie al tránsito normal en una hora. Reperfilados menores pueden lograrse con una múltiple aplicación. Hay equipos especiales que permiten rellenar huellas de hasta 40 mm (1 ½ pulgadas) en una sola pasada.

Las características y beneficios de los micropavimentos incluyen:

- Rápida rotura, rápida liberación del tránsito.
- La rotura química permite aplicación durante la noche.
- Adecuado para carreteras de accesos controlados, de alto volumen de tráfico.

- Distribuciones unitarias de aplicación para una simple pasada de 11 a 16 kg/m² (20-30 libras/yardas²), resultando en espesores de 9 a 16 mm (3/8 a 5/8 pulgadas).
- La capa inicial seguida de una capa de terminación provee un reperfilado menor y una nueva superficie de rodamiento.
- El relleno de ruedas seguido de una capa de terminación provee un apropiado drenaje de agua y reduce la posibilidad de hidropneumático del vehículo.

El micropavimento es mezclado y colocado por camiones auto-propulsados, compartimentados, diseñados específicamente para esta tarea. Una muy precisa dosificación asegura adecuados porcentajes de cada componente en el volumen de alimentación continua. La cámara de mezclado es una mezcladora de doble eje, múltiples paletas, que rápidamente combina y mezcla completamente los materiales. La mezcla semi-fluida de micropavimento cae en una caja de enrasado con barrenos y es depositada sobre el pavimento en el ancho de una trocha, a medida que el camión avanza a lo largo del camino.

Las cargas de micropavimento para ahuellamiento están diseñadas para depositar material directamente dentro de las huellas. Con múltiples pasadas de relleno de huellas, pueden corregirse depresiones de más de 50 mm (2 pulgadas) de profundidad. Esta técnica permite la prevención del riesgo hidropneumático sin el fresado de la superficie existente.

Los agregados para micropavimento son piedras procesadas, 100% trituradas, tales como granito, escoria, calizas, u otros agregados de alta calidad. Para uso en micropavimento, el agregado individual o la mezcla de agregados deben cumplir las siguientes especificaciones:

- Equivalente de arena (Sand equivalent), ASTM D 2419 (AASHTO T 176) = 60 como mínimo.
- Durabilidad (Soundness), ASTM C 88 (AASHTO T 104) = 15% como máximo (utilizando sulfato de sodio, Na₂SO₄), o 25% como máximo (utilizando sulfato de magnesio, MgSO₄)

— Pérdida en el ensayo de Los Ángeles, ASTM C 131 (AASHTO T 96) composición C o D = 30% como máximo.

El agregado Tipo II se emplea para recapado general de calles y carreteras con volumen de tráfico medio. El agregado Tipo III se emplea para recapado en vías para tráfico pesado, reperfilados menores, relleno de huellas y para áreas donde son deseables altos valores de fricción.

Tabla 2.2: Granulometrías para micropavimentos

Tipo de gradación	II	III
Uso general	Recapado general, sellado y restauración de la fricción superficial	Recapado de carreteras de alto volumen de tráfico, relleno de huellas. Provee superficies de alta fricción
Tamaño del tamiz	Porcentaje pasante	Porcentaje pasante
9,5 mm (3/8 pulg.)	100	100
4,75mm (N°4)	90-100	70-90
2,36mm (N°8)	65-90	45-70
1,18mm (N°16)	45-70	28-50
600 µm (N°30)	30-50	19-34
300µm (N°50)	18-30	12-25
150µm (N°100)	10-21	7-18
75µm (N°200)	5-15	5-15
Contenido de residuo asfáltico, en % de peso de agregado seco	5,50-9,50	5,50-9,50
Distribución unitaria de aplicación, en kg/m ² (libras/yarda ²), basada en el peso de agregado seco	5,40-9,10 (12-20)	8,20-13,60 (18-30)
*Recomendadas por la asociación internacional de lechadas asfálticas (international slurry surfacing association)		

Fuente: (Instituto de Asfalto y Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas, 2014)

Para micropavimento, las emulsiones CSS-1h-p (CRL) son las más ampliamente utilizadas. Estos materiales son empleados para poner en evidencia las características de rotura de la mezcla. A menudo, y para facilitar el mezclado, se utilizan como aditivos

surfactantes orgánicos. Al igual que con las lechadas asfálticas, el agua en micro-pavimentos debe ser potable y compatible con la mezcla.

El micropavimento es en sí mismo ligante. No se requiere un riego de liga a menos que la superficie a tratar esté extremadamente seca y haya sufrido severos desprendimientos o sea un pavimento de hormigón o de ladrillos. De ser necesario el riego de liga, este consistirá de una parte de emulsión asfáltica y de tres partes de agua.

En general, entre múltiples pasadas, el micro-pavimento debería curar en 24 horas. Este proceso de curado permite la evaporación del agua y el desarrollo de la resistencia en las pasadas anteriores. El micro-pavimento normalmente no debería colocarse cuando la temperatura del pavimento o del aire es inferior a 10°C (50°F) y está descendiendo; pero pueden ser aplicadas cuando las temperaturas del pavimento y del aire son superiores a 7°C (45°F) y en ascenso. Los micro-pavimentos no deberían ser colocados cuando existe la posibilidad de que el producto final hiele dentro de las 24 horas de aplicado. Los micro-pavimentos no deberían ser aplicados si llueve.

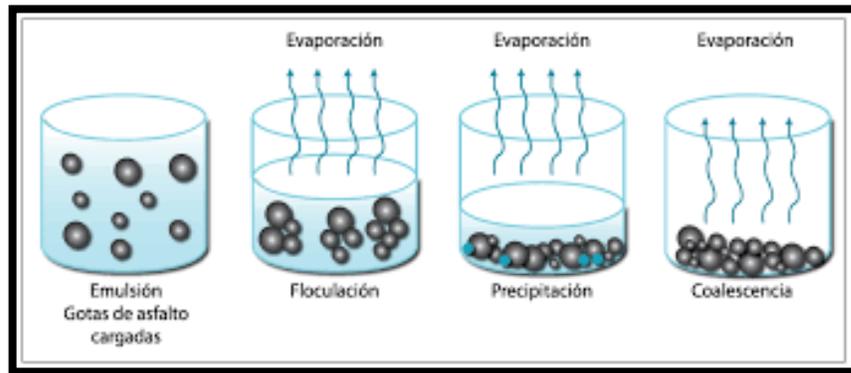
(Instituto de Asfalto y Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas. *Tratamientos superficiales*. Manual Básico de Emulsiones Asfálticas. Manual series N°19. Pág. 45).

2.2.8 Componentes del Slurry y Micropavimentos

2.2.8.1 Emulsión asfáltica

Las emulsiones asfálticas son la dispersión de pequeñas micro-partículas de asfalto dentro de una matriz acuosa. Las emulsiones típicamente contienen entre un 40% al 70 % de asfalto, son líquidos de consistencia que van desde fluidas 17 hasta muy viscosas. El tamaño de la partícula está en un rango desde 0,01 a 20 micrones de diámetro. Una emulsión es una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, no miscible entre sí, como, por ejemplo, el látex natural o algunos aceites vegetales. Esta mezcla es posible gracias a la ayuda de un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases: una es la fase continua y la otra la fase dispersa.

Figura 2.9: Esquema de una emulsión



Fuente: Biblioteca Digital USB.

2.2.8.1.1 Componentes de la emulsión asfáltica

Básicamente las emulsiones asfálticas están compuestas de los siguientes componentes:

- **Cemento asfáltico:** El cemento asfáltico es el componente principal de la emulsión debido a que ésta ocupa entre un 40% a 70% del total de la misma. El correcto funcionamiento del cemento asfáltico dentro del proceso de la elaboración de la emulsión se debe a que ésta tiene que cumplir algunas particularidades de tipo físico-químicas. En la práctica se recomienda que el Cemento Asfáltico de Petróleo presente las siguientes características:
 - El estado coloidal debe ser de tipo sólido y solido-gel.
 - El rango porcentual de contenido de asfaltenos: 18% - 26%.
 - Contenido de aceites: 44% - 50%.
 - El porcentaje de contenido de resinas cálcicas cíclicas aromáticas es el 15% del contenido de resinas.
 - El contenido de parafinas debe ser bajo.
 - El contenido de ácidos nafténicos debe ser alto, es decir, el índice de acidez debe ser mayor a 1,0.
 - El índice de penetración debe estar en el rango de -1 a +1.
 - Bajo contenido de sal.

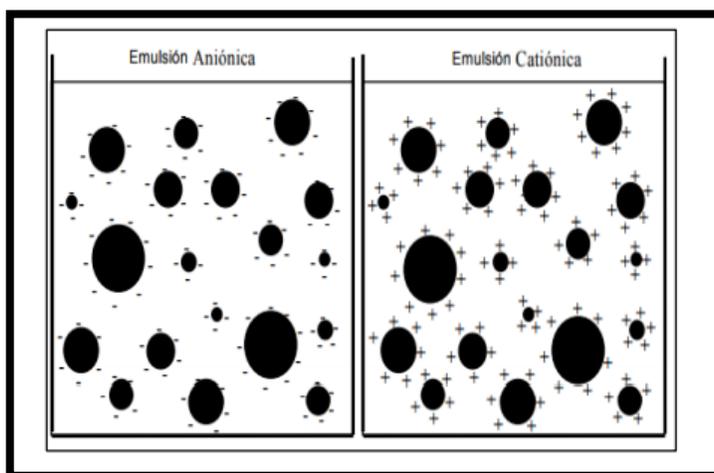
- El agua: El agua es el principal componente al momento de determinar la consistencia de la mezcla. Está presente en tres formas:
- Como humedad contenida en los agregados.
 - Como agua de mezcla.
 - Como uno de los dos componentes que se encuentra en mayor cantidad dentro de la elaboración mezcla asfáltica.

La cantidad de agua en la mezcla es determinante, por ejemplo, si la cantidad de agua es muy alta (12%), provocará una segregación ya que la mezcla se encuentra muy fluida; en cambio si la cantidad de agua es baja, la mezcla asfáltica perderá la cohesión con el pavimento existente. El agua no se lo somete a ensayos de laboratorio, lo único que se tiene que tomar en cuenta es el control de la presencia de minerales, como calcio o magnesio ya que éstas afectan sus propiedades químicas.

- El emulsificante: Dentro de la composición de las emulsiones, el emulsificante, interviene en un porcentaje bajo, pero su función es muy importante, el emulsificante es el agente estabilizador nos permite que los glóbulos de asfalto se unan con el agua. Permite el rompimiento oportuno y cambia las tensiones superficiales de los agregados en contacto con la emulsión.

Los emulsificantes compuestos generalmente por un radical alquilo R el cual es hidrofóbico (sin afinidad con el agua) y un componente hidrofílico, que se encuentran saponificados y con el contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante como se muestra en la figura a continuación.

Figura 2.10: Esquema de una emulsión aniónica y catiónica



Fuente: Documento técnico N°23 Sanfadila, Qro.

2.2.8.1.2 Clasificación de las emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas de acuerdo al:

- a) Tipo de emulsificante.

En este caso existen dos tipos, aniónicas y catiónicas:

Emulsiones aniónicas: El agente emulsificante en este tipo de emulsiones les confiere una polaridad negativa a los glóbulos, es decir, que éstos adquieren una carga negativa.

Emulsiones catiónicas: El agente emulsificante en este tipo de emulsiones les confiere una polaridad positiva a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga positiva.

- b) Tipo de ruptura.

Se pueden clasificar de acuerdo a su estabilidad, estas pueden ser de:

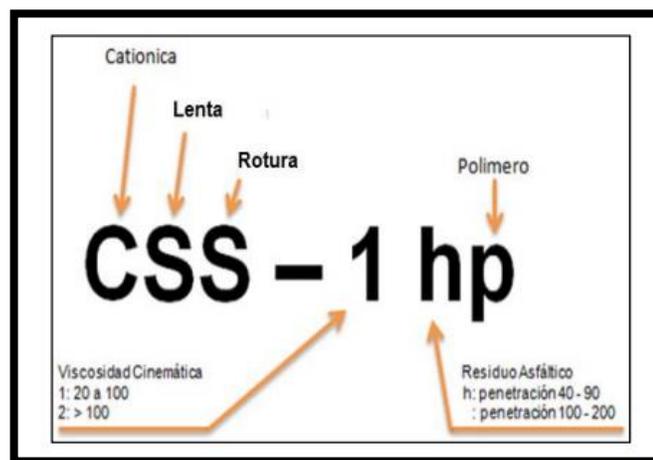
Ruptura rápida: Estas se utilizan para Tratamientos Superficiales, como riegos de liga, impregnaciones, Tratamientos Simples, Tratamientos Dobles, Fog Seal, etc. Su nomenclatura según la norma ASTM D2397 se designa como CRS -1 o CRS-2, cuyas siglas en inglés significan en inglés – Cationic Rapid Setting (en español Catiónica de Ruptura Rápida).

Ruptura media: Estas normalmente se usan para la producción de mezclas asfálticas en frío semiabiertas o abiertas, procesadas en plantas o manualmente, cuyas aplicaciones sirven para capas de base, carpetas de rodadura, bacheos, etc. Su nomenclatura según la norma ASTM D2397 se designa como CMS -1 o CMS-2, cuyas siglas en inglés significan en inglés – Cationic Medium Setting (en español Catiónica de Ruptura Media).

Ruptura lenta: Las emulsiones de este tipo se usan para carpetas de mezcla en frío densa o cerrada, procesadas en planta o manualmente. También pueden ser utilizadas en estabilizaciones de capas de pavimentos y en impregnaciones de bases granulares. Asimismo, las emulsiones de tipo súper-lenta, pueden ser utilizadas para fabricación de morteros asfálticos como lechadas asfálticas o Micropavimentos. Su nomenclatura según la norma ASTM D2397 se designa como CSS -1 o CSS1h, cuyas siglas en inglés significan en inglés – Cationic Slow Setting (en español Catiónica de Ruptura Lenta).

(Coronel Fonseca, O. (2017). *Micropavimento: alternativa técnico-económica para la pavimentación del asentamiento humano Lomas de Marchan-Pucusana*. Universidad César Vallejo. Pág. 16).

Figura 2.11: Esquema de la nomenclatura según la norma ASTM D 2397



Fuente: Coronel Fonseca, 2017

2.2.8.2 Agregados

Los áridos que se utilizan en la composición de una lechada son arenas naturales de ríos, arenas de trituración de rodas o una mezcla de ambas. Los mismos deberán cumplir los siguientes requisitos: estar limpios de materias orgánicas, no contener polvo, grumos o terrones arcillosos.

Las lechadas elaboradas íntegramente con agregados de trituración presentan excelentes propiedades mecánicas y de resistencia al deslizamiento. Sin embargo, el agregado de arenas naturales, no solo puede resultar económico sino también mejorar su trabajabilidad. Pero ha de tenerse presente que el porcentaje máximo de arena natural a incorporar será menor que no afecte las propiedades mecánicas o la calidad antideslizante.

2.2.8.3 Relleno mineral y aditivos

El objetivo del relleno mineral es evitar la segregación pues corrige la curva granulométrica produciendo una mezcla de mayor consistencia y menos propensa a este fenómeno. También ayuda a acelerar el rompimiento de la emulsión asfáltica debido a que aumenta el área de contacto entre el agregado y la emulsión. El relleno mineral deberá consistir en una matriz de agregado mineral como polvo de roca, cenizas, cal hidratada, cemento hidráulico, limos finos u otros materiales adecuados. En el momento de su uso debe estar completamente seco para permitir que flote libremente y que no se aglomere. Otros aditivos también se pueden adicionar a la emulsión asfáltica, algunos de ellos actúan como retardantes pues afectan la reacción del agregado con la emulsión asfáltica. Ejemplos de estos aditivos son soluciones emulsificadas de sulfato de aluminio, cloruro de aluminio y bórax. Generalmente, al incrementar la concentración de los aditivos, se retardan los tiempos de rompimiento y curado, lo que es muy útil cuando la temperatura aumenta durante el día.

2.2.8.4 Agua

El agua utilizada para la fabricación de los sellos de lechada asfáltica debe estar libre de aceites, ácidos, álcalis, materias orgánicas u otras sustancias contaminantes. No debe utilizarse agua salada ni salobre (con mayor contenido de sal que el agua salada de mar).

Se deberá usar agua potable de calidad conocida, que esté de acuerdo con la norma AASHTO T 26. Cuando la calidad del agua sea cuestionable, se debe cumplir con lo establecido en la tabla de la Especificación AASHTO M 157.

(Musuruana & Sánchez de Rosaco. *Emulsiones Asfálticas en las Construcciones Viales*. Pág. 58).

2.2.9 Uso de rap en mezclas asfálticas

El pavimento asfáltico reciclado, mejor conocido como RAP, consiste en el material recuperado de un pavimento flexible que ha alcanzado el final de su vida de servicio; no obstante, sus características permiten reutilizarlo como parte de estructuras nuevas o rehabilitadas. La incorporación de este material en mezclas asfálticas favorece la reducción de nuevo material, generando ahorros a nivel de costos y a su vez contribuyendo a la conservación de los recursos naturales (Copeland, 2011).

El propósito primordial de la implementación del RAP como componente de la mezcla asfáltica se direcciona hacia la sostenibilidad, como medida de mitigación del impacto ambiental producto de la reutilización de un material de desecho con alto potencial mecánico y reducción en la extracción de fuentes de agregados. Por otro lado, en el ámbito económico, la sustitución de un porcentaje de material de mezcla asfáltica representa un ahorro en la cantidad de ligante asfáltico y agregados vírgenes requeridas para la producción de la mezcla, impactando el costo del producto final.

Las características mecánicas del RAP, así como su papel como potencial abaratador de la mezcla asfáltica, representan tan sólo algunos de los beneficios del material. No obstante, la implementación de la técnica demanda buenas prácticas, las cuales deben estar presentes tanto en los procesos de recuperación, triturado e incorporación del material, asegurando la correcta distribución y recubrimiento de las partículas de agregado para garantizar el aporte a las propiedades de la mezcla asfáltica final.

La aplicación en mezcla asfáltica puede ser implementado a partir de dos métodos: procesamiento en planta y reciclado en campo. El primero de ellos consiste en el mezclado

del RAP con los materiales de la mezcla asfáltica nueva, para ello el material de RAP es procesado hasta obtener la gradación requerida, posteriormente se realiza el proceso de mezclado con agregado y asfalto virgen, en algunos casos con agentes rejuvenecedores hasta obtener la mezcla asfáltica requerida.

El segundo método de ellos consiste en el reciclado en campo, en el cual el material de RAP se utiliza con las características con las que fue recuperado en campo. En este caso la superficie del pavimento es fresada hasta una profundidad de 150 mm y combinado con emulsión asfáltica para posteriormente ser colocado y compactado a partir del procedimiento convencional. En ambos casos se debe tomar en cuenta el aporte que puede tener el asfalto del RAP en la mezcla final.

(Pitra-LanammeUCR. (2019). *Mezclas Asfálticas con Rap: Pavimentos Asfálticos Reciclados*. Pág. 1).

2.2.10 Beneficios de la utilización de rap

El enfoque del reciclaje de pavimentos flexibles resulta un aporte valioso desde el punto de vista técnico, económico y ambiental (Kennedy, Tam & Solaimanian, 1998). A continuación, se presentan las principales ventajas de su utilización como material sustituto de una fracción de la mezcla asfáltica.

2.2.10.1 Beneficios ambientales

Los beneficios a nivel ambiental producto de implementación de mezclas asfálticas con RAP comprenden:

- Reutilización de material que ha finalizado su vida útil.
- Disminución del volumen de botaderos.
- Disminución de suministro de material virgen.
- Reducción en los procesos de extracción de materias primas limitadas.

2.2.10.2 Beneficios económicos

Desde el punto de vista económico se asocian los siguientes beneficios:

- Reducción de costos en pavimentación.
- Ahorro en importación y extracción de materia prima (asfalto y agregados).
- Disminución en los tiempos de intervención.
- Disminución en las importaciones de los productos asociados a la obra.
- Reducción en los porcentajes de ligante asfáltico requerido en la mezcla.

Numerosas agencias internacionales han reportado ahorros significativos en los procesos constructivos producto del uso de RAP (Page & Murphy, 1987 y Al-Qadi, Carpenter & Elseifi, 2007). Se ha documentado que los costos constructivos pueden reducirse entre un 14 y un 32 % en mezclas que incorporan porcentajes de RAP entre el 20 y 50 % (Kandhal & Mallick, 1997). Por su parte, Méndez (2015) reporta una disminución de hasta un 7.5 % en el costo de la mezcla producto de la reducción en el uso de materias primas, sin generar un detrimento en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas que incorporan RAP.

(Pitra-LanammeUCR. (2019). *Mezclas Asfálticas con Rap: Pavimentos Asfálticos Reciclados*. Pág. 3).

2.2.11 Desempeño de la mezcla asfáltica

La evaluación del desempeño de mezclas con RAP se ha enfocado en ensayos de fatiga, deformación permanente y daño por humedad. De acuerdo a ello algunos autores han detectado que la resistencia a la fatiga decrece conforme se incrementa el contenido de RAP en la mezcla (Alarcón, 2003, Murillo, 2016 y Marín, 2016).

En contraposición, Petho & Denneman (2016) afirman que es posible diseñar mezclas con 60 % de RAP obteniendo el mismo desempeño a la fatiga en comparación con mezclas convencionales.

En cuanto al módulo de la mezcla y la deformación permanente, se detecta una tendencia creciente a medida que el contenido de RAP aumenta, producto de la rigidez del material de RAP respecto a la mezcla virgen (Alarcón, 2003, Marín, 2016, Cimpeanu, 2017, Centeno, M., Martínez, A., Miro, R., Pérez, J., 2008, Al-Qadi, I., Carpenter, S., Elseifi, M., 2007). Nuevamente, Petho & Denneman, (2016) defienden la posición de que no existe ninguna afectación en este parámetro para mezclas diseñadas adecuadamente hasta un 60% de RAP.

Los diferentes hallazgos en cuanto al desempeño de la mezcla asfáltica son consistentes en el tanto que las propiedades analizadas dependerán de las propiedades intrínsecas del RAP. Sánchez, Grenfell, Airey & Caro (2017) aseguran que la heterogeneidad del RAP es una fuente importante de incertidumbre, lo cual incide en la variabilidad de la respuesta y desempeño de mezclas asfálticas que incorporan este material.

(Pitra-LanammeUCR. (2019). *Mezclas Asfálticas con Rap: Pavimentos Asfálticos Reciclados*.Pág. 4).

2.2.12 Tipos de reciclado

Generalmente los reciclados se realizan de las siguientes formas que se describe a continuación.

- Reciclado en planta: este procedimiento permite reciclar el conjunto o solo una cierta proporción del material envejecido mediante una central asfáltica adaptada. Al ser el porcentaje de material envejecido relativamente bajo, esta metodología permite corregir problemas graves de dosificación o calidad de los materiales.
- Reciclado in situ: se reutiliza la totalidad de los materiales extraídos del pavimento envejecido mediante un tratamiento con aportación de calor que se realiza en el mismo lugar de la obra.

El pavimento se calienta mediante unos quemadores y se fresa un grosor determinado. Este material es mezclado con agentes químicos rejuvenecedores y con mezcla nueva. Finalmente, la nueva mezcla se extiende y se compacta mediante tratamientos convencionales.

- Reciclado en frío: el proceso de reciclado en frío destruye el patrón de agrietamiento existente y produce una capa libre de grietas para soportar una nueva carpeta de rodado, tal como una mezcla asfáltica en caliente, una mezcla en frío o un tratamiento superficial.
- Reciclado en caliente: se trata de una técnica aplicable a materiales bituminosos. El reciclado se realiza in situ con unos equipos especiales, provistos de calefactores que elevan la temperatura de la superficie del firme y facilitan la disgregación del material. El elemento básico del equipo es el escarificador o fresador-calentador.

(Limón Covarrubias, P. (2015). *Fundamentos del reciclado de mezclas asfálticas*. México. Pág. 65).

2.3 Marco referencial

- ❖ Jackeline Karolina Quintana López (2018) presentó una tesis denominada “Mortero asfáltico o slurry seal como tratamiento superficial para pavimentos de afirmado” la cual tuvo por objetivo analizar los estándares nacionales e internacionales para la colocación de mortero asfáltico sobre un camino no pavimentado y pavimentado.
- ❖ Cristian Jose Peralta Lopez (2020) presentó una tesis denominada “Diseño en pavimento rígido de la carretera 22 entre calle 15 y 18 del distrito turístico y cultural de Riohacha – La Guajira” la cual consiste en diseñar la estructura de pavimento rígido bajo la metodología de la Portland Cement Association PCA-84.
- ❖ Jenny Fernanda Nuñez Caiminagua y Nataly Alejandra Salazar Avilés (2015) presentan una manual el cual titula “Procesos de conservación y mantenimiento en pavimentos flexibles para la provincia de Chimborazo”, dicho manual se centra en ser de fácil manejo, confiable y brinde información técnica y precisa para el

desarrollo de los diferentes procesos de conservación y mantenimiento.

- ❖ Orlando Coronel Fonseca (2017) presentó una tesis llamada “Micropavimento: Alternativa técnico-económica para la pavimentación del asentamiento humano Lomas de Marchan-Pucusana/Lima,2017”, la cual se centró en determinar si la micropavimentación es la mejor alternativa técnico – económica para la pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan, en Pucusana/Lima.
- ❖ Alejandro Marcial Vargas Gutiérrez (2016) presentó una tesis de maestría titulada “Experiencia de diseño de micropavimentos en El Salvador”, la cual tuvo por objetivo dotar de una nueva experiencia para el diseño de micropavimentos vinculados a la realidad peruana.

2.4 Marco normativo

Dentro del marco normativo, esta investigación está sujeta a las normas ISSA A 105 (Norma recomendada para los Slurrys Seals) y la ISSA A 143 (Norma recomendada para los micropavimentos), para mayor información puede observarse el anexo VI, donde está descrita dichas normativas.

A continuación, se describe una tabla con los ensayos a realizar para caracterizar las componentes del Slurry y Micropavimento, según lo que se menciona en las normativas explicadas anteriormente.

Tabla 2.3: Caracterización de agregados y rap

Ensayo	Norma
Granulometría	Aashto T 27- T 11
Equivalente de arena	Aashto T 176
Desgaste de los ángeles	Aashto T 96

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.4: Caracterización de la emulsión asfáltica y del asfalto residual

Ensayo	Norma
Residuo por destilación	Aashto T 78 Astm D 402
Viscosidad Saybolt Furol	Aashto T 72 Astm E 102
Penetración	Aashto T 49 Astm D 5
Punto de ablandamiento	Aashto T 53 Astm D 2398
Ductilidad	Aashto T 51 Astm D 113
Peso específico	Astm D 70

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los parámetros que se desea analizar para el desarrollo de la investigación, no se tiene una normativa en la cual indique los rangos o la metodología a la cual se debe abstener el estudiante, por lo cual se analiza estas propiedades en base a criterios propios del investigador y mediante briquetas asfálticas, las cuales deberán ser comparadas entre sí, tomando como muestras patrón aquellas briquetas asfálticas que no contengan incorporación de rap, estas vienen a ser las briquetas convencionales para el Slurry y Micropavimentos, y en base a ellas se analizarán los resultados de las briquetas sobrantes. Esto se explicará más a detalle en el capítulo III.

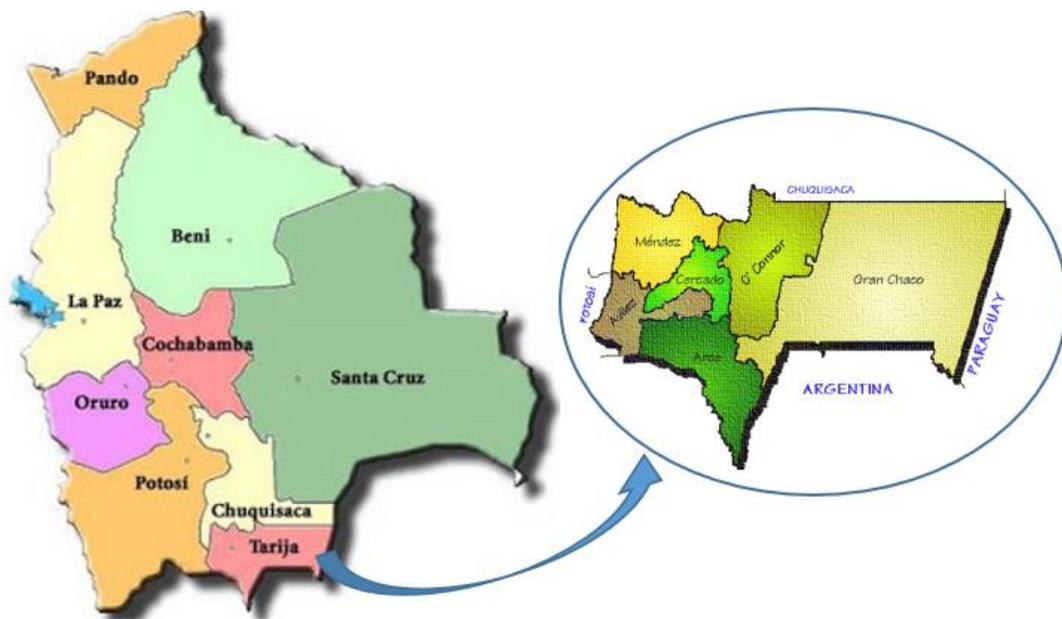
CAPÍTULO III

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL SLURRY Y MICROPAVIMENTOS CON ADICIÓN DE RAP

3.1. Ubicación de la zona de estudio

La presente investigación fue realizada en la ciudad de Tarija – Bolivia, los agregados a utilizar son provenientes de una Chancadora ubicada a los alrededores de la ciudad de Tarija, al igual que el rap que se utilizó.

Figura 3.1: Mapa Bolivia - Tarija



Fuente: faroportales.blogspot.com

3.2 Muestreo de los materiales

Para la selección de la muestra de los agregados, se dispuso a que estos contengan bastante presencia de material fino (filler), las muestras se extrajeron cumpliendo todas las especificaciones que indican las normativas ISSA A-105 y ISSA A-143, y siguiendo todos los pasos que se indican en las guías de laboratorio para la extracción de muestras (ASTM D4220) del manual de carreteras V4C.

3.2.1 Muestreo zona de estudio: agregado pétreo

Departamento: Tarija.

Provincia: Cercado.

Localidad: Santa Ana.

Coordenada Este: 329.965,00 m. E.

Coordenada Norte: 7.608.016,00 m. S.

Se procedió a la toma directa de muestras de este material (arena), debido que el material ya se encontraba a disposición y seleccionado, libre de impurezas y material orgánico; las muestras fueron colocadas en bolsas de polipropileno, donde posterior a esto se las dispuso a secar el material para realizar la granulometría correspondiente.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de la chancadora de la cual se recolectó el material, ubicado en Santa Ana - Tarija.

Figura 3.2: Ubicación de la procedencia del agregado



Fuente: Programa Maps

Figura 3.3: Recolección del agregado



Fuente: Elaboración Propia.

Una vez realizado la recolección de este material se procede a realizar una serie de ensayos de caracterización para determinar que el agregado sea apto y que cumpla con las especificaciones de la normativa ISSA A 105 y ISSA A 143. Posterior a ello, se procederá con la elaboración de estos tipos de mezclas asfálticas del tipo slurry y micropavimentos.

3.2.2 Muestreo zona de estudio: Rap

Departamento: Tarija.

Provincia: Cercado.

Localidad: Canaletas.

Coordenada Este: 358.901,00 m. E.

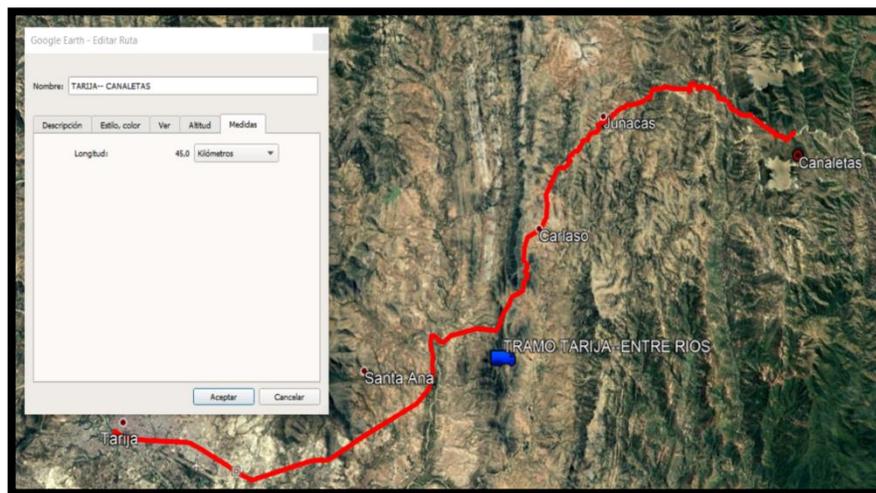
Coordenada Norte: 7.626.832,00 m. S.

El rap es uno de los componentes fundamentales para la realización de la investigación, para lo cual se dispuso a la recolección de este material, el cual se encontraba desechado

a orillas de la carretera; para este material se tuvo que seleccionar los bloques de rap que estén libres de material orgánico.

Posterior a la identificación del lugar del material, se procedió a su recolección, para el cual se extrajo aproximadamente 60 kilos, las cuales fueron puestas en bolsas de polipropileno. En la siguiente figura se observa la ubicación de dicho material ubicado a 45 km de la carretera que une la ciudad de Tarija – Canaletas.

Figura 3.4: Tramo principal Tarija - Canaletas



Fuente: Programa Google Earth

Figura 3.5: Recolección rap de la carretera Tarija - Canaletas



Fuente: Elaboración propia.

Posterior a su extracción y/o recolección, se procedió con la trituración del RAP, para poder ser incorporado en la mezcla asfáltica y la elaboración de briquetas asfálticas de slurry y micropavimentos.

Procedimiento

Una vez seleccionado los bloques de carpeta asfáltica reciclada o rap se deberán comenzar con el proceso de trituración en una chancadora o planta trituradora, donde se realizará dos procesos: primario y secundario. El primario, será el proceso de rompimiento de los bloques de carpeta asfáltica, mientras que el secundario será el proceso de trituración fina y tamizado del material.

Posterior a su trituración, se deberá realizar una limpieza lavando el material y de esta forma eliminar todo material orgánico que esté presente en el rap triturado. Cuando el material se encuentre triturado se deberá realizar una separación del material, solo se usará aquel material que pase por el tamiz N°4 mientras que el restante será nuevamente triturado para evitar pérdidas o desechos.

Se deberá realizar distintos ensayos para verificar su calidad y que este cumpla con las especificaciones de los agregados de la ISSA A 105 y ISSA A 143, para poder ser calificado e incorporado en la mezcla asfáltica. Dichos ensayos se demuestran más adelante en la caracterización de los agregados y rap.

A continuación, se realiza el contenido de utilización que se tendrá de este material triturado el cual será posible incorporar dentro de la mezcla asfáltica.

Tabla 3.1: Porcentaje de utilización del rap

Peso Total (gr.)			1.000.000,00		
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa
	(mm)	(gr)	(gr)		
N°4	4,75	120.412,45	120.412,45	12,04	87,96

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 3.1 nos indica que de una tonelada que se desee triturar de este material, se tendrá un 12,04% de desperdicio o material que será desechado el cual no podrá seguir siendo triturado y por ende no será incorporado dentro de la mezcla asfáltica que se pretende elaborar.

Se anexa una especificación técnica para la dispensación del material rap para utilizarse en obra, véase anexo VII.

3.2.3 Emulsión asfáltica

El diseño del Slurry y Micropavimento, está sustentada bajo las normativas de la ISSA A 105 y la ISSA A 143, donde la emulsión escogida estará bajo el criterio del laboratorista, tomando en cuenta parámetros que indican las normativas.

Cada carga de asfalto emulsionado será acompañada por un certificado de análisis o cumplimiento que indique que la emulsión cumple con las especificaciones. Dentro de esto, indica que necesariamente se debe recurrir al uso de una emulsión que contenga polímeros, ya que estas proporcionan elasticidad al asfalto, por lo que se obtienen grandes resistencias a las deformaciones permanentes. Estos polímeros disminuyen la susceptibilidad térmica del asfalto evitando su fragilidad y agrietamiento en invierno y las exudaciones en verano.

La norma indica que la emulsión asfáltica a utilizarse deberá ser aquella de rotura lenta controlada con polímeros modificados, debido a que con esto se puede presentar una buena mezcla homogénea y fácil de mezclar. Debido diversos factores que se presenta en nuestra situación actual, se optado usar una emulsión catiónica de rotura rápida con polímeros modificados RR2C - E, con un porcentaje mínimo de 60% asfalto residual dentro de lo que se establece en las normas, y conjunto con un aditivo que pueda retardar la rotura de la emulsión y de esta forma presentar un mejor manejo de la mezcla. La emulsión asfáltica fue proporcionada por el Laboratorio de Suelos y Hormigones Soilstesting, la cual es una emulsión desarrollada por Syntex Asphalt S.R.L. para la utilización en sellos y tratamientos superficiales, en sus diferentes formas, incluso la pintura de ligación capa selladora y tratamientos anti-polvos. El E-TEX RR2C-E es un

producto ecológico, amigable con el medio ambiente, con bajo consumo de energía para su aplicación, permite obtener sellos o tratamientos superficiales con muy buena adherencia.

Dicha emulsión fue sometida a ensayos en laboratorio para comprobar si sus características de la emulsión asfálticas cumplen con su ficha técnica.

Figura 3.6: Emulsión de rotura rápida con polímero modificado



Fuente: Elaboración propia.

La elección de la emulsión asfálticas de la investigación está sujeta para fines académicos, para la aplicación en obra o campo se deberá usar la emulsión asfáltica de rotura lenta que indica la norma.

La ficha técnica de la emulsión utilizada se encuentra en la parte de anexos - anexo I.

Las normativas de la ISSA A 105 Y ISSA A 143, se encuentra en la parte de anexos - anexo VI.

3.2.4 Aditivo

Para obtener una mezcla más líquida que nos permita hacerla más manejable al momento de elaboración de las briquetas, se utilizó el aditivo ZYCOTHERM, proporcionado por la encargada del Laboratorio de Asfaltos de la U.A.J.M.S. En la norma recomendada para Slurrys y Micropavimentos no indica el tipo de aditivo ni especificación que deba cumplir, lo cual se deja al criterio del investigador o proyectista. Este aditivo retrasa la rotura de la emulsión, al ser una emulsión de rotura rápida y al ser una mezcla fría, no se lograba una buena homogeneidad de la mezcla, es por ello que se decidió usar este aditivo para poder tener mayor consistencia y adherencia homogénea de todas las partículas de los agregados con el asfalto. La cantidad a usar de este aditivo fue de 0,1% del peso de la emulsión, esta cantidad permitirá una buena fluidez de la emulsión y la cantidad empleada se utiliza conforme lo que indica las indicaciones del aditivo.

Figura 3.7: Aditivo



Fuente: Elaboración propia.

3.3 Caracterización de la emulsión asfáltica

Toda emulsión debe ser sometidas a ensayos de caracterización debido a que algunas emulsiones no cumplen con lo que se establece en su hoja técnica que es brindada por la

empresa fabricante, para poder determinar las características que presenta la emulsión y si será útil su aplicación en este tipo de mezclas.

Los ensayos que se realizaron para caracterizar la emulsión, fueron aquellos que se cuenta con el equipo disponible en el laboratorio de la U.A.J.M.S. Se realizaron los siguientes ensayos para caracterizar la muestra de emulsión asfáltica de rotura rápida con polímero modificado RR2C-E.

3.3.1 Residuo por destilación (ASTM D 402, AASHTO T 78)

El ensayo de destilación fraccionada consiste en calentar escalonadamente el asfalto líquido, separando las distintas fracciones volátiles del fluidificante, comprobando si el fluidificante está en la proporción y condiciones adecuadas y si el betún residual (a 360°C), que puede ya ser sometido a otros ensayos, tiene las características deseadas.

Las propiedades de los componentes de los cementos asfálticos o betunes y solventes o fluidificantes son de gran importancia para el uso de los asfaltos líquidos RC, MC y en algunos casos los SC. A partir del ensayo de destilación se separan el cemento asfáltico y el diluyente para determinar su proporción e identificación.

Las propiedades del residuo después de la destilación no son necesariamente características del betún usado en la mezcla original, ni del residuo obtenido en cualquier momento después de la aplicación del producto asfáltico rebajado.

Procedimiento

Se procede a armar el equipo o trípode donde van conectado el tubo del recipiente a la probeta graduada, cuidadosamente limpiar el tubo conector del destilador, una vez armado todo el equipo se debe colocar en el recipiente 200 ±3 gr, y pesar la emulsión dentro del recipiente más la abrazadera y tapa; posterior a ello se coloca el papel de empaquetadura entre la superficie del recipiente y la tapa, para evitar perdida de calor y la muestra pueda destilarse en su totalidad.

Después de asegurar el recipiente y la tapa, colocarlo en el trípode del equipo y encender la mecha para que caliente el recipiente con la emulsión, colocar una probeta graduada para registrar el agua que destilará la muestra de emulsión.

Con ayuda de un termómetro se deberá medir la temperatura de la emulsión dentro del recipiente y cuando esta llegue a 360°C, se apaga la mecha y se pesa el asfalto que quedó destilado dentro del recipiente.

A continuación, se presenta la tabla de resultados del ensayo realizado.

Tabla 3.2: Resultado ensayo residuo por destilación

Residuo por destilación		
Emulsión asfáltica E-TEX RR2C-E		
N°	% de contenido de agua	% de cemento asfáltico residual
Muestra 1	27,43%	72,57%
Muestra 2	29,85%	70,15%
Muestra 3	30,75%	69,25%
Promedio	29,34%	70,66%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8: Ensayo residuo por destilación



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Viscosidad Saybolt Furol (ASTM E 102, AASHTO T 72)

La viscosidad se define como la resistencia al flujo de un líquido. Se utiliza este ensayo como una medida de consistencia y los resultados son reportados en segundos Saybolt-Furol. La viscosidad “Furol” está considerada como un décimo de la viscosidad “universal”, cuanto más alta es la viscosidad de un líquido, este se aproxima en sus propiedades de consistencia, a un semisólido y la designación “Furol” resulta de una contracción del fuel oil (aceite de combustión) y road oil (Cutbacks de productos que requieren temperaturas superiores a 100°C (212°F)).

Es el tiempo corregido en segundos, que tardan en fluir, 60 ml. de muestra a través de un orificio tipo universal calibrado, en condiciones específicas.

Procedimiento

Colocar aproximadamente 60 ml de emulsión en los orificios del viscosímetro, se recomienda llenar 0,5 cm por encima del anillo de rebose, se deja calentar la muestra a 50°C, cuando se alcance la temperatura deseada, se coloca los frascos en los cuales se almacena la emulsión puesta. Una vez colocados los frascos y ni bien llegue la temperatura a 50°C, se procede a descorchar la parte inferior del recipiente del viscosímetro; lecturar el tiempo de vaciado que tarda en llenarse la emulsión en los frascos puestos debajo del equipo.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de laboratorio.

Tabla 3.3: Resultados ensayo de viscosidad Saybolt Furol

Emulsión asfáltica E-TEX RR2C-E							
Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Viscosidad Saybolt-Furol a 50 °C	Seg.	319,80	306,00	312,60	312,80	100,00	400,00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.9: Ensayo de viscosidad de la emulsión asfáltica



Fuente: Elaboración propia.

3.4 Caracterización del residuo asfáltico

3.4.1 Penetración (ASTM D 5, AASHTO T 49)

El ensayo de Penetración permite determinar la dureza o consistencia relativa de los cementos asfálticos, midiendo la distancia en décimas de milímetros que una aguja normalizada que penetra verticalmente sobre una muestra de asfalto.

El ensayo ha sido normalizado por la Asociación Americana de Ensayos y Materiales (ASTM), bajo el código D5, y consiste en colocar una muestra del ligante en un recipiente de volumen normalizado hasta lograr la temperatura de referencia (25 C -77 F), apoyar sobre la muestra la aguja y dejarla penetrar durante un tiempo determinado. La carga aplicada (aguja + pesa + vástago) es de 100 gr, y el tiempo de aplicación de la misma es de 5 seg. La distancia que la aguja penetra en el cemento asfáltico es registrada en unidades de 0,1 mm. Queda evidente que mientras más blanda es la muestra, mayor será la penetración de la aguja.

La muestra a ensayar deberá ser la del residuo asfáltico, para lo cual necesariamente se deberá realizar el ensayo de residuo por destilación, eliminando toda la presencia de agua

y obtener el asfalto puro. También podría usarse la muestra obtenida después de realizar el ensayo de película delgada.

Procedimiento

Se calienta 200 gr de muestra del residuo asfáltico, una vez que este fluida se procede a vaciar en taras, en las cuales se deberá dejar enfriar la muestra por alrededor de 1 a 1½ hrs. Luego, se coloca las taras con la muestra en un baño de agua manteniendo una temperatura de 25° C, por alrededor de 1 a 1½ hrs. Después, se lleva las taras con la muestra al equipo de penetración, donde se deberá introducir una pesa de 50 g sobre la aguja, de forma que la carga total sea de 100 g ± 0.1 g para la aguja, eje y accesorios

Finalmente, colocar la muestra en el aparato y bajar la aguja hasta la superficie del asfalto que se encuentra en la tarde. Libere el sistema y deje caer la aguja durante 5 seg, sin soltar el seguro para penetrar la muestra y por medio del indicador mida la distancia de penetración. Realizar por lo menos tres penetraciones en puntos diferentes, en distancias de 1 cm entre una penetración y la otra y del borde del recipiente.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de laboratorio e imágenes tomada en el desarrollo de la práctica.

Tabla 3.4: Resultados ensayo de penetración

Cemento asfáltico residual								
Ensayo		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
							Mínimo	Máximo
Penetración a 25°C, 100s 5 seg (0,1 mm)	Lectura N°1	mm	60,00	55,00	52,00			
	Lectura N°2		52,00	59,00	51,00			
	Lectura N°3		50,00	61,00	55,00			
	Promedio		54,00	58,00	53,00	55,00	45,00	150,00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.10: Ensayo de penetración al residuo asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Ductilidad (ASTM D 113, AASHTO T 51)

Casi todas las especificaciones para aglutinantes establecen valores mínimos para la ductilidad. Para los cementos asfálticos estos se aplican al material original, y para los asfaltos líquidos y emulsiones asfálticas se aplican al residuo después de la destilación. Los materiales asfálticos dúctiles tienen mejores propiedades aglomerantes que aquellos que les falta esta característica. Es más importante la existencia de la ductilidad que el valor obtenido en el ensayo. Por otra parte, si estos materiales poseen una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura. La ductilidad de los materiales bituminosos se mide por su distancia de elongación antes de la ruptura, cuando los extremos de una briqueta conteniendo el espécimen se separan a una velocidad y temperatura determinada. A menos que se indique lo contrario, el ensayo se efectuará a la temperatura de $25 \pm 0,5$ C ($77 \pm 0,9$ F) y con velocidad de 5 cm por minuto $\pm 5,0$ %. Cuando se desea realizar un ensayo de ductilidad a baja temperatura, este se hará a 4 C ($39,2$ F) y a una velocidad de separación de 1 cm por minuto. Este ensayo consiste en moldear en condiciones y con dimensiones normalizadas una probeta de betún asfáltico que después se somete, a la temperatura establecida, a un alargamiento con una velocidad especificada hasta que el hilo que une los dos extremos rompe. La longitud (en cm) a la que el hilo de material se rompe define su ductilidad.

La muestra que se utilizará deberá ser aquella obtenida del residuo asfáltico, es decir aquella muestra que antes haya sido sometida al ensayo del residuo por destilación o aquella obtenida después de realizarse el ensayo de la película delgada.

Procedimiento

Se deberá calentar la muestra lo suficiente fluida que se pueda, manejar con facilidad y ser vertido en la placa. Se procede a armar la placa con los moldes y tornillos para poder colocar la muestra encima.

Una vez armado el equipo y para evitar que el material quede pegado en la superficie de la placa, se coloca glicerina para evitar que el asfalto se adhiera en la placa y sea difícil su remoción una vez finalizada el ensayo. Se vierte el material en el molde encima de la placa y se dejará enfriar por 30 a 40 min aproximadamente, pasado este tiempo se coloca en un baño durante 30 minutos, manteniendo la temperatura de ensayo.

Se colocan la placa y el molde con el material en el baño de agua dentro del aparato de separación a la temperatura requerida, hasta que la muestra se estire y en punto llegue a romperse. Se lectura la distancia a la cual se rompió el asfalto y se retira entonces la muestra de la placa quitando además las paredes laterales del molde y sometiendo inmediatamente la muestra al ensayo.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de laboratorio.

Tabla 3.5: Resultados ensayo de ductilidad

Cemento asfáltico residual							
Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	116,50	108,50	93,00	106,00	>100,00	-

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.11: Ensayo de ductilidad



Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Punto de ablandamiento (ASTM D 2398, AASHTO T 53)

El ensayo de anillo y bola se emplea para determinar el punto de reblandamiento de los asfaltos, de acuerdo con la norma COVENIN 419. Este ensayo ha sido normalizado por la ASTM bajo el número D-2398, y empleado fundamentalmente para conocer el grado de susceptibilidad que tiene un material ante las variaciones de temperatura. El ensayo de Anillo y Bola consiste en llenar de asfalto un anillo de latón de dimensiones determinadas. La muestra preparada se suspende en un baño de agua, y sobre el centro del anillo se coloca una bola de acero de dimensiones y peso especificados. A continuación, se calienta el baño de agua a una rata de incremento determinada, y se anota la temperatura que define el “Punto de Ablandamiento” de la muestra ensayada, a la cual la bola de acero toca una barra de acero que está colocada a 2,54 cm por debajo de la posición inicial del anillo. La temperatura también es una medida de la consistencia del ligante.

A continuación, se presenta los resultados del ensayo de Punto de Ablandamiento.

Procedimiento

Se debe calentar el asfalto destilado hasta que adquiera una fluidez que sea apta para verterse en los anillos, después de calentar el asfalto verter en el anillo y dejar que se enfríe por al menos 30 min; una vez pasado este tiempo se debe enrasar con una espátula caliente,

los bordes donde el asfalto esté sobresalido y proceder a colocar los anillos con las bolitas de acero en el recipiente, el recipiente debe estar lleno de agua destilada. Con ayuda de un mechero o hornalla eléctrica, colocar el recipiente encima de una plancha metálica y dejar que la muestra caliente lo suficiente hasta que la bolita de acero choque con la superficie de fondo, cuando esto suceda se deberá registrar la temperatura a la que la bola cae a al fondo de chapa. Para mayor confiabilidad de resultados, se deberá repetir el ensayo 3 veces.

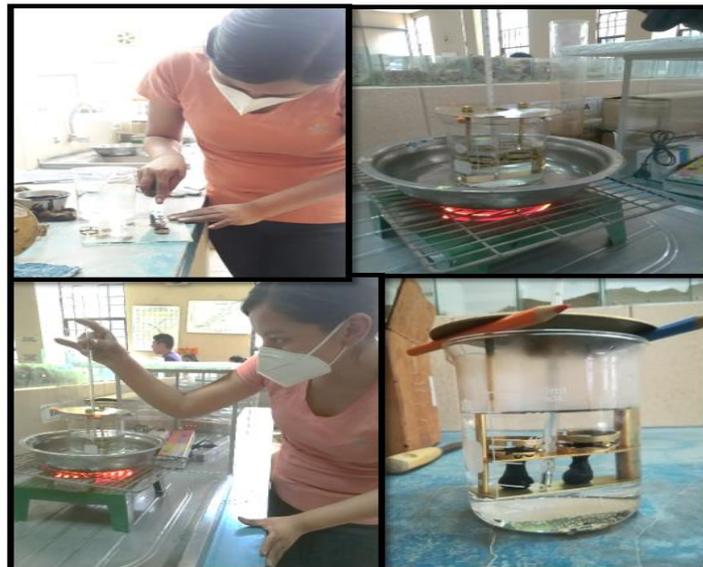
A continuación, se presentan los resultados del Ensayo Punto de Ablandamiento.

Tabla 3.6: Resultado ensayo punto de ablandamiento

Emulsión asfáltica E-TEX RR2C-E							
Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Punto de Ablandamiento	°C	53,00	58,00	55,00	55,33	55,00	-

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.12: Ensayo punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 Peso específico del asfalto (ASTM D 70)

El peso específico del asfalto es la relación de su peso en el aire, al peso de un volumen igual de agua.

Procedimiento

Calentar la muestra, agitándola para evitar sobrecalentamientos locales hasta que llegue a ser suficientemente fluida, verter una cantidad suficiente dentro del picnómetro limpio y seco previamente calentado, dejar enfriar el picnómetro durante un periodo de 40 minutos y pesar con el tapón.

Llenar el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada, colocando firmemente el tapón en el picnómetro, colocar el picnómetro en el baño de agua a 25 °C.

Mantener el picnómetro dentro del baño de agua durante un periodo no menor de 30 minutos. Sacar y pesar.

A continuación, se presenta la tabla de resultados del peso específico del asfalto residual.

Tabla 3.7: Resultado peso específico asfalto residual

Cemento Asfáltico residual							
Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Peso picnómetro	gr	35,87	32,84	35,08			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr	86,24	77,15	83,16			
Peso Picnómetro + Muestra	gr	64,97	56,91	63,85			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr	86,84	77,86	83,80			
Peso Específico	gr/cm ³	1,02	1,03	1,02	1,02	1,00	1,05

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.13: Ensayo peso específico del asfalto residual



Fuente: Elaboración propia.

3.5 Caracterización de los áridos y rap

El agregado deberá cumplir los valores de pulido especificados en la norma que se está usando (ISSA A 105 – ISSA A 143), la cual se puede observar a mayor detalle en el anexo VI de este documento. Los ensayos de caracterización del agregado se realizaron únicamente con aquellos que se cuente con el equipo disponible dentro del campus universitario de la U.A.J.M.S.

3.5.1 Análisis granulométrico (ASTM C 136, AASHTO T 27)

El análisis granulométrico de la arena tiene por objeto determinar las cantidades en que están presentes partículas de ciertos tamaños en el material. La distribución de los tamaños de las partículas se realiza mediante el empleo de mallas de aberturas cuadradas, de los tamaños siguientes: 3/8”, y números de tamices 4, 8, 16, 30, 50 y 100 respectivamente. La granulometría es la distribución de las partículas de materiales granulares de varios tamaños, que generalmente se expresa en términos de porcentajes acumulados mayores o

cuatro menores que cada una de las series de tamaños o de aberturas de mallas, o los porcentajes entre ciertos rangos de aberturas de mallas.

Figura 3.14: Tamizado del agregado



Fuente: Elaboración propia

Para este estudio se utilizará dos tipos de granulometría, como se señala a continuación:

- **Slurry Seals:** Cuando se realice el ensayo según AASHTO T 27 (ASTM C 136) y AASHTO T 11 (ASTM C 117), la gradación del agregado del diseño para la mezcla se encontrará dentro de una de los siguientes grupos (o en uno reconocido por la autoridad de pavimentación local):

Tabla 3.8: Granulometría para Slurry Seals según la norma ISSA A 105

Tamiz tamaño	Tipo I porcentaje que pasa	Tipo II porcentaje que pasa	Tipo III porcentaje que pasa	Reservas tolerancia de la gradación del diseño de la mezcla
3/8 (9,5 mm)	100	100	100	
#4 (4,75 mm)	100	90 – 100	70 – 90	±5%
#8 (2,36 mm)	90 – 100	65 – 90	45 – 70	±5%
#16 (1,18 mm)	65 – 90	45 – 70	28 – 50	±5%
#30 (600 um)	40 – 65	30 – 50	19 – 34	±5%
#50 (330 um)	25 – 42	18 – 30	12 – 25	±4%
#100 (150 um)	15 – 30	10 – 21	7 – 18	±3%
#200 (75 um)	10 - 20	5 - 15	5 – 15	±2%

Fuente: International Slurry Surfacing Association, ISSA A 105

Tipo I. Esta gradación de agregado se utiliza para rellenar huecos de la superficie, reparar problemas moderados de la superficie y brindar protección para los elementos. La fineza de esta mezcla presenta la capacidad de penetrar las grietas.

Tipo II. Esta gradación de agregado se utiliza para rellenar huecos de la superficie, reparar problemas más graves de la superficie, sellar y brindar una superficie durable.

Tipo III. Esta gradación de agregado brinda máxima resistencia ante el deslizamiento y una superficie de menor desgaste.

La gradación debe cumplir con lo que se menciona en dichas normativas y para lo cual se escogió usar la granulometría correspondiente al TIPO II para las muestras de Slurry Seal. El Slurry es una lechada asfáltica de un espesor de 3 a 9 mm, muy delgada que es esparcida sobre el pavimento deteriorado; al ser una lechada delgada se opta por usar una granulometría TIPO II para su elaboración de briquetas de este tipo, optando por tener mayor estructura mineral y así poder analizar las propiedades mecánicas que tengan las muestras de este tipo.

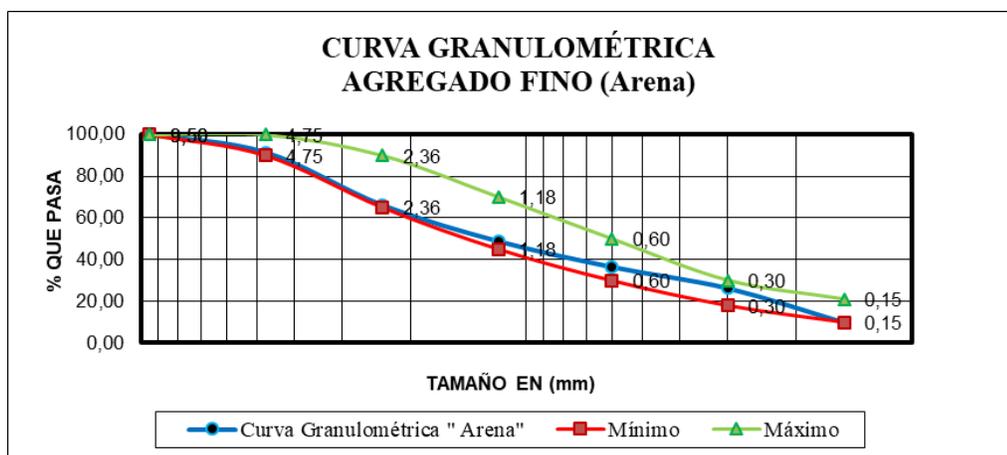
A continuación, se muestra la granulometría correspondiente para este tipo II, el cual es el promedio de las tres pruebas realizadas anteriormente, y con el cual se trabajará para la elaboración de briquetas asfálticas.

Tabla 3.9: Análisis granulométrico - Tipo II

Peso total (gr.)			5.000				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% que pasa	% Que pasa s/g. Especific. ISSA A-105	
1/2	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00		
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
Nº4	4,75	432,44	432,44	8,65	91,35	90,00	100,00
Nº8	2,36	1.262,39	1.694,83	33,90	66,10	65,00	90,00
Nº16	1,18	861,93	2.556,76	51,14	48,86	45,00	70,00
Nº30	0,60	611,94	3.168,69	63,37	36,63	30,00	50,00
Nº50	0,30	510,47	3.679,17	73,58	26,42	18,00	30,00
Nº100	0,15	819,22	4.498,39	89,97	10,03	10,00	21,00
Nº200	0,075	148,43	4.646,82	92,94	7,06	5,00	15,00
BASE	-	349,52	4.996,35	99,93	0,07		
SUMA		4.996,3					
PÉRDIDAS		3,70					
MF =		3,21					

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.15: Curva granulométrica agregado Fino - Tipo II



Fuente: Elaboración propia.

- **Micropavimentos:** Cuando se realice el ensayo según AASHTO T 27 (ASTM C 136) y AASHTO T 11 (ASTM C 117), la gradación del agregado del diseño para la mezcla se encontrará dentro de una de los siguientes grupos (o en uno reconocido por la autoridad de pavimentación local):

Tabla 3.10: Granulometría para Micropavimentos según norma ISSA A 143

Tamiz tamaño	Tipo II porcentaje que pasa	Tipo III porcentaje que pasa	Reservas tolerancia de la gradación del diseño de la mezcla
3/8 (9,5 mm)	100	100	
#4 (4,75 mm)	90 – 100	70 – 90	±5%
#8 (2,36 mm)	65 – 90	45 – 70	±5%
#16 (1,18 mm)	45 – 70	28 – 50	±5%
#30 (600 um)	30 – 50	19 – 34	±5%
#50 (330 um)	18 – 30	12 – 25	±4%
#100 (150 um)	10 – 21	7 – 18	±3%
#200 (75 um)	5 - 15	5 – 15	±2%

Fuente: International Slurry Surfacing Association, ISSA A 143

La gradación de las reservas de agregado no variará por más que la tolerancia de las reservas de la gradación del diseño de mezcla (indicado en la tabla anterior). Al mismo tiempo, debe encontrarse en el grupo de gradación de la especificación. El porcentaje de agregado que pase dos tamices sucesivos no cambiará de un extremo del rango especificado al otro extremo. El agregado será aceptado en el sitio de trabajo o en la reserva basado en cinco ensayos de gradación. Si el promedio de los tres ensayos se encuentra dentro del margen de tolerancia de las reservas de la gradación del diseño de la mezcla, el material será aceptado. Si el promedio de esos resultados se encuentra fuera de la especificación o del margen de tolerancia. Los materiales utilizados en la fusión deben cumplir las especificaciones de ensayos de calidad del agregado que se exigen antes de fusionarlos, y el procedimiento debe realizarse de manera que produzca una gradación consistente.

Se describe los tipos de graduación granulométrica que usualmente se usan para su preparación de mezcla.

Tipo II. Esta gradación de agregado se utiliza para rellenar huecos de la superficie, reparar problemas del pavimento, sellar y brindar una superficie durable.

Tipo III. Esta gradación de agregado brinda máxima resistencia ante el deslizamiento y una superficie de menor desgaste. Este tipo de superficie de micro pavimento es apropiado para pavimentos de alto tránsito, relleno de baches o para ser colocado en superficies muy texturadas que requieran un agregado de mayor tamaño para rellenar huecos.

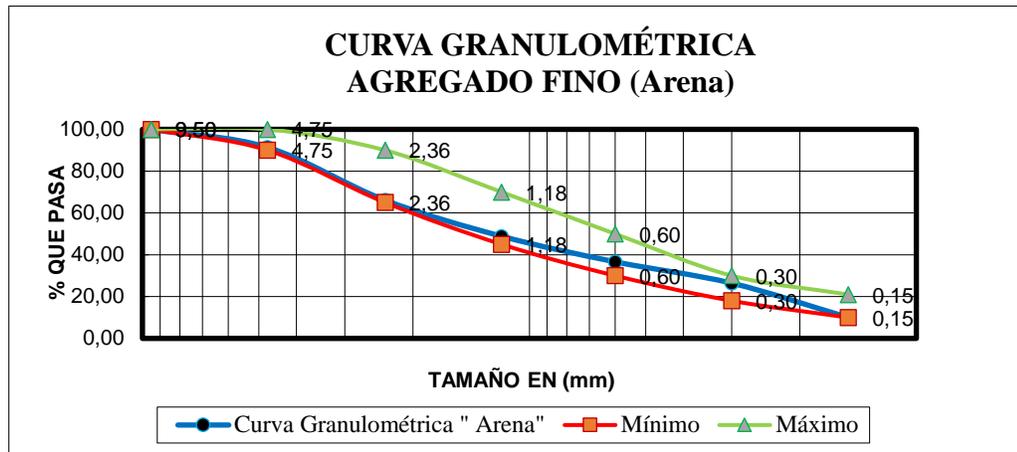
Para la elaboración de briquetas o muestras de micropavimentos, se escogió la granulometría perteneciente al tipo III. Los micropavimentos presentan un espesor de 9 mm a 16 mm y para poder brindar un extracto mineral firme capaz de someterse a pruebas de estabilidad y fluencia, se opta por usar este tipo de granulometría. A continuación, se muestra la granulometría correspondiente para este tipo III, el cual es el promedio de las tres pruebas realizadas anteriormente.

Tabla 3.11: Análisis granulométrico - Tipo III

Peso Total (gr.)			5.000				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% que pasa	% Que pasa s/g. Especific. ISSA A-143	
1/2	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00		
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100
Nº4	4,75	926,91	926,91	18,54	81,46	70,00	90,00
Nº8	2,36	1.123,85	2.050,76	41,02	58,98	45,00	70,00
Nº16	1,18	589,47	2.640,23	52,80	47,20	28,00	50,00
Nº30	0,60	665,10	3.305,33	66,11	33,89	19,00	34,00
Nº50	0,30	473,59	3.778,92	75,58	24,42	12,00	25,00
Nº100	0,15	550,53	4.329,46	86,59	13,41	7,00	18,00
Nº200	0,075	395,28	4.724,74	94,49	5,51	5,00	15,00
BASE	-	269,34	4.994,08	99,88	0,12		
SUMA		4.994,1					
PÉRDIDAS		5,90					
MF =		3,41					

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.16: Curva granulométrica agregado fino - Tipo III



Fuente: Elaboración propia.

Para ambos materiales tanto el agregado como el rap, deberán estar dentro de los rangos o grupo que establece las normativas ISSA A 105 y ISSA A 143.

3.5.2 Equivalente de arena (ASTM D 2419)

Este ensayo nos advierte la posible presencia de finos arcillosos en el agregado fino que podrían afectar la adherencia entre ligante-agregado e influir en su durabilidad. El resultado es un valor representativo de la proporción y características de los finos plásticos. Nos indica la cantidad de arena limpia de nuestra mezcla de agregados finos.

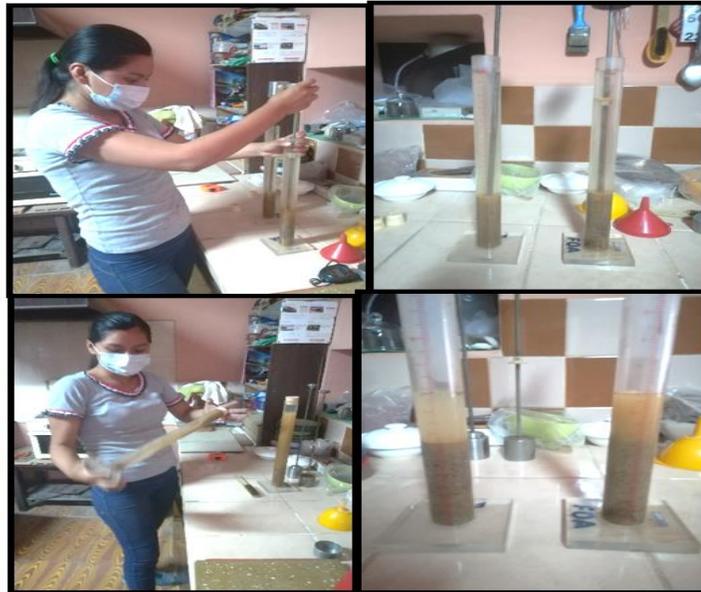
Procedimiento

El ensayo consiste en colocar una solución de cloruro de calcio en una probeta graduada, luego colocar la muestra de arena y golpear suavemente el fondo del cilindro para liberar las burbujas de aires, dejándola reposar durante 10 min y proceder a tappar el cilindro.

Posterior se deberá agitar la probeta dando 90 ciclos en 1 min, y se dejará reposar el tubo de ensayo por 20 minutos aproximadamente, una vez concluido este tiempo se procederá a lecturar los tubos cilíndricos de ensayo.

A continuación, se muestra imágenes tomadas durante la realización del ensayo en el laboratorio.

Figura 3.17: Ensayo equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia.

Resultados:

Tabla 3.12: Resultado ensayo equivalente de arena

N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de arena	Especificaciones
	(cm)	(cm)	(%)	ISSA A 105 – A 143
Tipo III	4,10	5,00	82,00	≥ 45,00%
Tipo II	4,20	5,60	75,00	≥ 45,00%

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3 Abrasión por medio de la máquina de los ángeles (ASTM C-131)

Determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la máquina de Los Ángeles consecuencia de la acción combinada de la abrasión, machaqueo e impacto.

Este método se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37,5 mm (1½") por medio de la máquina de

Los Ángeles, así como también evaluar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos, de tamaños mayores de 19 mm (3/4"). Este ensayo ha sido ampliamente usado como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones mineralógicas. Los límites de las especificaciones deben ser asignados con extrema precaución, considerando los tipos de agregados disponibles y su comportamiento histórico en aplicaciones finales específicas.

La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir dependen de la granulometría del agregado grueso. En la tabla que se muestra a continuación, indica el tipo de gradación que puede utilizar dependiendo al tamaño de las partículas que se encuentren en el agregado a utilizar. También se indica la cantidad de material, número de esferas, número de revoluciones y tiempo de rotación, para cada uno de ellos. La gradación que se use deberá ser representativa de la gradación original del material suministrado para la obra.

Tabla 3.13: Parámetro para el desgaste de los ángeles

Método		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
Pasa	Retenido				
1 ½"	1"				
1"	¾"	1.250±25			
¾"	½"	1.250±25			
½"	3/8"	1.250±25	2.500±10		
3/8"	¼"	1.250±25	2.500±10	2.500±10	
¼"	Nº4			2.500±10	
Nº4	Nº8				5.000±10
Peso total		5.000±10	5.000±10	5.000±10	5.000±10
Nº de esferas		12	11	8	6
Nº de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación, min.		15	15	15	15

Fuente: Diseño moderno de pavimentos, S. MINAYA & A. ORDOÑEZ

Debido que las partículas para la granulometría tipo II y III, tiene presencia de material fino y la partícula más grande que se tiene es de aproximadamente 10 mm, se opta por

usar la franja perteneciente al grupo D, separando tan solo el material que pase por el tamiz N°4 y el retenido del tamiz N°8, usando 5.000 gr, y 6 esferas con 500 revoluciones.

Procedimiento

Una vez seleccionado el método a utilizar y determinado el peso de la muestra a usar, se colocan en la máquina de Los Ángeles la muestra y el número de esferas correspondiente para el ensayo (véase tabla 3.13).

Luego, se pone a funcionar su mecanismo una velocidad que debe estar comprendida entre 30 y 33 revoluciones por minuto (rpm) y el número total de vueltas deberá ser el especificado en el método a utilizar. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica constante.

Una vez cumplido el número de vueltas prescritas, se descarga el material del cilindro y se procede a efectuar una separación en la muestra ensayada del material más grueso, luego éste se lava y se seca en horno a una temperatura comprendida entre los 110 ± 5 C. La fracción fina que retiene el tamiz N° 12 y esta se une con el material más grueso y la muestra pasante se desecha.

El cálculo de este ensayo es muy sencillo, siendo el porcentaje de desgaste igual a la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado en tanto por ciento del peso original y se denota de la siguiente forma:

$$\%Desgaste = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} * 100$$

Donde:

Pf= Peso final

Pi= Peso inicial

A continuación, se muestra la tabla de resultados del ensayo que se realizó al agregado.

Tabla 3.14: Resultados ensayo desgaste abrasión los ángeles del agregado

Material	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM C 131
A	-	-	-	35,00% MAX
B	-	-	-	35,00% MAX
C	-	-	-	35,00% MAX
D	5.000,30	3.396,30	32,08	35,00% MAX

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la tabla de resultados del ensayo que se realizó al rap.

Tabla 3.15: Resultados ensayo desgaste abrasión los ángeles del rap

Material	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM C 131
A	-	-	-	35,00% MAX
B	-	-	-	35,00% MAX
C	-	-	-	35,00% MAX
D	5.000,45	3.458,71	30,83	35,00% MAX

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.18: Ensayo desgaste abrasión los ángeles del rap y agregados



Fuente: Elaboración propia.

3.5.4 Caras fracturadas de los agregados

Mediante este ensayo nos permite determinar el porcentaje en peso de agregados que presentan una o más caras producidas por fractura.

Procedimiento

Se debe homogenizar la muestra a ensayar con la ayuda de la cuchara, la muestra para el ensayo se obtendrá, por medio de un cuarteo del total del material recibido. Se deberá seleccionar el peso de la muestra que este a su vez estará sujeto al tamaño del agregado que se utiliza (véase tabla 3.16), y se deberá lavar la muestra para facilitar la detección de partículas fracturadas.

Se procede a secar la muestra a una temperatura constante de 105 °C +/- 5 °C. f) y una vez secada la muestra se debe pesar, y anotar dicho valor como peso total de la muestra. Se extiende la muestra en un área suficientemente grande, para visualizar las partículas de agregado con fractura.

Se considera un agregado con caras fracturadas cuando un 25 % o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que no han sido por naturaleza sino por procedimiento mecánico (picadora).

Finalmente, se deberá pesar las partículas con caras fracturadas y se registrará en la planilla de ensayo como, peso de agregado con cara fracturadas.

Tabla 3.16: Peso total de la muestra según el tamaño del agregado

Tamaño del agregado	Peso (gr)
1 ½" = 37,5 mm.	2.500
1" = 25,4 mm.	2.000
¾" = 19 mm.	1.500
½" = 12,5 mm.	1.200
3/8" = 9,5 mm	300

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de este ensayo será mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de caras fracturadas} = \frac{A}{B} * 100$$

Donde:

A= Peso de agregado de caras fracturadas

B= Peso total del agregado

A continuación, se presenta la tabla de resultados del ensayo de caras fracturadas para el agregado.

Tabla 3.17: Resultados ensayo caras fracturadas del agregado

Tamaño del agregado		A	B	Caras fracturadas
Pasa tamiz	Retenido tamiz	(gr)	(gr)	(%)
3/8"	N°4	234,40	300,00	78,13

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la tabla de resultados del ensayo de caras fracturadas para el rap.

Tabla 3.18: Resultados ensayo caras fracturadas del rap

Tamaño del agregado		A	B	Caras fracturadas
Pasa tamiz	Retenido tamiz	(gr)	(gr)	(%)
3/8"	N°4	276,70	300,00	92,23

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.19: Ensayo caras fracturadas del agregado y rap



Fuente: Elaboración propia.

3.5.5 Gravedad específica en áridos finos (ASTM E 128 AASHTO T84-00)

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

Existen tres diferentes gravedades específicas relacionadas al diseño de mezclas asfálticas en caliente que definen el volumen de las partículas de agregados:

- Gravedad específica seca aparente
- Gravedad específica seca bulk (base seca) y saturada superficialmente seca bulk
- Gravedad específica efectiva

Procedimiento

Primeramente, se deberá seleccionar el material en dos partes, el primero deberá tener material que pase por el tamiz N°4 y retenido tamiz N°200, la segunda muestra deberá contener todo el filler que presente, es decir el pasante del tamiz N°200. Para determinar el peso específico del agregado, será necesario contar con 500 gr aproximadamente para realizar el ensayo.

Se deberá sumergir en un recipiente la muestra seleccionada de la arena por alrededor de 24 ± 4 hrs, según especifica la norma de la ASTM E 128 y AASHTO T 84-00 del manual de carreteras de la abc. Posterior a ello, se deberá escurrir toda el agua y proceder a secar la arena a temperatura ambiente hasta llevarla a su condición suelta. Luego se procederá a colocar la muestra en el molde cónico sujeto firmemente contra una superficie lisa, plana y no absorbente, con su diámetro mayor hacia abajo, llénelo con el árido en condición suelta en una capa y enrasede. Seguidamente, compacte suavemente con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie. En cada golpe deje caer el pisón libremente, ajustándola a la nueva elevación de la muestra después de cada golpe. Levante el molde y si al retirar el molde, el árido caiga suavemente según su talud natural, será indicación que éste ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca.

Posterior a esto, se deberá el peso de la muestra y colocarlo en un matraz, cubriéndolo con agua a temperatura de $20 \pm 3^\circ \text{C}$, hasta alcanzar aproximadamente $2/3$ del volumen del matraz. Agite el matraz con el fin de eliminar burbujas de aire, golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano. Después dejar reposar durante una hora y llene con agua a $20 \pm 3^\circ \text{C}$, hasta la marca de calibración, agite y deje reposar un instante. Medir y registre la masa total del matraz la muestra de ensaye y el agua.

Saque la muestra del matraz, evitando pérdidas de material, y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$. Déjela enfriar a temperatura ambiente. Determine y registre la masa de la muestra de ensaye en condición seca. Llene el matraz solamente con agua a una temperatura de $20 \pm 3^\circ \text{C}$ hasta la marca de calibración. Mida y registre la masa del matraz con agua.

Figura 3.20: Ensayo peso específico de la arena



Fuente: Elaboración propia.

Para el peso específico del filler, se deberá separa una muestra del material pasante del tamiz N°200, se pesará y se introduce al matraz llenándolo con agua hasta la marca de calibración, proceder a pesar el matraz + material + agua, y registrar la temperatura dentro del matraz. Proceder a eliminar las burbujas de agua dentro y para lo cual se deberá agitar el matraz, golpeándolo suavemente con la palma de la mano.

Figura 3.21: Ensayo peso específico del filler



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta los resultados del peso específico de la arena y filler, que son el promedio de dos pruebas realizadas para este ensayo.

Tabla 3.19: Resultados peso específico arena y filler

Filler		
Peso Específico de los Sólidos a 20°C, Gs	gr/cm ³	2,71
Arena		
Peso Específico bruto, base muestra s.s.s., Gbs	gr/cm ³	2,59
Peso Específico bruto, base muestra secada al horno, Gb	gr/cm ³	2,52
Peso Específico aparente, G	gr/cm ³	2,71
% de Absorción	%	2,71

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6 Peso unitario de la arena

El peso específico unitario, es la relación de la masa del agregado que ocupa un volumen patrón unitario entre la magnitud de este, incluyendo el volumen de vacíos propio del agregado, que ha de ir a ocupar parte de este volumen unitario patrón. Sirve para

transformar pesos a volúmenes o viceversa. Existen dos valores para el peso unitario de un material granular, dependiendo el sistema que se emplee para acomodar el material; la denominación que se le dará a cada uno de ellos será: peso unitario suelto y peso unitario compactado. Por otro lado, del contenido de humedad del agregado se determina para conocer el grado de humedad del agregado.

Procedimiento

Peso unitario suelto arena: Primero se determina el peso y volumen del molde, y se procede a colocar la arena en el molde sin compactar, una vez que esté lleno el molde en rasar la superficie con la varilla y proceder a pesar el molde contenido con arena.

Peso unitario compactado arena: se determina el peso y volumen del molde, y se procede a colocar la arena en tres capas, en cada capa se empareja con la mano y se apisona con 25 golpes con la varilla lisa de 5/8 distribuida de manera uniforme. Una vez que esté lleno el molde se enrasa la superficie con la varilla y por último pesar el molde contenido con arena compactada.

A continuación, se presenta la tabla de resultados que son el promedio de tres pruebas realizadas.

Tabla 3.20: Resultados peso unitario de la arena

Peso unitario de la arena		
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1,29
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1,53

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.22: Ensayo peso unitario de la arena



Fuente: Elaboración propia.

3.6 Slurry Seal y Micropavimento

Las lechadas asfálticas y micropavimentos “slurry seal” corresponden a aplicaciones de emulsiones asfálticas, con o sin adición de polímeros, utilizadas principalmente en la conservación de pavimentos de asfalto.

El uso de los micropavimentos permite la construcción de capas de rodadura muy económicas, en especial para vías de bajo tráfico, y constituye una alternativa para la rehabilitación de pavimentos asfálticos con problemas funcionales superficiales, o con patologías que no comprometen el desempeño estructural. La fatiga o deformación permanente se consideran como deterioros avanzados, lo cual obliga a otro tipo de intervenciones. Las intervenciones con lechadas asfálticas contribuyen al desarrollo sostenible, son amigables con el medio ambiente, permiten una mayor duración de los pavimentos existentes, y optimizan el uso de los materiales y disminuyen el volumen de emisiones a la atmósfera.

La versatilidad de los micropavimentos o el “slurry seal” como se conoce en el mundo reduce el deterioro de las vías y el costo de mantenimiento de las mismas. El uso adecuado de los micropavimentos “slurry seal”, permite brindar soluciones para sellar los pavimentos que presentan un estado de oxidación muy avanzado. Además, permite

restaurar la textura superficial y proveerla de mayor resistencia al deslizamiento. Se puede utilizar para corregir el desprendimiento de partículas o (“raveling”).

Otro uso que se le da a los micropavimentos, tiene que ver con la impermeabilización de las capas de rodadura, y este puede ser desde el nivel de subrasante estabilizada, o sub-base y base granular. Se deben tener en cuenta las características y diferencias de cada aplicación entre lechadas asfálticas y micropavimentos, así como sus componentes para el uso correcto de la terminología técnica.

El micropavimento ofrece tres ventajas importantes en cuanto se presenta a la realización de tratamientos superficiales, en costo, durabilidad y tiempo sobre otras técnicas y materiales de mantenimiento de vías.

Las lechadas asfálticas y los micropavimentos cumplen objetivos similares, estos son:

- En cuanto a protección provee una nueva superficie de desgaste, protegiendo las capas inferiores del pavimento, aplicado oportunamente en la superficie del pavimento permite retardar el deterioro de la carpeta asfáltica sellando grietas superficiales mayores, rejuveneciendo e impermeabilizando la superficie.
- En seguridad permite corregir la textura superficial del pavimento cuando este presenta baja resistencia al deslizamiento. Aunque dentro de la categoría de sellos existen aplicaciones comerciales específicamente diseñadas para mejorar la resistencia al deslizamiento en superficies críticas de pavimentos.
- En la apariencia y calidad de la superficie corrige deterioros superficiales como pérdida de áridos gruesos y finos, cubre irregularidades y provee una superficie uniforme, aportando valor estético al pavimento.
- Para la Corrección de deformaciones, en el caso particular de los micropavimentos pueden también ser aplicado para corregir ahuellamientos de hasta 50 mm.

- Además, presentan ventajas por la rápida apertura al tráfico, ya que fragúa y seca en 1 hora (se cierra únicamente el carril en el que se está aplicando) y genera muy poca contaminación, únicamente arroja al ambiente el agua con la que se mezcló.

3.7 Diseño de mezclas asfálticas Slurry y Micropavimentos

Se debe obtener un contenido de porcentaje óptimo de asfalto para cualquier tipo de mezcla asfáltica. Los Slurrys y Micropavimentos son mezclas asfálticas en frío la cual académicamente y debido a diversos factores se realizará la obtención de porcentaje óptimo de asfalto mediante el método Marshall, en las cuales se deberá elaborar briquetas asfálticas en los moldes de 4" y 76,2 mm de altura.

3.7.1 Contenido óptimo de emulsión asfáltica y/o asfalto residual

El diseño de mezclas asfálticas, al igual que otros diseños de ingeniería de materiales, se basa simplemente en elegir y dosificar los materiales, para obtener las propiedades deseadas en la obra concluida; como se mencionó anteriormente se realizará la obtención de esto mediante el método Marshall.

El principal objetivo del diseño Marshall es la obtención del porcentaje óptimo de asfalto a utilizar en la mezcla asfáltica, obteniendo una buena gradación de los materiales para su mezclado.

Las briquetas de ensayo de la mezcla asfáltica del tipo Slurry y Micropavimentos, son preparadas cada una con una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenido de asfalto utilizado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla.

Para obtener un punto de partida de contenido de asfalto residual, se basará de la tabla obtenida de la "guía de diseño de mezcla de laboratorio para los sellos de lechada asfáltica (slurry seals)", donde se indica el rango de emulsión para las granulometrías tipo II y III.

Tabla 3.21: Materiales componentes de los sellos de lechada asfáltica.

Materiales componentes	Límites de especificación
Emulsión asfáltica	Tipo I: (16,50 – 26,40) % Tipo II: (12,40 – 22,30) % Tipo III: (10,70 – 19,80) % (sobre peso del agregado seco)
Asfalto residual	Tipo I: (10,00 – 16,00) % Tipo II: (7,50 – 13,50) % Tipo III: (6,50 – 12,00) % (sobre peso del agregado seco)
Relleno mineral	0,00% a 3,00% (sobre peso del agregado seco)
Aditivos	Lo que se requiera
Agua	Lo que se requiera para alcanzar una buena consistencia de la mezcla

Fuente: Guía de diseño de mezcla de laboratorio para los sellos de lechada asfáltica (Slurry Seals).

Dado los rangos de porcentaje de asfalto residual o emulsión asfáltica según la guía que se toma como base, se opta por hacer la variación de + 1,0% a partir del valor mínimo del rango que se establece en la tabla 3.21, realizando un total de seis porcentajes distintos para la determinación del porcentaje óptimo de asfalto de la granulometría correspondiente.

Para cada porcentaje se realizará la elaboración de tres briquetas por porcentaje, dando un total de 18 briquetas asfálticas para un grupo de gradación del agregado.

A continuación, se presenta la tabla de dosificación para la granulometría correspondiente al tipo II y tipo III, con asfáltico residual de 70,66 % (obtenido del ensayo de residuo por destilación).

Tabla 3.22: Dosificación para granulometría - tipo II

Peso total de la briqueta (gr)	Cemento asfáltico residual (70,66%)	70,66	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00
1.200,00	Emulsión asfáltica (100%)	100	9,91	11,32	12,74	14,15	15,57	16,98
Agregado Total (%)			90,09	88,68	87,26	85,85	84,43	83,02
Agregado Total (gr)			1.081,12	1.064,14	1.047,16	1.030,17	1.013,19	996,21
Emulsión (gr.)			118,88	135,86	152,85	169,83	186,81	203,79
Peso Total Briquetas (gr.)			1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.23: Dosificación para granulometría - tipo III

Peso total de la briqueta (gr)	Cemento asfáltico residual (70,66%)	70,66	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00
1.200,00	Emulsión asfáltica (100%)	100	8,49	9,91	11,32	12,74	14,15	15,57
Agregado Total (%)			91,51	90,09	88,68	87,26	85,85	84,43
Agregado Total (gr)			1.098,10	1.081,12	1.064,14	1.047,16	1.030,17	1.013,19
Emulsión (gr.)			101,90	118,88	135,86	152,85	169,83	186,81
Peso Total Briquetas (gr.)			1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizada la dosificación para las muestras del tipo II y III, se comenzará con la preparación y elaboración de las briquetas asfálticas.

Procedimiento para elaboración de briquetas asfálticas:

- Primeramente, se deberá pesar y separar la cantidad de agregado que se usará en cada porcentaje de asfalto residual, según se observa en las tablas 3.22 y 3.23.
- Una vez separado las muestras, se procede con la preparación, se pesa la cantidad de emulsión para el primer porcentaje de cemento asfáltico en un recipiente, agregando 10 ml. del aditivo Zycotherm para dar mayor fluidez a la emulsión y se pueda mezclar homogéneamente con los agregados.
- Antes de juntar la emulsión con el agregado fino, se procede a humedecer el agregado para poder tener mayor adherencia homogénea con la emulsión, una vez humedecido se procede a mezclar con la emulsión homogéneamente, y comenzar a vaciar la mezcla en el molde.
- Se debe aceitar los moldes y colocar un papel filtro en la parte inferior del molde para adsorber toda el agua que tenga la mezcla; se coloca la muestra en tres capas cada capa varillar 25 veces, y al final colocar un papel filtro encima de toda la mezcla del molde.
- Se procede a compactar con el martillo del Marshall 75 golpes, por cara.
- Una vez que la muestra esté compactada se procede a desmoldar y a enumerar cada briqueta para pesar y lecturar su estabilidad y fluencia.
- Se deberá dejar al menos 24 hrs, para que la briqueta asfáltica elimine toda la presencia de agua que haya tenido toda la mezcla.

Rompimiento de briquetas asfálticas en la Prensa Marshall

- Después de pasar el tiempo necesario para eliminar todo el líquido presente en las briquetas, se procede a hacer las rupturas de cada briqueta, para esto primeramente se deberá medir las dimensiones de altura y diámetro de cada briqueta y pesar cada una de ella en su estado seco.
- Luego, sumergir las briquetas a 25°C por 5 min, y llevar a pesar cada briqueta según corresponda su enumeración que se le haya designado.
- Una vez realizado esto, se procede a sacar los pesos sumergidos de cada una, se deberá sumergir cada muestra y pesar el peso sumergido.

- Finalmente, se procede a la ruptura de cada briqueta; para ello cabe recalcar que las briquetas no fueron colocadas en agua a 60°C por 30 min, esto debido a que las briquetas comenzaban a perder material y disgregarse de poco en poco, al no tener una estructura mineral compuesta por agregado grueso, resulta una la mezcla no tan resistente ni firme; cabe recalcar que los Slurrys y Micropavimentos no brindan un gran aporte de resistencia al pavimento deteriorado, pero si ayudan en gran manera a corregir el deterioro del pavimento.

Figura 3.23: Elaboración y medición de briquetas asfálticas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.24: Rotura de briquetas asfálticas



Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado las lecturas de rotura de briquetas, se procederá a realizar los cálculos correspondientes, tomando en cuenta todos los parámetros y características de cada material calculado anteriormente y así obtener el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de cada granulometría.

A continuación, se muestran los resultados del contenido óptimo de emulsión asfáltica para la granulometría Tipo II.

Tabla 3.24: Planilla Marshall para granulometría Tipo II

N° de briqueta	altura de briqueta	% de Emulsión		Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Flujo		
		% Cemento Asfáltico	% Emulsión Total	P. Seco	P. Sat. Sup. Seca	P. Sumergido en agua	Briqueta	Densidad Real	Densidad Promedio	Densidad Máx. Teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.	R.B.V.	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección	Carga real corregida	Carga promedio	Lectura dial o	Flujo real	Flujo promedio
		%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/c m ³	grs/c m ³	grs/c m ³	%	%	%	Pulg	libras		libras	libras	mm	-	Pulg
1	6,99			1.164,00	1.172,00	638,00	534,00	2,18													
2	7,02	7,00	9,90	1.162,00	1.169,00	629,00	540,00	2,15	2,17	2,52	14,02	28,89	51,46	1.015,00	2.714,97	0,85	2.319,67	2.339,00	170	0,07	6,82
3	7,12			1.160,00	1.167,00	635,00	532,00	2,18													
4	7,12			1.138,40	1.150,10	659,00	491,10	2,32													
5	7,21	8,00	11,32	1.143,70	1.154,23	650,00	504,20	2,27	2,31	2,49	7,19	25,25	71,51	1.829,00	4.906,91	0,82	4.035,93	4.035,60	160	0,06	6,32
6	7,13			1.137,10	1.148,24	661,00	487,20	2,33													
7	6,92			1.142,80	1.146,50	661,00	485,50	2,35													
8	7,01	9,00	12,73	1.137,50	1.143,60	663,00	480,60	2,37	2,36	2,45	3,57	24,35	85,33	1.996,00	5.356,61	0,86	4.586,86	4.618,00	180	0,07	7,35
9	6,90			1.133,80	1.138,60	658,00	480,60	2,36													
10	7,21			1.135,90	1.141,40	662,00	479,40	2,37													
11	7,20	10,00	14,14	1.134,50	1.139,70	657,00	482,70	2,35	2,36	2,41	2,25	25,30	91,11	2.570,00	6.902,27	0,82	5.686,09	5.029,00	210	0,08	7,48
12	7,21			1.131,40	1.138,70	657,00	481,70	2,35													
13	7,10			1.129,70	1.137,20	650,00	487,20	2,32													
14	7,11	11,00	15,56	1.127,40	1.134,60	651,00	483,60	2,33	2,33	2,37	2,04	27,07	92,48	2.168,00	5.819,77	0,84	4.874,64	4.836,40	210	0,08	8,53
15	6,94			1.125,00	1.130,10	647,00	483,10	2,33													
16	7,19	12,00	16,97	1.129,70	1.134,60	642,00	492,60	2,29	2,29	2,34	2,09	28,99	92,78	1.408,00	3.773,24	0,83	3.112,92	3.240,00	250	0,10	10,10

17	7,21			1.128,40	1.137,40	643,00	494,40	2,28						1.534,00	4,112,53	0,82	3.382,56		250	0,10	
18	6,98			1.119,70	1.126,50	639,00	487,50	2,30						1.396,00	3,740,93	0,86	3.224,68		270	0,11	

Fuente: Elaboración propia.

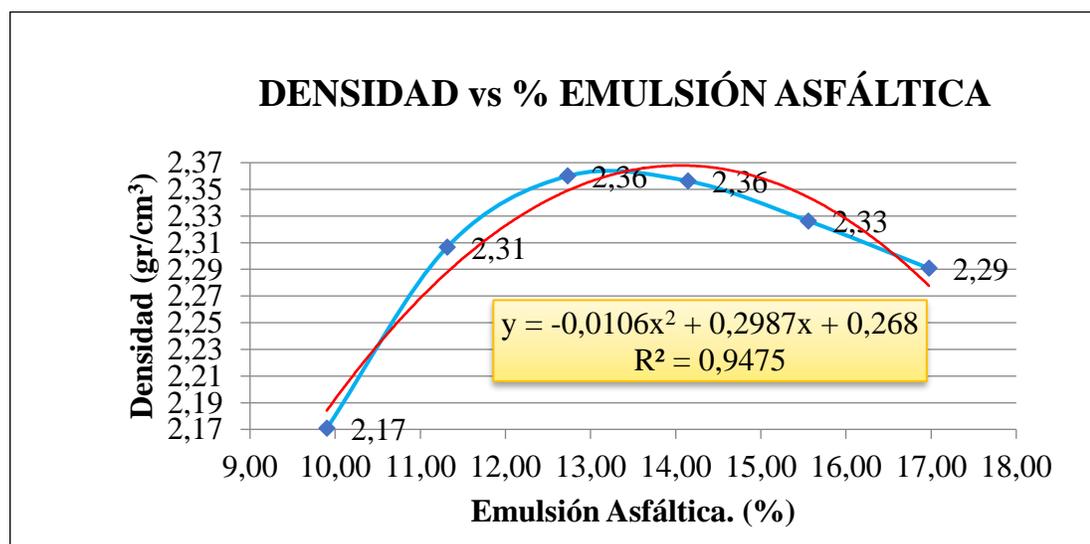
Tabla 3.25: Resultado contenido óptimo de emulsión asfáltica - Tipo II

	Ensayo	Valor de Diseño	% de Emulsión
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE EMULSIÓN ASFALTICA	Estabilidad Marshall (Lb)	5.067,43	13,86
	Densidad máxima (gr/cm ³)	2,37	14,09
	Vacíos de la mezcla (%)	3,99	12,72
	% Porcentaje óptimo	Promedio =	13,56

Fuente: Elaboración propia.

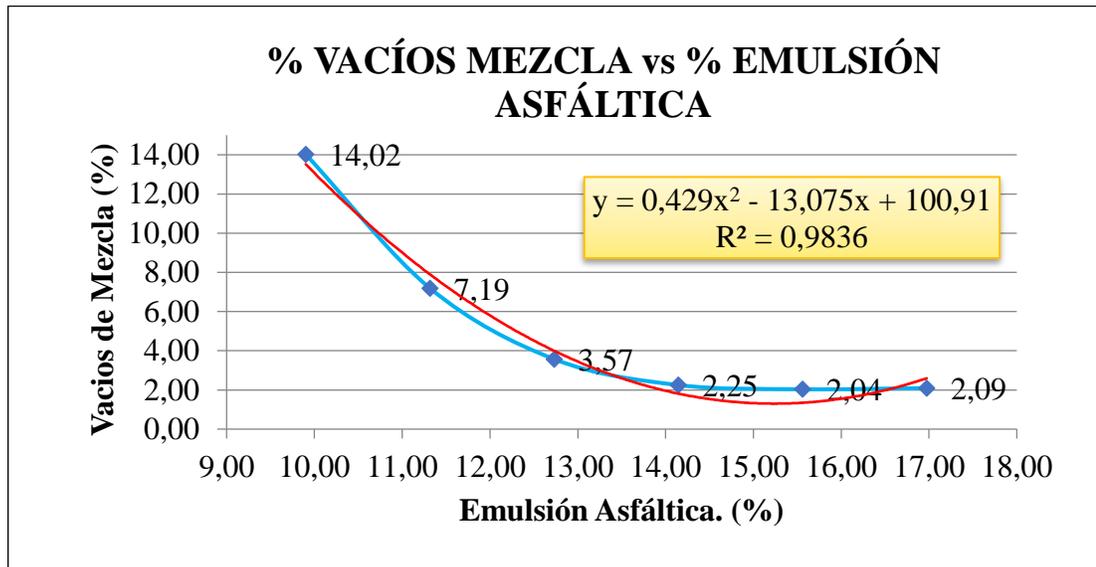
Para la granulometría tipo II, se obtiene un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 13,56%, la cual esta será constante para la elaboración de briquetas con rap. Se muestra la construcción de las gráficas de estabilidad, densidad y % de vacíos de la mezcla, con las cuales se determina el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica.

Figura 3.25: Gráfica densidad vs % de emulsión asfáltica



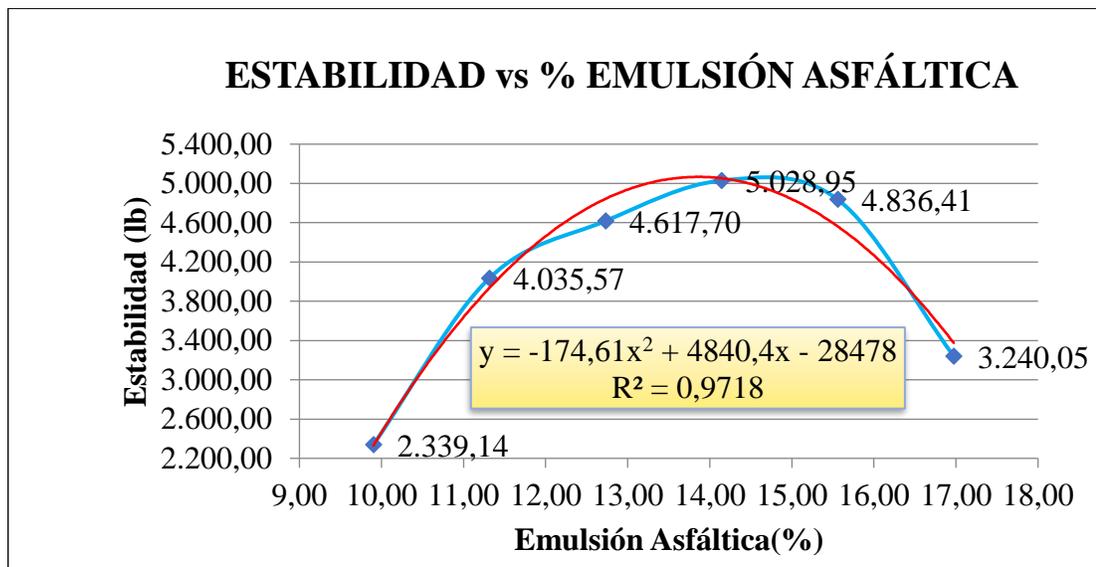
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.26: Gráfica % vacíos mezcla vs % emulsión asfáltica



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.27: Gráfica estabilidad vs % emulsión asfáltica



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los resultados del contenido óptimo de emulsión asfáltica para la granulometría Tipo III, partiendo de un contenido de asfalto residual de 6 al 11%.

Tabla 3.26: Planilla Marshall para granulometría Tipo III

N° de briqueta	Altura de briqueta	% de Emulsión		Peso Briqueta			Volu men	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Flujo		
		% Cemento Asfáltico	% Emulsión	P. Seco	P. Sat. Sup. Seca	P. Sumergido	Briqueta	Densidad Real	Densidad Promedio	Densidad Máxima	% de vacíos mezcla total	V.A.M.	R.B.V.	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección	Carga real corregida	Carga promedio	Lectura dial del flujo	Flujo real	Flujo promedio
		%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/c m ³	grs/c m ³	grs/c m ³	%	%	%	Pulg	libras		libras	libras	mm	-	Pulg
1	7,20	6,00	8,49	.1182,4 0	1.186,4 0	660,0 0	526,4 0	2,25	2,28	2,57	11,1 7	24,5 6	54,5 2	1.655,0 0	4.438,3 6	0,82	3.656,3 2	3.806,0 0	130	0,05	5,51
2	7,20			1.164,7 0	1.169,7 0	663,0 0	506,7 0	2,30						1.710,0 0	4.586,4 7	0,82	3.778,3 3		150	0,05	
3	7,15			1.187,3 0	1.192,1 0	675,0 0	517,1 0	2,30						1.789,0 0	4.799,2 0	0,83	3.983,3 3		140	0,06	
4	7,20	7,00	9,90	1.165,4 0	1.177,4 0	684,0 0	493,4 0	2,36	2,35	2,53	7,12	23,2 0	69,2 8	1.971,0 0	5.289,2 9	0,82	4.357,3 2	4.504,6 0	190	0,07	6,72
5	7,16			1.163,0 0	1.169,4 0	681,0 0	488,4 0	2,38						1.996,0 0	5.356,6 1	0,83	4.439,5 6		180	0,07	
6	6,83			1.174,6 0	1.187,6 0	676,0 0	511,6 0	2,30						1.975,0 0	5.300,0 6	0,89	4.717,0 5		180	0,07	
7	6,95	8,00	11,3 2	1.161,2 0	1.165,3 0	684,0 0	481,3 0	2,41	2,36	2,49	5,12	23,5 9	78,2 9	2.144,0 0	5.755,1 4	0,87	4.993,1 6	4.941,0 0	210	0,08	7,87
8	7,08			1.166,5 0	1.171,3 0	676,0 0	495,3 0	2,36						2.150,0 0	5.771,3 0	0,84	4.865,7 8		200	0,08	
9	6,91			1.174,3 0	1.189,1 0	681,0 0	508,1 0	2,31						2.114,0 0	5.674,3 6	0,88	4.965,0 6		190	0,07	
10	6,73	9,00	12,7 3	1.173,2 0	1.175,7 0	681,0 0	494,7 0	2,37	2,36	2,45	3,74	24,5 0	84,7 2	1.951,0 0	5.235,4 3	0,92	4.790,4 2	4.973,8 0	220	0,09	8,53
11	6,76			1.179,2 0	1.184,2 0	681,0 0	503,2 0	2,34						2.168,0 0	5.819,7 7	0,91	5.281,4 4		210	0,08	
12	6,73			1.184,2 0	1.189,5 0	687,0 0	502,5 0	2,36						1.975,0 0	5.300,0 6	0,92	4.849,5 5		220	0,09	
13	7,02	10,0 0	14,1 4	1.192,6 0	1.197,5 0	690,0 0	507,5 0	2,35	2,34	2,41	3,09	25,9 6	88,0 8	1.587,0 0	4.255,2 5	0,85	3.635,6 8	3.937,2 0	240	0,09	8,79
14	6,74			1.182,1 0	1.196,3 0	684,0 0	512,3 0	2,31						1.702,0 0	4.564,9 2	0,91	4.165,4 9		210	0,082 7	
15	6,78			1.180,7 0	1.194,5 0	693,0 0	501,5 0	2,35						1.657,0 0	4.443,7 5	0,90	4.010,4 8		220	0,086 6	

16	6,73	11,0 0	15,5 6	1.106,5 0	1.134,3 0	643,0 0	491,3 0	2,25	2,31	2,38	2,79	27,6 5	89,9 0	1.236,0 0	3.310,0 8	0,92	3.028,7 2	3.204,0 0	260	0,102 4	10,1 1
17	6,74			1.110,4 0	1.132,4 0	651,0 0	481,4 0	2,31						1.431,0 0	3.835,1 8	0,91	3.499,6 0		250	0,098 4	
18	6,68			1.119,3 0	1.137,2 5	665,0 0	472,3 0	2,37						1.241,0 0	3.323,5 4	0,93	3.082,5 9		260	0,102 4	

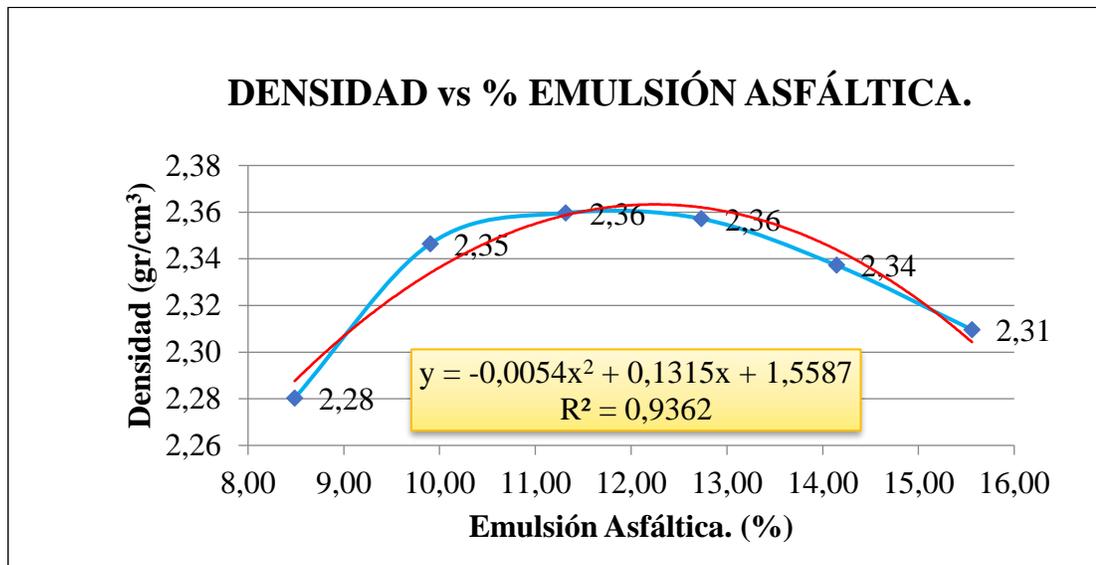
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.27: Resultado contenido óptimo de emulsión asfáltica - Tipo III

	Ensayo	Valor de Diseño	% de Emulsión
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE EMULSIÓN ASFALTICA	Estabilidad Marshall (Lb)	4.986,51	11,51
	Densidad máxima (gr/cm ³)	2,36	12,18
	Vacíos de la mezcla (%)	3,99	12,26
	% Porcentaje óptimo	Promedio =	11,98

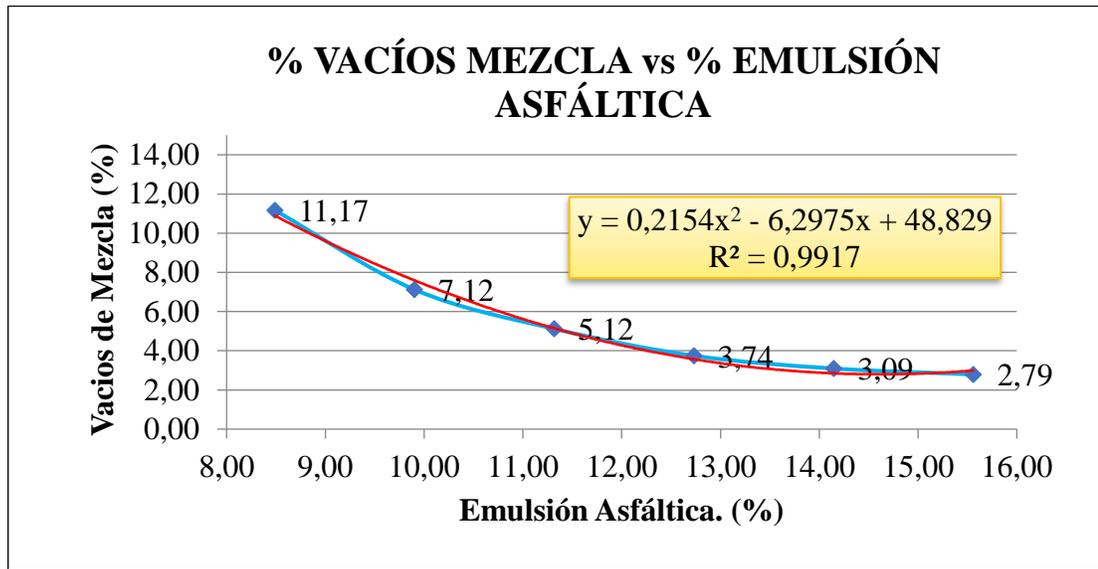
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.28: Gráfica densidad vs % emulsión asfáltica



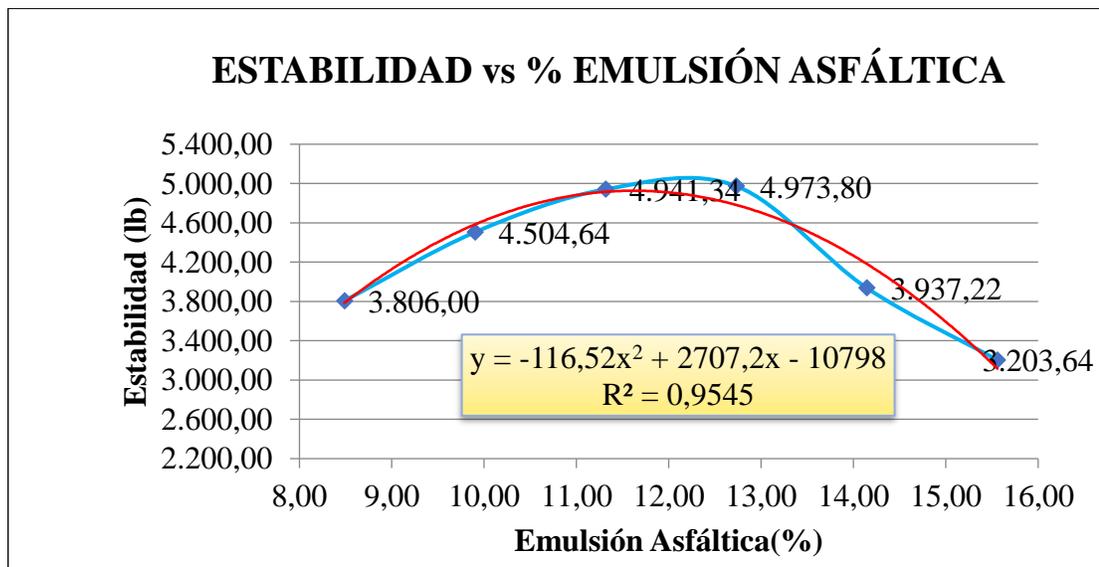
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.29: Gráfica % vacíos mezcla vs % emulsión asfáltica



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.30: Gráfica estabilidad vs % emulsión asfáltica



Fuente: Elaboración propia.

Para la granulometría del agregado de tipo III, que representan las muestras de micropavimentos, se obtiene 11,98% de emulsión asfáltica para agregar a la mezcla

asfáltica de este tipo, a partir de la obtención del porcentaje óptimo esta será constante para la elaboración de las briquetas asfáltica con incorporación de rap.

Una vez obtenidos los porcentajes de contenido óptimo de emulsión asfáltica, se procede a elaborar la dosificación y elaboración de las briquetas con Rap, que se plantea para esta investigación.

3.8 Incorporación de rap en mezclas asfálticas de Slurry y Micropavimentos

El rap es el material fundamental de este proyecto, ya que con él se observará la influencia que tendrá en las mezclas asfálticas del tipo slurry y micropavimentos; según estudios americanos, demuestran que se puede incorporar rap en ciertos porcentajes dando buenos resultados, pero para ello se deberá analizar los resultados que se obtengan y observar el comportamiento de ello. Se analizarán los parámetros de estabilidad y fluencia, y para tener un entendimiento mejor se obtendrá las propiedades volumétricas como ser el porcentaje de vacíos y la densidad de las briquetas; se tiene la expectativa de lograr sustituir el agregado por rap, brindando excelentes resultados en cuanto a resistencia y fluencia.

Se realiza la construcción de la granulometría del rap, la cual presentará una granulometría similar al del agregado natural con el cual se está trabajando y estos a su vez deben cumplir con las especificaciones que mencionan las normativas.

Si bien el título de la investigación menciona una adición de 100% de rap en mezclas asfálticas del tipo slurry y micropavimentos, es importante realizar incorporaciones en otros porcentajes para observar el comportamiento que tendrá el rap al ser incorporado en este tipo de mezcla asfáltica, ya que puede ocurrir que al 100% de rap la mezcla presente resultados poco favorables, y de esta forma resulte no ser factible, por lo cual se brindará una segunda alternativa observando hasta que porcentaje es aconsejable incorporar rap, todo esto ya que se parte con la hipótesis o idea de que el incorporar rap tendrá una disminución en el costo o presupuesto de la aplicación de estos en obra.

El criterio para determinar que porcentajes podrían ser los adecuados, será simplemente aquel que brinde propiedades mecánicas altas o similares al de las muestras convencionales, y de esta forma asegurar que al incorporar rap se mejorará dichas propiedades mecánicas o al menos obtener resultados similares.

A continuación, se presenta la tabla de dosificación para las briquetas del Tipo II y III.

Tabla 3.28: Dosificación de briquetas asfálticas con incorporación del rap - Tipo II

Peso total de la briketa (gr)	Porcentaje de agregado (%)	Porcentaje óptimo de emulsión calculado (%)	Porcentaje de Rap (%)					
			0,00	20,00	40,00	60,00	80,00	100,00
1.200,00	86,44	13,56	0,00	20,00	40,00	60,00	80,00	100,00
Agregado Total (gr)			1.037,28	1.037,28	1.037,28	1.037,28	1.037,28	1.037,28
Arena (gr.)			1.037,28	829,82	622,37	414,91	207,46	0,00
Rap (gr.)			0,00	207,46	414,91	622,37	829,82	1.037,28
Emulsión Asfáltica (gr.)			162,72	162,72	162,72	162,72	162,72	162,72
Peso Total Briquetas (gr.)			1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.29: Dosificación de briquetas asfálticas con incorporación del rap - Tipo III

Peso total de la briketa (gr)	Porcentaje de agregado (%)	Porcentaje óptimo de emulsión calculado (%)	Porcentaje de Rap (%)					
			0,00	20,00	40,00	60,00	80,00	100,00
1.200,00	88,02	11,98	0,00	20,00	40,00	60,00	80,00	100,00
Agregado Total (gr)			1.056,24	1.056,24	1.056,24	1.056,24	1.056,24	1.056,24
Arena (gr.)			1.056,24	844,99	633,74	422,50	211,25	0,00
Rap (gr.)			0,00	211,25	422,50	633,74	844,99	1.056,24
Emulsión Asfáltica (gr.)			143,76	143,76	143,76	143,76	143,76	143,76
Peso Total Briquetas (gr.)			1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizada la dosificación se procederá con la elaboración de las briquetas asfálticas con incorporación de rap.

Procedimiento de elaboración de briquetas asfálticas con rap

- Primeramente, se deberá separar los materiales a usar conforme a la tabla de granulometría correspondiente.
- Una vez separados, se procede a mezclar el agregado pétreo con el rap y humedecerlo para tener mayor adherencia con la emulsión asfáltica.
- Pesar la emulsión asfáltica que se requiere, es decir la emulsión óptima para cada tipo de granulometría, y mezclar la emulsión con el aditivo Zycotherm para poder tener una mayor fluidez y consistencia en la mezcla.
- Seguidamente, incorporar la emulsión en el recipiente y mezclar paulatinamente hasta que adquirir una mezcla homogénea.
- Luego se procederá a vaciar en los moldes varillando 25 veces en 3 capas, y colocar el papel filtro en la parte inferior y superior del molde, esto absorber todo el líquido presente de la mezcla.
- Una vez puesta la mezcla en el molde, se procede a compactar con el martillo de Marshall, 75 golpes por cara.
- Procede a desmoldar y enumerar cada briqueta, colocando el porcentaje de rap que se tenga en la muestra.
- Dejar aproximadamente 24 hrs, a que la muestra una vez compactado escurra toda el agua que lleva presente.

Figura 3.31: Preparación de briquetas asfálticas con incorporación de rap



Fuente: Elaboración propia.

Rompimiento de briquetas asfálticas en la Prensa Marshall

- Una vez dejado pasar el tiempo de escurrimiento, se comienza a medir las alturas de cada briqueta, medir cuatro veces su altura, también medir sus respectivos diámetros.
- Luego, se procede a pesar las muestras, primero pesar la muestra en su estado seco, después en su estado sumergido en agua a 25° C durante 5 min, y finalmente, el peso sumergido en agua completamente, todo esto de cada briqueta según la enumeración que corresponda.
- Después de haber medido y pesado cada briqueta, se empieza el rompimiento de cada briqueta, lecturando en la prensa Marshall, los valores de estabilidad y fluencia.

Figura 3.32: Rotura de briquetas asfálticas con incorporación de rap



Fuente: Elaboración propia.

3.8.1 Influencia del cemento asfáltico en el rap

El contenido de cemento asfáltico que contiene estos bloques de rap, no generan alguna alteración o afectación en la mezcla asfáltica que se está realizando, esto debido a que el cemento asfáltico ya se encuentra impregnado o adherido por muchos años a la carpeta asfáltica o al rap, y debido a que los Slurrys y Micropavimentos son mezclas asfálticas frías, estas no reactivan las partículas de asfalto del rap sino más bien el rap trabaja como un agregado que presenta mayor dureza que el agregado normal o natural.

Cabe resaltar que si se tratara de una mezcla en caliente este parámetro del cemento asfáltico si debería tomarse en cuenta ya que al agregar calor o al trabajar a altas temperaturas, esto dará paso a que las partículas de asfaltos del rap se reactiven y el cemento asfáltico viejo se mezclara con el nuevo y con el agregado, obteniendo así una mezcla con más asfalto del que se necesitaría y como resultado obtendría una mezcla asfáltica más plástica y deformable por la cantidad de asfalto que se presentará.

3.8.2 Propiedades volumétricas del Slurry y Micropavimento, con adición de Rap.

Se analizará las propiedades de densidad y el % de vacíos de la mezcla asfáltica, y se presenta a continuación.

3.8.2.1 Densidad de la mezcla asfáltica

La densidad de la mezcla es conocida muy comúnmente también como el peso unitario de esta donde podemos definir el peso unitario como un volumen específico de la mezcla un aspecto a tener en cuenta es que si se obtiene una densidad alta podremos tener un mejor rendimiento y mayor durabilidad del pavimento.

A continuación, se presentan los cálculos de la Densidad para la granulometría Tipo II y III.

$$G = \frac{a}{b - c}$$

Donde:

G= Densidad de la mezcla compactada o real (gr/cm³)

a = Masa de la muestra (gr).

b – c =Masas del volumen de agua de la muestra (gr).

b =Masa en el aire de la muestra saturada y superficie seca (gr).

c = Masa de la muestra en el agua (gr).

Ejemplo:

P. Seco Briqueta N°1= 1.132,6 gr

P. Seco Briqueta N°1= 1.138,9 gr

P. Seco Briqueta N°1= 650 gr

$$G = \frac{1.132,6}{1.138,9 - 650}$$

$$G = 2,32 \text{ gr/cm}^3$$

Se presenta la tabla de resultados de la densidad de la mezcla para las granulometrías tipo II y III.

Tabla 3.30: Resultados densidad de la mezcla – granulometría tipo II

N° de briqueta	% de Emulsión			Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta	
	% Cemento asfáltico	% Rap	% Emulsión Total	P. Seco	P. Sat. Sup. Seca	P. Sumergido en agua	Briqueta	Densidad Real	Densidad Promedio
	%	%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm ³	grs/cm ³
1				1.132,61	1.138,92	650,00	488,92	2,32	2,33
2	9,59	0,00	13,56	1.137,55	1.143,72	658,00	485,72	2,34	
3				1.133,88	1.138,45	651,00	487,45	2,33	
4				1.144,83	1.154,63	652,00	502,63	2,28	2,26
5	9,59	20,00	13,56	1.142,64	1.151,26	655,00	496,26	2,30	
6				1.155,24	1.164,67	642,00	522,67	2,21	
7				1.140,74	1.147,24	628,00	519,24	2,20	2,18
8	9,59	40,00	13,56	1.146,38	1.157,45	633,00	524,45	2,19	
9				1.148,56	1.160,33	628,00	532,33	2,16	
10				1.142,69	1.158,61	623,00	535,61	2,13	2,15
11	9,59	60,00	13,56	1.139,55	1.149,22	614,00	535,22	2,13	
12				1.114,64	1.128,60	618,00	510,60	2,18	
13				1.129,46	1.134,31	620,00	514,31	2,20	2,17
14	9,59	80,00	13,56	1.138,73	1.146,83	618,00	528,83	2,15	
15				1.134,53	1.140,64	619,00	521,64	2,18	
16				1.118,67	1.129,52	608,00	521,52	2,14	2,16
17	9,59	100,00	13,56	1.111,62	1.120,44	610,00	510,44	2,18	
18				1.120,47	1.128,71	612,00	516,71	2,17	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.31: Resultados densidad de la mezcla - granulometría tipo III

N° de briqueta	% de Emulsión			Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta	
	% Cemento asfáltico	% Rap	% Emulsión Total	P. Seco	P. Sat. Sup. Seca	P. Sumergido en agua	Briqueta	Densidad Real	Densidad Promedio
	%	%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm ³	grs/cm ³
1	8,47	0,00	11,98	1.173,25	1.181,52	682,00	499,52	2,35	2,34
2				1.168,14	1.176,36	675,00	501,36	2,33	
3				1.171,74	1.182,12	679,00	503,12	2,33	
4	8,47	20,00	11,98	1.205,54	1.212,10	673,00	539,10	2,24	2,31
5				1.131,36	1.139,21	665,00	474,21	2,39	
6				1.172,48	1.181,41	673,00	508,41	2,31	
7	8,47	40,00	11,98	1.149,74	1.157,15	655,00	502,15	2,29	2,27
8				1.149,69	1.159,47	651,00	508,47	2,26	
9				1.141,48	1.149,36	643,00	506,36	2,25	
10	8,47	60,00	11,98	1.119,74	1.126,47	650,00	476,47	2,35	2,29
11				1.158,85	1.163,05	648,00	515,05	2,25	
12				1.153,82	1.160,48	655,00	505,48	2,28	
13	8,47	80,00	11,98	1.201,35	1.208,74	677,00	531,74	2,26	2,29
14				1.180,26	1.187,84	684,00	503,84	2,35	
15				1.200,28	1.205,81	676,00	529,81	2,27	
16	8,47	100,00	11,98	1.127,37	1.135,21	645,00	490,21	2,30	2,21
17				1.198,49	1.204,36	643,00	561,36	2,14	
18				1.172,75	1.179,69	648,00	531,69	2,21	

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2.2 % de vacíos de la mezcla asfáltica

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. Al calcular el porcentaje de huecos de aire en la mezcla, es necesario conocer Dmm para cada porcentaje de asfalto considerado. Una vez obtenida la Dmm para un determinado contenido de asfalto y calculada la densidad efectiva del árido, calcule la Dmm de la mezcla para cualquier otro porcentaje de asfalto, de acuerdo a la fórmula:

$$Dmm = \frac{100 + Pb}{\frac{100}{\rho E} + \frac{Pb}{\rho b}}$$

Donde:

Dmm= Densidad máxima de la mezcla (gr/cm³).

Pb= Porcentaje de asfalto referido al árido. (%).

ρE= Densidad efectiva del árido (gr/cm³).

ρb= Densidad del asfalto (gr/cm³).

Ejemplo:

Pb= 9,59 %

ρE= 2,84 gr/cm³

ρb= 1,022 gr/cm³

$$Dmm = \frac{100 + 9,59}{\frac{100}{2,84} + \frac{9,59}{1,022}} = 2,43 \text{ gr/cm}^3$$

Una vez calculada la Densidad Máxima de la mezcla, se procede a calcular el % de vacíos o huecos de aire en la mezcla, por medio de la siguiente ecuación.

$$Va = 100X \frac{Dmm - G}{Dmm}$$

Donde:

Va= Porcentaje de vacíos o huecos de aire en la mezcla (%).

Dmm= Densidad máxima de la mezcla (gr/cm³).

G= Densidad de la mezcla compactada (gr/cm³).

Por lo tanto:

$G = 2,33 \text{ gr/cm}^3$ (Promedio de tres densidades para un mismo % de rap).

$$Va = 100X \frac{2,43 - 2,33}{2,43} = 4,04 \%$$

A continuación, se presentan los cálculos del % de Vacíos para la granulometría Tipo II y III.

Tabla 3.32: Resultados % de vacíos de la mezcla – granulometría tipo II

N° de briqueta	% de Emulsión			Densidad Briqueta		% de vacíos mezcla total
	% Cemento asfáltico residual	% Rap	% Emulsión Total	Densidad Promedio	Densidad Máxima Teórica	
	%	%	%	grs/cm ³	grs/cm ³	
1	9,59	0,00	13,56	2,33	2,43	4,04
2						
3						
4	9,59	20,00	13,56	2,26	2,43	6,70
5						
6						
7	9,59	40,00	13,56	2,18	2,43	10,14
8						
9						
10	9,59	60,00	13,56	2,15	2,43	11,45
11						
12						
13	9,59	80,00	13,56	2,17	2,43	10,36
14						
15						
16	9,59	100,00	13,56	2,16	2,43	10,82
17						
18						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.33: Resultados % de vacíos de la mezcla – granulometría tipo III

N° de briqueta	% de Emulsión			Densidad Briqueta		% de vacíos mezcla total
	% Cemento asfáltico residual	% Rap	% Emulsión Total	Densidad Promedio	Densidad Máxima Teórica	
	%	%	%	grs/cm ³	grs/cm ³	
1	8,47	0,00	11,98	2,34	2,47	5,33
2						
3						
4	8,47	20,00	11,98	2,31	2,47	6,42
5						
6						
7	8,47	40,00	11,98	2,27	2,47	8,09
8						
9						
10	8,47	60,00	11,98	2,29	2,47	7,05
11						
12						
13	8,47	80,00	11,98	2,29	2,47	7,13
14						
15						
16	8,47	100,00	11,98	2,21	2,47	10,29
17						
18						

Fuente: Elaboración propia.

3.8.3 Propiedades mecánicas del Slurry y Micropavimentos

Las propiedades mecánicas son las propiedades del material relacionadas con su capacidad de transmitir y resistir fuerzas o deformaciones. Estas propiedades mecánicas generalmente se determinan mediante ensayos aplicados a probetas o piezas. Dichas propiedades mecánicas que se analizan en esta investigación son la estabilidad y la fluencia o flujo, las cuales se obtiene los valores de estas propiedades mediante la prensa Marshall.

- Estabilidad: la estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.
- Fluencia y/o flujo: es la deformación del espécimen al punto de máxima carga, el flujo propiamente es medido en centésimas de pulgada, lo cual representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de briqueta.

Si bien los Slurrys y Micropavimentos son lechadas asfálticas las cuales no brindan un aporte estructural, pero corresponden a la aplicación de emulsiones asfálticas en frío y utilizados para el mantenimiento y conservación de pavimentos flexibles. La ISSA (International Slurry Surfacing Association) define a los morteros o slurrys como una mezcla de agregados (incluyendo el filler), emulsión asfáltica de rotura lenta, agua y aditivo, la que es distribuida uniformemente sobre la superficie de un pavimento en espesores que van desde los 3 a 10 mm. Por otra parte, la ISSA define los micropavimentos como un tipo más avanzado o superior de lechada asfáltica de mayor estabilidad, capaz de alcanzar espesores variables de hasta 50 mm. los mismos que son distribuidos en capas.

Como se mencionó anteriormente, para fines académicos se habilita la opción de utilizar una misma emulsión asfáltica RR2C-E para representaciones de ambas muestras del tipo slurry y micropavimentos con diferencia de variación en los agregados a emplear, usando la granulometría del tipo II para muestras del slurry y la gradación del tipo III para muestras de micropavimentos, que estas se muestran en las tablas 3.9 y 3.11. Cabe recalcar que, para la aplicación en obra de un proyecto, se deberá utilizar una emulsión asfáltica de quiebre lento para el slurry y emulsiones asfálticas catiónicas modificada con polímeros como indican las normativas y el marco teórico ubicado en el capítulo II.

3.8.3.1 Estabilidad de la mezcla asfáltica

Todo pavimento debe ser estable, capaz de mantener su forma y su textura ante cargas repetidas, mientras que los pavimentos inestables son aquellos que desarrollan fisuras,

ahuellamientos, ondulaciones y otras señas que deterioran al pavimento. Como se explicó anteriormente, se realizan la elaboración de briquetas asfálticas sin la incorporación de rap al 0%, que a éstas se la denominarán como briquetas convencionales o briquetas patrón, y se elaborarán las briquetas con incorporación de rap en distintos porcentajes, como se muestra en la tabla 3.34. Partiendo de esto, se tomará como dato de referencia o dato patrón la estabilidad de las briquetas convencionales y se analizará la dispersión de los resultados que resulten de las briquetas con rap, observando de esta manera el comportamiento del rap dentro de este tipo de mezclas asfálticas. Observando todos estos detalles se procederá a formular las conclusiones a la cual se llegará en la investigación. A continuación, se presenta la tabla de resultados de la estabilidad para ambas granulometrías.

Tabla 3.34: Resultados estabilidad de la mezcla asfáltica - granulometría tipo II

N° de briqueleta	% de Emulsión			Estabilidad	
	% Cemento asfáltico	% Rap	% Emulsión Total	lectura del dial	Lectura promedio
	%	%	%	Pulg	Pulg
1				2.045,00	1.987,00
2	9,59	0,00	13,56	1.976,00	
3				1.940,00	
4				1.845,00	1.875,00
5	9,59	20,00	13,56	1.860,00	
6				1.920,00	
7				1.967,00	2.004,00
8	9,59	40,00	13,56	2.035,00	
9				2.010,00	
10				1.823,00	1.888,33
11	9,59	60,00	13,56	1.975,00	
12				1.867,00	
13				1.784,00	1.691,33
14	9,59	80,00	13,56	1.578,00	
15				1.712,00	
16				1.548,00	1.608,33
17	9,59	100,00	13,56	1.602,00	
18				1.675,00	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.35: Resultados estabilidad de la mezcla asfáltica - granulometría tipo III

N° de briqueta	% de Emulsión			Estabilidad	
	% Cemento asfáltico	% Rap	% Emulsión Total	lectura del dial	Lectura promedio
	%	%	%	Pulg	Pulg
1	8,47	0,00	11,98	2.110,00	2.066,67
2				2.058,00	
3				2.032,00	
4	8,47	20,00	11,98	2.210,00	2.284,67
5				2.299,00	
6				2.345,00	
7	8,47	40,00	11,98	2.517,00	2.452,00
8				2.453,00	
9				2.386,00	
10	8,47	60,00	11,98	2.087,00	2.122,33
11				2.240,00	
12				2.040,00	
13	8,47	80,00	11,98	2.060,00	2.047,67
14				2.040,00	
15				2.043,00	
16	8,47	100,00	11,98	1.785,00	1.795,00
17				1.740,00	
18				1.860,00	

Fuente: Elaboración propia.

3.8.3.2 Flujo de la mezcla asfáltica

El flujo o fluencia, es la deformación total que se produce en la briqueta asfáltica y es expresada en mm. Al momento de romper la briqueta en la Prensa Marshall, se aplica una carga y produce una falla, cuando se produce la falla se lectura inmediatamente el valor registrado de la fluencia, es decir cuánto es la deformación que produce esa muestra a esa carga.

Uno de las propiedades mecánicas a evaluar es la fluencia, se observará el comportamiento que presente la mezcla asfáltica cuando se le incorpore el rap en distintos porcentajes. A continuación, se presenta la tabla de resultados de Fluencia en la mezcla asfáltica.

Tabla 3.36: Resultados flujo vs % de rap – granulometría tipo II

N° de briqueta	% de Emulsión			Flujo	
	% Cemento asfáltico	% Rap	% Emulsión Total	lectura dial del flujo	Lectura promedio
	%	%	%	mm	mm
1				250,00	203,33
2	9,59	0,00	13,56	180,00	
3				180,00	
4				300,00	313,33
5	9,59	20,00	13,56	290,00	
6				350,00	
7				320,00	320,00
8	9,59	40,00	13,56	330,00	
9				310,00	
10				330,00	373,33
11	9,59	60,00	13,56	380,00	
12				410,00	
13				390,00	390,00
14	9,59	80,00	13,56	360,00	
15				420,00	
16				350,00	330,00
17	9,59	100,00	13,56	310,00	
18		0		330,00	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.37: Resultados flujo vs % de rap – granulometría tipo III

N° de briqueta	% de Emulsión			Flujo	
	% Cemento asfáltico	% Rap	% Emulsión Total	lectura dial del flujo	Lectura promedio
	%	%	%	mm	mm
1				220,00	213,33
2	8,47	0,00	11,98	210,00	
3				210,00	
4				280,00	260,00
5	8,47	20,00	11,98	250,00	
6				250,00	
7				300,00	306,67
8	8,47	40,00	11,98	340,00	
9				280,00	
10				400,00	383,33
11	8,47	60,00	11,98	370,00	
12				380,00	
13				400,00	380,00
14	8,47	80,00	11,98	380,00	
15				360,00	
16				360,00	360,00
17	8,47	100,00	11,98	370,00	
18				350,00	

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV:

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados

4.1.1 Análisis caracterización de la emulsión asfáltica

La emulsión asfáltica RR2C-E, emulsión de rotura rápida con polímero modificado fue sometida a ensayos de caracterización, las cuales brindaron resultados satisfactorios con respecto a las especificaciones para esta emulsión. La hoja técnica donde se muestra dichas especificaciones, se encuentra escaneada y mostrada en la parte de anexos.

Tabla 4.1: Resultados caracterización emulsión asfáltica

Emulsión asfáltica E-TEX RR2C-E				
Ensayo	Unidad	Promedio	Especificaciones	
			Mínimo	Máximo
Penetración	mm	55,00	45,00	150,00
Viscosidad Saybolt Furol	mm ³ /s	312,80	100,00	400,00
Ductilidad	cm	106,00	>100,00	-
Pto. Ablandamiento	°C	55,33	55,00	-
Residuo Por Destilación	%	70,66	65,00	-
Peso Específico Asfalto	gr/cm ³	1,02	1,00	1,05

Fuente: Elaboración Propia.

- **Ensayo de penetración al asfalto residual**

Este ensayo fue realizado conforme indica la normativa ASTM D 5, mediante el cual se observa que la emulsión asfáltica utilizada presenta una dureza o consistencia relativa del cemento asfáltico, elevada, lo cual indicaría que la emulsión presentara bastante porcentaje de asfalto residual y bajo porcentaje de emulsificante y agua.

Para este ensayo fue necesario destilar el asfalto el cual se lo realizó colocando muestras de emulsión en taras y estas fueron llevadas al horno por 5 hrs, para evaporar toda la presenta de agua y así poder obtener el asfalto residual.

- **Ensayo viscosidad Saybolt Furol**

Mediante este ensayo se puede observar o determinar la viscosidad que presenta la emulsión, mientras el valor de viscosidad sea menor indica que la muestra tiene una fluidez buena y que es manejable porque es líquida, mientras si la muestra presenta un valor de viscosidad elevado, indicara que la emulsión o muestra, presenta una fluidez muy espesa, la emulsión es demasiada viscosa la cual no la hace tan manipulable al momento de agregar en la mezcla asfáltica.

Se observa que la emulsión si cumple con los rangos establecidos en la hoja técnica.

- **Ensayo ductilidad**

Dentro de este ensayo se puede determinar el estiramiento máximo que tiene el asfalto antes de que la muestra se rompa en dos partes; en pocas palabras, medirá la elasticidad que presenta el asfalto. Dentro del resultado obtenido de laboratorio, nos indica que la emulsión si cumple con estos rangos que se establece, indicando que la emulsión presenta una elasticidad aceptable, muy cercano al valor mínimo que se establece. Como se fue observando en los anteriores ensayos podemos ir deduciendo que la emulsión presenta una baja fluidez y tiene una consistencia muy densa, es por ello que su elasticidad no es alta, debido a la dureza o consistencia que presenta el asfalto residual.

- **Ensayo punto de ablandamiento**

Este ensayo determina la susceptibilidad del asfalto a altas temperaturas, es decir determina la temperatura a la cual el asfalto residual pasa de su estado sólido a estado semilíquido en el cual el asfalto empieza a ablandarse demostrando la plasticidad que muestra.

En la tabla 4.1 se observa que dicha emulsión cumple con las características de su especificación técnica, encontrándose al límite del valor mínimo de la especificación. Esto nos indica que el asfalto residual es manejable a partir de los 55,33°C, a partir de dicha temperatura el asfalto presenta una consistencia un poco fluida y elástica.

- **Ensayo residuo por destilación**

Este ensayo es de vital importancia para todo el desarrollo de la investigación, y es un parámetro muy utilizado al momento de dosificar y determinar las propiedades de la mezcla. Se observa que la emulsión presenta un alto porcentaje de asfalto residual, y un bajo contenido de emulsificante y agua.

Este valor puede ser verificado con la viscosidad para determinar si dichos resultados son aceptables, si el contenido de asfalto residual es elevado, indicara que necesariamente el valor de la viscosidad debería ser elevado, ya que se trata de una emulsión viscosa.

Se ha observado que cualquier emulsión que contenga polímeros modificados, harán de esta una mezcla más densa, la cual al momento de ser mezclada con los agregados presentara una adherencia rápida y concisa.

Con todos estos resultados, se observó que se tendría un poco de complicaciones en cuanto a la elaboración de briquetas asfáltica, para lo cual se dispuso a hacer el uso de un aditivo que permita que la emulsión presente mayor fluidez y los agregados sean mezclados homogéneamente.

4.1.2 Análisis caracterización de los agregados y rap

El agregado que se utilice para la elaboración de muestras del tipo slurry y micropavimento, deberá cumplir con los parámetros que establecen las normativas ISSA A 105 y A 143, para poder ser empleada en la preparación de estas lechadas asfálticas.

- **Distribución granulométrica del agregado fino (arena)**

Los agregados deben cumplir con una granulometría específica, la que se establece en la normativa de ISSA A 105 y ISSA A 143, dicha granulometría presenta bastante agregado fino y filler, y será descrita en la tabla a continuación.

Tabla 4.2: Análisis de la granulometría del agregado

Distribución granulometría del agregado fino – Granul. tipo II

Peso Total (gr.)			5.000,00				
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa	% Que pasa s/g. Especific. ISSA A-105	
	(mm)	(gr)	(gr)				
1/2	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00		
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
Nº4	4,75	432,44	432,44	8,65	91,35	90,00	100,00
Nº8	2,36	1.262,39	1.694,83	33,90	66,10	65,00	90,00
Nº16	1,18	861,93	2.556,76	51,14	48,86	45,00	70,00
Nº30	0,60	611,94	3.168,69	63,37	36,63	30,00	50,00
Nº50	0,30	510,47	3.679,17	73,58	26,42	18,00	30,00
Nº100	0,15	819,22	4.498,39	89,97	10,03	10,00	21,00
Nº200	0,075	148,43	4.646,82	92,94	7,06	5,00	15,00
BASE	-	349,52	4.996,35	99,93	0,07		
	SUMA	4.996,30					
	PÉRDIDAS	3,70					

Distribución granulometría del agregado fino – Granul. tipo III

Peso Total (gr.)			5.000,00				
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa	% Que pasa s/g. Especific. ISSA A-143	
	(mm)	(gr)	(gr)				
1/2	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00		
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100
Nº4	4,75	926,91	926,91	18,54	81,46	70,00	90,00
Nº8	2,36	1.123,85	2.050,76	41,02	58,98	45,00	70,00
Nº16	1,18	589,47	2.640,23	52,80	47,20	28,00	50,00
Nº30	0,60	665,10	3.305,33	66,11	33,89	19,00	34,00
Nº50	0,30	473,59	3.778,92	75,58	24,42	12,00	25,00
Nº100	0,15	550,53	4.329,46	86,59	13,41	7,00	18,00
Nº200	0,075	395,28	4.724,74	94,49	5,51	5,00	15,00
BASE	-	269,34	4.994,08	99,88	0,12		
	SUMA	4.994,10					
	PÉRDIDAS	5,90					

Fuente: Elaboración propia.

El slurry y micropavimento tiene una granulometría exigente, la cual difícilmente se puede encontrar almacenada en las chancadoras de la ciudad, para lo cual necesariamente se debe formar o adecuar el agregado para que cumpla con la especificación. Se utiliza solamente

el agregado fino (arena), debido que solo se requiere material cuya partícula mayor sea de 9,50 mm. El material deberá estar limpio y libre de impurezas o de material orgánico.

- **Distribución granulométrica del RAP**

La granulometría del rap no existe alguna restricción o normativa con la cual se pueda avalar, pero se analiza la distribución granulométrica del agregado que lo compone, para ello fue necesario extraer terrones de rap desechados de las carreteras, la cual fue sometida a un horno con temperaturas elevadas y posterior a ello, realizar el ensayo de extractor centrífugo eliminando todo el asfalto presente del agregado, finalmente se realizó la granulometría y se obtuvo su distribución granulométrica del agregado.

Se puede observar que el agregado compuesto del material reciclable estaba compuesto por grava de ¾”, gravilla y arena.

Tabla 4.3: Análisis granulométrico del Rap

Peso Total (gr.)			4500		
Tamices	tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa
	(mm)				del total
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	124,56	124,56	2,77	97,23
1/2"	12,50	300,97	425,53	9,46	90,54
3/8"	9,50	920,10	1.345,63	29,90	70,10
Nº4	4,75	1.311,30	2.656,93	59,04	40,96
Nº8	2,36	380,70	3.037,63	67,50	32,50
Nº16	1,18	397,10	3.434,73	76,33	23,67
Nº30	0,60	321,00	3.755,73	83,46	16,54
Nº50	0,30	271,90	4.027,63	89,50	10,50
Nº100	0,15	171,70	4.199,33	93,32	6,68
Nº200	0,075	114,30	4.313,63	95,86	4,14
BASE	-	102,40	4.416,03	98,13	1,87
	SUMA	4.416,00			
	PÉRDIDAS	84,00			

Fuente: Elaboración propia.

Para la incorporación del rap en la mezcla asfáltica, se procedió a ser triturado en partículas pequeñas, para posterior a ello, ser tamizado y separado del material y/o retenido del tamiz N°4, solo será incorporado a la mezcla todo el material que pase por este tamiz, el restante será desechado. El rap debe encontrarse limpio, libre de impurezas y material orgánico para ser incorporado en la mezcla asfáltica.

- **Equivalente de arena**

Dentro de sus especificaciones también establece parámetros de los cuales deben cumplir los agregados para ser incorporados en este tipo de mezclas asfálticas. El resultado que se muestra en la tabla 3.41 indica que el % de equivalente de arena cumple con el rango que establece la especificación de la ISSA A 105 y ISSA A 143. Por el % que se muestra en la tabla, podemos observar que el material tiene bastante presencia de partículas finas de arena limpia, teniendo poco % de fino arcilloso dentro del material.

- **Desgaste de los Ángeles**

En el ensayo del Desgaste de Los Ángeles, se observa que los áridos no tienen buena resistencia ante cargas adversas, y se encuentra dentro del rango que establece la especificación de la normativa, aunque el valor está casi al límite del valor máximo aceptable. A continuación, se presenta una tabla de resumen de resultados de dichos ensayos.

Tabla 4.4: Resultados caracterización del agregado

Agregado Fino (Arena)				
Ensayo	Unidad	Promedio	Especificaciones	
			Mínimo	Máximo
Equiv. De Arena	%			
. Tipo II		75,00	≥45,00%	-
. Tipo III		82,00	≥45,00%	-
Desgaste Abrasión Los Ángeles	%	32,08	-	35,00%

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Análisis del porcentaje óptimo de emulsión asfáltica

Para la obtención del porcentaje óptimo de emulsión asfáltica se la realizó a través del ensayo Marshall, tomando en consideración tres parámetros: densidad, % de Vacíos y estabilidad. En la tabla 4.5, se puede observar que para la granulometría Tipo II, se obtiene mayor % de emulsión asfáltica óptima, esto debido a que esta granulometría presenta bastante material árido fino, y no tiene mucho aporte del tamiz N°4, que es la partícula más grande que exige su granulometría.

Al tener poco árido grueso y tener más aporte de finos, indica que la muestra presenta mayor % de vacíos ya que la arena es un agregado que es bastante permeable.

Debido a que el Marshall es un método para determinar el contenido óptimo de asfalto para mezclas asfáltica convencionales, y no mezclas para Slurry y Micropavimentos; no se tiene parámetros o rangos de propiedades volumétricas de mezclas asfálticas con cuales se pueda comparar. Al tener una granulometría con una alta presencia de agregado fino, los parámetros volumétricos tienden a ser altos, mientras más contenido de asfalto presenten las mezclas menores serán sus propiedades volumétricas.

Para la granulometría Tipo II, se obtiene un contenido óptimo de emulsión asfáltica de 13,56 %, observando que con este porcentaje la mezcla aparenta ser homogénea y nos brinda mayor resultado en cuanto a los 3 parámetros importantes para el método Marshall, que son la densidad, % de vacíos y la estabilidad de las briquetas asfálticas.

Para la granulometría Tipo III, se obtuvo un contenido de asfalto óptimo de 11,98%, observando que con este porcentaje nos brinda resultados altos en tanto a la estabilidad y propiedades volumétricas.

Tabla 4.5: Comparación de resultados % óptimo de emulsión asfáltica

	Tipo II			Tipo III		
	Ensayo	Valor de Diseño	% de Emulsión	Ensayo	Valor de Diseño	% de Emulsión
Determinación del porcentaje óptimo de emulsión asfáltica	Estabilidad Marshall (Lb)	5.067,43	13,86	Estabilidad Marshall (Lb)	4.986,507	11,510
	Densidad máxima (gr/cm ³)	2,37	14,09	Densidad máxima (gr/cm ³)	2,359	12,180
	Vacíos de la mezcla (%)	3,99	12,72	Vacíos de la mezcla (%)	3,998	12,260
	% Porcentaje óptimo	Promedio =	13,56	% Porcentaje óptimo	Promedio =	11,98

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Análisis de propiedades mecánicas y volumétricas del slurry y micropavimentos

La investigación estudia las propiedades mecánicas de briquetas asfálticas con la incorporación de rap. Para ello se analizarán los siguientes parámetros:

4.1.4.1 Densidad

La densidad nos permite conocer el peso de los materiales dentro de la biqueta asfáltica, indicará la influencia del rap dentro de esta, se puede observar cuanto incrementa o disminuye la densidad tomando como dato patrón la biqueta convencional con 0% de rap. Se muestra la tabla de resultados de las densidades obtenidas para ambos tipos de granulometría.

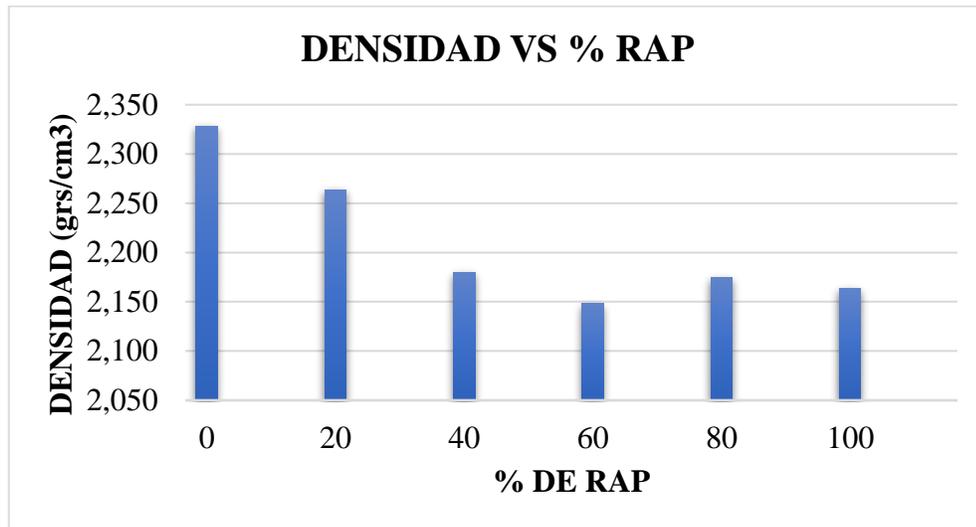
Tabla 4.6: Análisis de la densidad en las muestras asfálticas

N° de briqueta	TIPO II					TIPO III				
	% de Emulsión			Densidad Briqueta		% de Emulsión			Densidad Briqueta	
	% Cemento asfáltico	% Rap	% Emulsión Total	Densidad Real	Densidad Promedio	% Cemento asfáltico	% Rap	% Emulsión Total	Densidad Real	Densidad Promedio
	%	%	%	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	grs/cm ³	grs/cm ³
1				2,32					2,35	
2	9,59	0,00	13,56	2,34	2,328	8,47	0,00	11,98	2,33	2,34
3				2,33					2,33	
4				2,28					2,24	
5	9,59	20,00	13,56	2,30	2,264	8,47	20,00	11,98	2,39	2,31
6				2,21					2,31	
7				2,20					2,29	
8	9,59	40,00	13,56	2,19	2,180	8,47	40,00	11,98	2,26	2,27
9				2,16					2,25	
10				2,13					2,35	
11	9,59	60,00	13,56	2,13	2,148	8,47	60,00	11,98	2,25	2,29
12				2,18					2,28	
13				2,20					2,26	
14	9,59	80,00	13,56	2,15	2,175	8,47	80,00	11,98	2,35	2,29
15				2,18					2,27	
16				2,14					2,30	
17	9,59	100,00	13,56	2,18	2,164	8,47	100,00	11,98	2,14	2,21
18				2,17					2,21	

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.1, se muestra un histograma en el cual se puede observar con mayor claridad, el comportamiento de la mezcla cuando se va incorporando rap en distintos porcentajes. En la mezcla convencional sin adición de rap, se observa que la briqueta asfáltica presenta una alta densidad, en comparación a las mezclas que llevan rap; también se puede denotar que a partir del 20% de rap, la densidad decrece de forma descendente, arrojando el resultado que al 60% de presencia de rap, la densidad baja y por consecuente el % de vacíos será mayor para ese contenido de rap. Este análisis es para la granulometría Tipo II. Al 100% de rap, la observa que la densidad para este tipo de granulometría disminuye un 7% en relación de la briqueta convencional.

Figura 4.1: Gráfica densidad vs % rap – Granul. tipo II

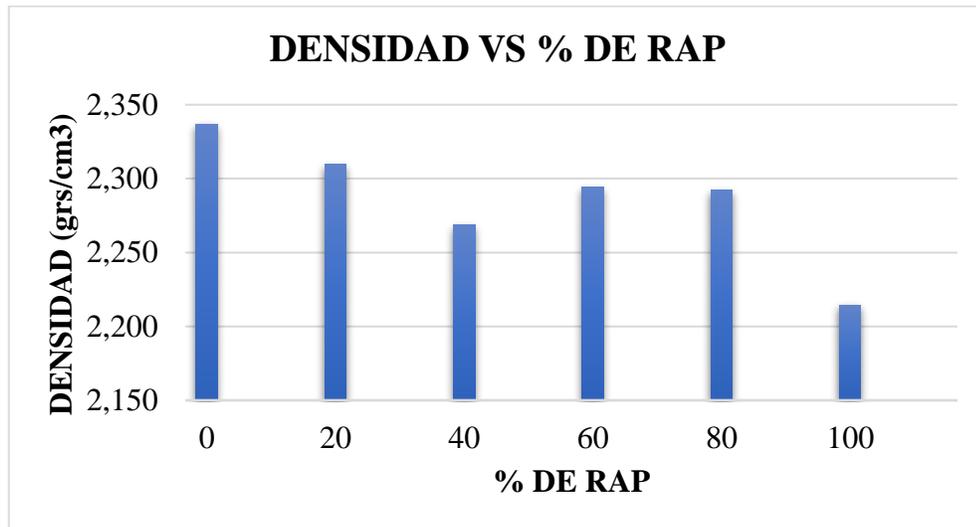


Fuente: Elaboración propia.

Para la granulometría Tipo III, se observa en la figura 4.2 que la densidad presenta una mayor densidad al 0% de rap, la gráfica ya no se presenta en forma parabólica sino más bien ya es de carácter polinómica, presentando una densidad menor al 100% de rap y por lo consiguiente en este porcentaje se presentara un mayor porcentaje de vacíos.

En cuanto a la comparación de densidades máximas entre ambas granulometrías, las incorporaciones de rap en la granulometría III, presentan resultados mayores que para la granulometría II, esto debido a la gradación o distribución granulométrica que tiene ambos tipos de agregados; mientras más % de agregado del Tamiz N°4 se tenga, mayor densidad se presenta en la mezcla asfáltica.

Figura 4.2: Gráfica densidad vs % rap – Granul. tipo III



Fuente: Elaboración propia.

En ambos tipos de mezclas, se observa que, a mayor presencia de rap, la densidad tiende a disminuir, dando a entender que en cuanto a densidades específicas o peso específico, el rap pesará menos que lo que pesa el agregado fino, y al tener mayor presencia de partículas cubiertas con asfalto menor será la permeabilidad que se tiene en la mezcla. Por lo cual, si se incorpora 100% de rap en las mezclas, las briquetas resultarán tener un peso seco más bajo que en comparación de las demás.

4.1.4.2 % de vacíos en la mezcla

El porcentaje de vacíos es una de las propiedades importantes, en la cual se puede observar el comportamiento que tendrá la muestra; si se presenta porcentajes de vacíos altos indicará que existe bastante permeabilidad dentro de la mezcla, lo cual puede ocasionar un endurecimiento prematuro del asfalto, desprendimiento del agregado, o posible desprendimiento del asfalto en el agregado.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados de % de vacíos para cada granulometría correspondiente.

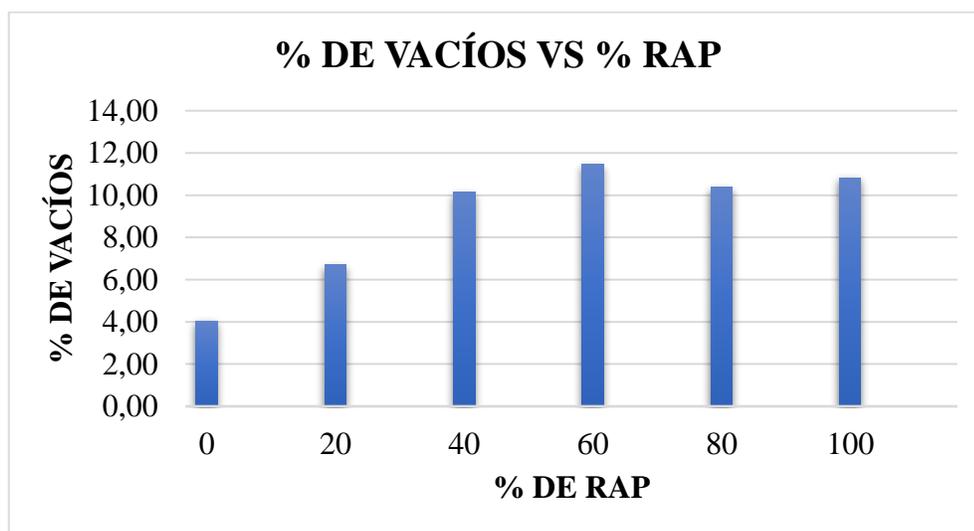
Tabla 4.7: Análisis del % de vacíos en las muestras asfálticas

N° de briqueta	TIPO II						TIPO III					
	% de Emulsión			Densidad Briqueta		% de vacíos mezcla total	% de Emulsión			Densidad Briqueta		% de vacíos mezcla total
	% Cemento asfáltico residual	% Rap	% Emulsión Total	Densidad Promedio	Densidad Máxima Teórica		% Cemento asfáltico residual	% Rap	% Emulsión Total	Densidad Promedio	Densidad Máxima Teórica	
	%	%	%	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	%	grs/cm ³	grs/cm ³	%
1												
2	9,59	0,00	13,56	2,33	2,43	4,04	8,47	0,00	11,98	2,34	2,47	5,33
3												
4												
5	9,59	20,00	13,56	2,26	2,43	6,70	8,47	20,00	11,98	2,31	2,47	6,42
6												
7												
8	9,59	40,00	13,56	2,18	2,43	10,14	8,47	40,00	11,98	2,27	2,47	8,09
9												
10												
11	9,59	60,00	13,56	2,15	2,43	11,45	8,47	60,00	11,98	2,29	2,47	7,05
12												
13												
14	9,59	80,00	13,56	2,17	2,43	10,36	8,47	80,00	11,98	2,29	2,47	7,13
15												
16												
17	9,59	100,00	13,56	2,16	2,43	10,82	8,47	100,00	11,98	2,21	2,47	10,29
18												

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.3 se observa que la mezcla presenta mayor porcentaje de vacíos a mayor adición de rap convirtiéndola en mezcla permeable, la densidad y el porcentaje de vacíos trabajan de forma viceversa, mientras mayor sea la densidad, menor será el porcentaje de vacíos. Al incorporar rap la mezcla tiene un incremento de porcentaje de forma creciente polinómica, resultando un % de vacíos mayor al 60% y menor al 0% de rap.

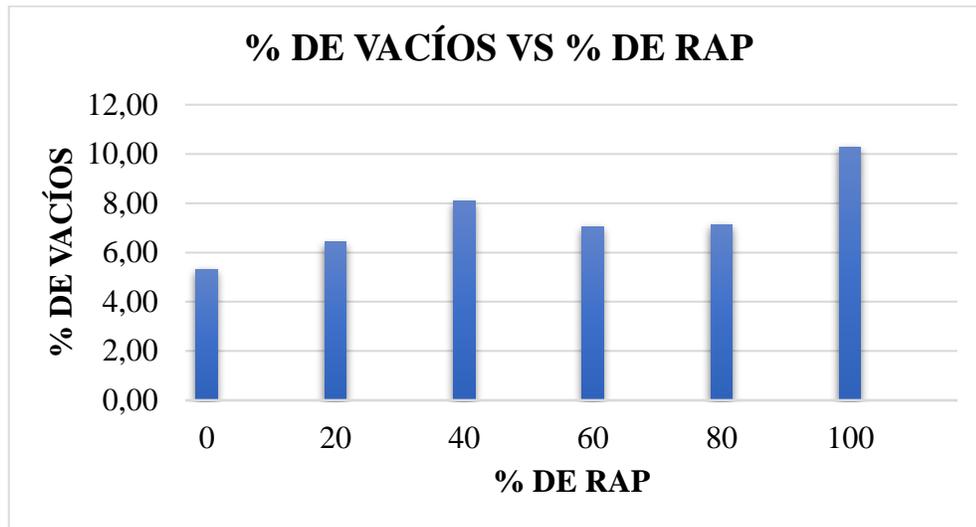
Figura 4.3: Gráfica % de vacíos vs % rap – Granul. tipo II



Fuente: Elaboración propia.

Para la granulometría III, se observa en la figura 4.4 que el porcentaje de vacíos en comparación a la otra granulometría no es mayor, debido que al tener mayor aporte de partículas grandes cohesionan de buena forma con el asfalto evitando el paso del agua por medio de sus poros. También se observa que su comportamiento es de forma ascendente polinómica, resultando un porcentaje de vacíos mayor al 100% de rap. En comparación de la mezcla convencional, ninguno de los porcentajes presenta un valor menor, más bien el porcentaje de vacíos incrementa conforme se adicione rap.

Figura 4.4: Gráfica % de vacíos vs % rap – Granul. tipo III



Fuente: Elaboración propia.

Tal cual se había explicado antes, se puede observar que mientras más rap se agregue a la mezcla mayor porcentaje de vacíos se tendrá, dando a entender que la mezcla se convierte en permeable y porosa, y que las partículas del agregado con el asfalto no llegan a combinarse perfectamente, resultado un mayor paso de agua dentro de las briquetas asfálticas.

4.1.4.3 Estabilidad

Uno de los parámetros importantes a analizar es la estabilidad, ya que con esta propiedad podemos determinar si es factible la incorporación del rap dentro de la mezcla asfáltica; es decir se analiza la diferencia de carga máxima de la muestra convencional, con la muestra que es al 100% de rap, y el comportamiento de las otras muestras con los distintos porcentajes que se planteó al comienzo del desarrollo de la investigación.

Mientras mayor sea la carga que soporta la biqueta mayor será la resistencia que presenta la mezcla asfáltica, se analiza la dispersión de los resultados tomando como dato patrón la carga máxima de la muestra convencional sin incorporación de rap.

A continuación, se presenta la tabla de resultados de la estabilidad para ambos tipos de mezcla asfáltica.

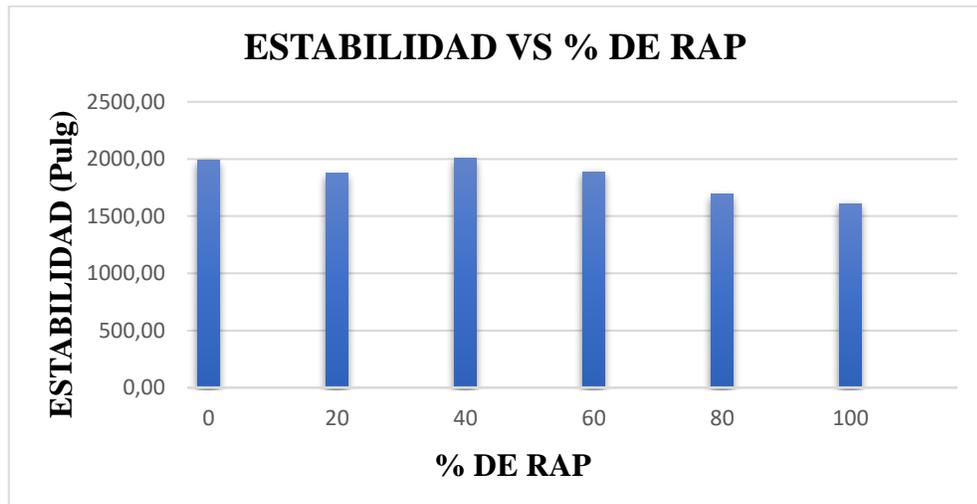
Tabla 4.8: Análisis de la estabilidad de la mezcla asfáltica

N° de briqueta	TIPO II					TIPO III				
	% de Emulsión			Estabilidad		% de Emulsión			Estabilidad	
	% Cemento asfáltico residual	% Rap	% Emulsión Total	lectura del dial	Lectura promedio	% Cemento asfáltico residual	% Rap	% Emulsión Total	lectura del dial	Lectura promedio
	%	%	%	Pulg	Pulg	%	%	%	Pulg	Pulg
1				2.045,00					2.110,00	
2	9,59	0,00	13,56	1.976,00	1.987,00	8,47	0,00	11,98	2.058,00	2.066,67
3			1.940,00						2.032,00	
4				1.845,00					2.210,00	
5	9,59	20,00	13,56	1.860,00	1.875,00	8,47	20,00	11,98	2.299,00	2.284,67
6				1.920,00					2.345,00	
7				1.967,00					2.517,00	
8	9,59	40,00	13,56	2.035,00	2.004,00	8,47	40,00	11,98	2.453,00	2.452,00
9				2.010,00					2.386,00	
10				1.823,00					2.087,00	
11	9,59	60,00	13,56	1.975,00	1.888,33	8,47	60,00	11,98	2.240,00	2.122,33
12				1.867,00					2.040,00	
13				1.784,00					2.060,00	
14	9,59	80,00	13,56	1.578,00	1.691,33	8,47	80,00	11,98	2.040,00	2.047,67
15				1.712,00					2.043,00	
16				1.548,00					1.785,00	
17	9,59	100,00	13,56	1.602,00	1.608,33	8,47	100,00	11,98	1.740,00	1.795,00
18				1.675,00					1.860,00	

Fuente: Elaboración propia.

Para la granulometría tipo II, se puede observar en la figura 4.5 que el comportamiento indica que a al agregar rap en 100% pierde un 19% de resistencia en comparación de la mezcla convencional. También se observa que al 60% de rap se tiene una resistencia de carga similar al de la mezcla convencional, el comportamiento que presenta será de forma polinómica decreciente.

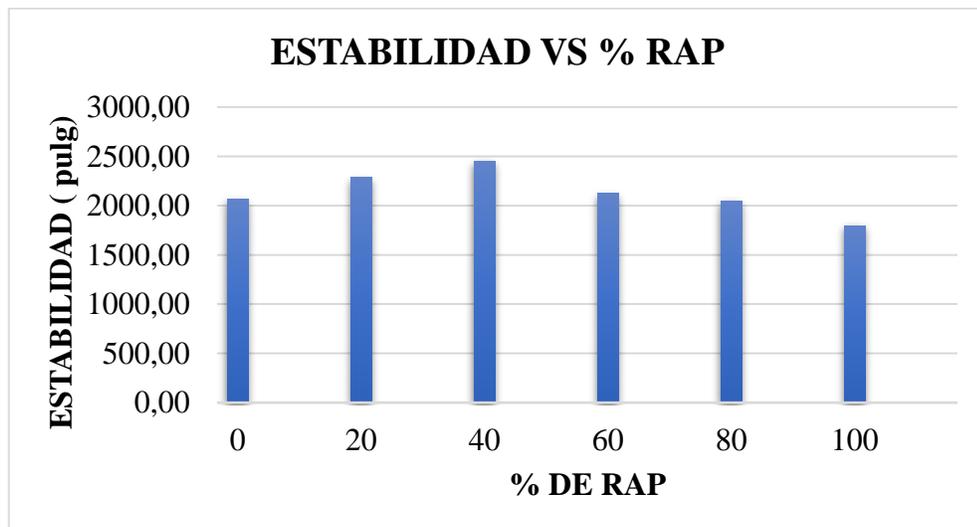
Figura 4.5: Gráfica estabilidad vs % rap - Granul. tipo II



Fuente: Elaboración propia.

Para el Micropavimento, el comportamiento del rap para la estabilidad, es de forma parabólica creciente, es decir incrementa hasta un punto máximo y después de ello la mezcla pierde resistencia y por lo tanto su estabilidad comienza a disminuir, por lo cual nos indica que el valor de estabilidad mayor se encuentra entre el 20 a 60% de rap. La estabilidad para el 100% llega a reducir un 13% de resistencia de carga en comparación a la muestra de la mezcla convencional.

Figura 4.6: Gráfica estabilidad vs % rap



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se puede denotar en ambas figuras, que estas mezclas asfálticas presentan buenos resultados o resultados similares en comparación a las mezclas convencionales, si se adiciona rap desde el 0% al 60%, después mientras mayor rap se incorpore la mezcla asfáltica perderá mayor resistencia. Indicando que no es apto incorporar rap arriba del 60%, ya que si eso ocurre la mezcla perderá su resistencia ante cargas adversas que pueda presentarse en su período de vida útil.

4.1.4.4 Flujo o fluencia

El flujo de la muestra es el último parámetro y/o propiedad a analizar, con la cual se llega a establecer y concluir con la investigación, la fluencia determina la deformación que tendrá la briqueta asfáltica, mientras mayor sea la fluencia mayor será su plasticidad que presentará la muestra asfáltica.

En este parámetro se analizará el porcentaje de rap con el cual llega a cumplir resultados buenos y aceptables para su incorporación, también se analiza la dispersión y/o variación entre los resultados.

Se realizó un total de 18 briquetas asfálticas con distintos porcentajes de rap y un contenido de emulsión asfáltica y asfalto residual constante.

A continuación, se presenta la tabla de análisis de resultados correspondientes para ambas granulometrías.

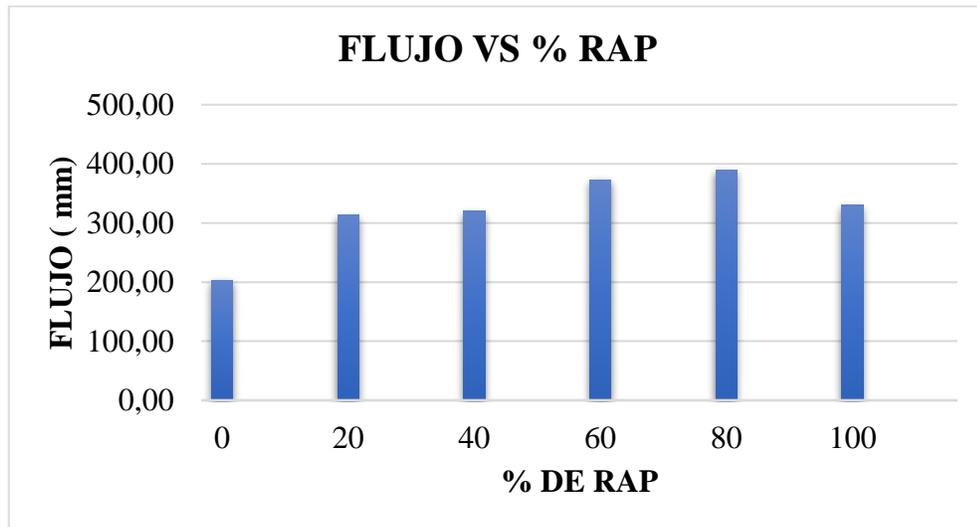
Tabla 4.9: Análisis de la fluencia de la mezcla asfálticas

N° de briqueta	TIPO II					TIPO III				
	% de Emulsión			Flujo		% de Emulsión			Flujo	
	% Cemento asfáltico residual	% Rap	% Emulsión Total	lectura del dial	Lectura promedio	% Cemento asfáltico residual	% Rap	% Emulsión Total	lectura dial del flujo	Lectura promedio
	%	%	%	mm	mm	%	%	%	mm	mm
1				250,00					220,00	
2	9,59	0,00	13,56	180,00	203,33	8,47	0,00	11,98	210,00	213,33
3				180,00					210,00	
4				300,00					280,00	
5	9,59	20,00	13,56	290,00	313,33	8,47	20,00	11,98	250,00	260,00
6				350,00					250,00	
7				320,00					300,00	
8	9,59	40,00	13,56	330,00	320,00	8,47	40,00	11,98	340,00	306,67
9				310,00					280,00	
10				330,00					400,00	
11	9,59	60,00	13,56	380,00	373,33	8,47	60,00	11,98	370,00	383,33
12				410,00					380,00	
13				390,00					400,00	
14	9,59	80,00	13,56	360,00	390,00	8,47	80,00	11,98	380,00	380,00
15				420,00					360,00	
16				350,00					360,00	
17	9,59	100,00	13,56	310,00	330,00	8,47	100,00	11,98	370,00	360,00
18				330,00					350,00	

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la fluencia para el Slurry que se puede observar en la figura 4.7, que la mezcla presentará mayor deformación mientras se va agregando rap en distintos porcentajes, al 100% de Rap la fluencia aumenta un 38% en comparación a la muestra de mezcla convencional. Mientras más rap se agregue a la mezcla mayor deformación presentará, debido a que las partículas de rap se están cohesionando con el asfalto residual, resultando así, una mezcla más plástica y deformable.

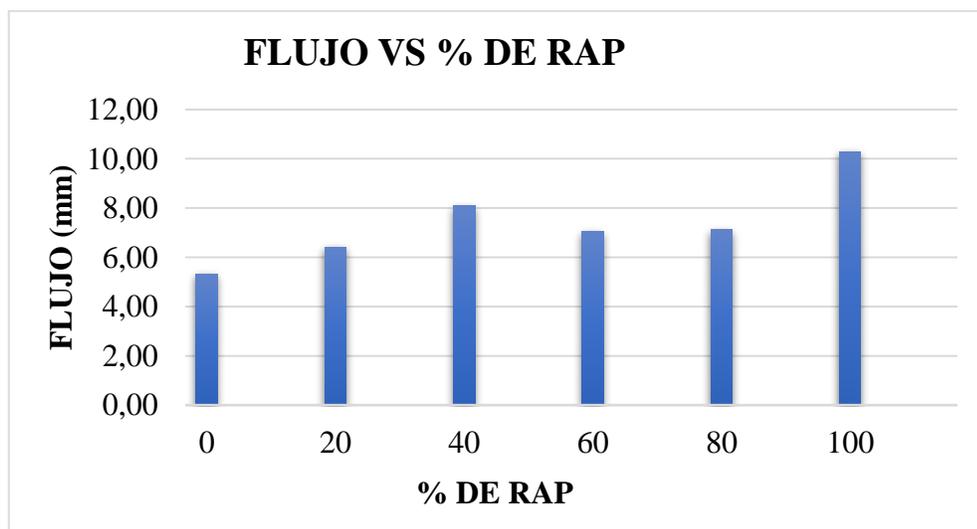
Figura 4.7: Gráfica flujo vs % de rap – Granulometría tipo II



Fuente: Elaboración propia.

Para el Micropavimento, se observa en la gráfica 4.8, que con mayor adición de rap la mezcla presenta mayor flujo o deformación, al incrementarse 100% la mezcla adquiere mayor deformación en comparación del resto de las briquetas asfálticas, presentando una gráfica polinómica creciente.

Figura 4.8: Gráfica flujo vs % de rap – Granulometría tipo III



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se llega a deducir que para ambas granulometrías el % óptimo de rap a incorporarse estaría entre los porcentajes del 0 al 40% de rap, obteniendo valores más bajos en cuanto a la deformación, a partir de esos porcentajes la mezcla tiende a convertirse en una muestra bastante deformable.

4.2 Porcentaje óptimo de rap en Slurrys y Micropavimentos

La determinación del porcentaje óptimo de rap que se puede incorporar a la mezcla asfáltica del tipo slurry y micropavimentos, no está basado en una normativa, pero si en criterios del estudiante laboratorista. Estos criterios están basados en dos parámetros: la estabilidad y flujo, y el costo.

Lo que se pretende es brindar una solución económica pero también factible de realizar, al incorporar rap se disminuye el costo del agregado lo cual si es factor viable para un proyecto, pero también se busca la obtención de resultados factibles en sus parámetros es por eso que también se toma en consideración el parámetro de sus propiedades mecánicas, es decir la estabilidad y flujo, basándose en estos dos parámetros y/o criterios se concluirá con determinar el contenido de porcentaje óptimo que se podrá incorporar a la mezcla asfáltica de este tipo.

Con los resultados obtenidos anteriormente, se observó que el porcentaje óptimo de la incorporación de rap es de un 40%, debido a que en estos porcentajes se presenta la mayor estabilidad, y un flujo considerable.

También, se verifica que es posible la incorporación de hasta un 60% de rap, en este tipo de mezclas asfálticas en las cuales se podrá obtener propiedades mecánicas similares a las de una mezcla convencional de slurry y micropavimentos. Cabe decir que la hipótesis planteada de un 100% de rap no es factible, ya que presenta resultados muy bajos y por ende se presentaría una mezcla asfáltica poco resistente y muy deformable, siendo no apta su aplicación en un pavimento deteriorado.

4.3 Optimización del Slurry y Micropavimentos en pavimentos flexibles

El análisis realizado observa el comportamiento que tiene el rap en mezclas asfálticas del tipo Slurry y Micropavimentos, y su posible factibilidad y/o viabilidad que puede existir para incorporar rap. Con la finalidad de disminuir el costo de aplicación que tienen el Slurry y Micropavimento, se incorpora rap para poder minorizar su costo, ya que el rap presenta un costo menor que el agregado que comúnmente se utiliza en este tipo de mezcla asfáltica.

A continuación, se realiza una comparación y análisis del sobredimensionamiento en las propiedades mecánicas que puede existir al incorporar rap dentro de este tipo de mezclas asfálticas.

Tabla 4.10: Porcentaje de variación en estabilidades – Granul. Tipo II

Porcentaje de incorporación de rap (%)	Estabilidad (pulg.)	Porcentaje (%)	Diferencia porcentual (%)
0,00%	1.987,00	100%	0,00%
20,00%	1.875,00	94,36%	-5,64%
40,00%	2.004,00	100,86%	0,86%
60,00%	1.888,33	95,03%	-4,97%
80,00%	1.691,33	85,12%	-14,88%
100,00%	1.608,33	80,94%	-19,06%

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que no existe un sobredimensionamiento significativo en las propiedades mecánicas es decir en la estabilidad, ya que todas estas están por debajo del parámetro de la incorporación de 0% de rap.

Tabla 4.11: Porcentaje de variación en estabilidades - Granul. Tipo III

Porcentaje de incorporación de rap (%)	Estabilidad (pulg.)	Porcentaje (%)	Diferencia porcentual (%)
0,00%	2.066,67	100%	0,00%
20,00%	2.284,67	110,54%	10,54%
40,00%	2.452,00	118,64%	18,64%
60,00%	2.122,33	102,69%	2,69%
80,00%	2.047,67	99,08%	-0,92%
100,00%	1.795,00	86,85%	-13,15%

Fuente: Elaboración propia.

Para las briquetas de micropavimentos, se observa que existe un sobredimensionamiento de las propiedades mecánicas al incorporar hasta un 60% de rap en su mezcla asfáltica, lo cual indica que hasta estos porcentajes su estabilidad favorece y presenta mayor resistencia a las deformaciones.

4.4 Espesor del Slurry y Micropavimento

El espesor para cualquier tipo de esta lechada asfáltica dependerá de tres factores:

- Tráfico vehicular: el tráfico vehicular es un parámetro que se debe tomar en cuenta, ya que con él se podrá designar el tipo de tratamiento a realizarse y su debido espesor, ya que este tendrá que soportar una carga de tránsito ya sea liviana, media, o pesada.
- Tamaño máximo del agregado: una de las formas para determinar su espesor es a través del tamaño máximo del agregado que se tenga de una granulometría seleccionada, ya que su espesor corresponderá a la partícula más grande que se tenga en dicha granulometría.
- Fallas y/o deterioros del pavimento: según el tipo de fallas o la severidad de deterioros que exista en el pavimento, se podrá determinar el espesor para la aplicación de este tipo de mezclas asfálticas.

Cada pavimento es indistinto de otro, en algunos se necesitará un espesor mayor y en otros un espesor menor, todo dependerá de estos tres factores que se señalaron anteriormente. El espesor para Slurry Seals es de 6 a 9 mm, y para micropavimentos se suelen realizar de 9 a 16 mm, generalmente se optan por realizarse de 10 mm de espesor.

4.5 Aplicación y potencialidad del Slurry y Micropavimentos

Estos micropavimentos o slurrys son aplicados en pavimentos flexibles que se encuentren fisurados o con un cierto nivel de deterioro, actúan como un tratamiento superficial que se le brinda a los pavimentos flexibles que han ido perdiendo firmeza en su carpeta de rodadura, la cual conlleva a segregar el pavimento separando sus partículas gruesas y finas de la mezcla asfáltica.

Este tipo de mezclas asfálticas ofrece tres ventajas ante otros tipos de mezclas, estas ventajas o potencialidades son el costo, durabilidad y tiempo.

En el factor costo, se puede observar que el presupuesto o precio unitario de estos son bastante económicos en comparación a otro tipo de tratamientos más riguroso.

En cuanto al factor de durabilidad, esta sella las grietas evitando la penetración del agua y actuando con rapidez si hubiese desprendimiento en la carpeta asfáltica del pavimento flexible; al brindar un sellado al pavimento realiza una detención de la oxidación y aumentara su durabilidad o firmeza a la carpeta asfáltica.

Finalmente, en el factor tiempo, se observa que las aplicaciones de estos tipos de tratamientos superficiales son de fácil aplicabilidad, no requiere un cierre de calles por varios días pudiéndose observar que estará libre al tráfico en menos de 24 horas, todo dependerá del clima que se presente en el ambiente o zona.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se plantea a las siguientes conclusiones:

- ❖ Se evaluó las propiedades mecánicas del slurry y micropavimentos incorporando rap en distintos porcentajes, y de esta manera se observó la influencia del rap en mezclas asfálticas del tipo slurry y micropavimentos.
- ❖ Dentro de lo que es la caracterización de la emulsión asfáltica, se comprobó que dicha emulsión cumple en todos sus parámetros y/o características que se especifica en su hoja técnica, realizando todos los ensayos disponibles para su caracterización. Según los resultados se puede denotar que la emulsión utilizada presenta una fluidez baja y posee una viscosidad alta, dificultando su homogenización y mezclado en los agregados.
- ❖ Para la caracterización de los agregados, estos cumplen con las características que indican las normativas de la ISSA A 105 y ISSA A 143.
- ❖ La determinación del porcentaje óptimo de emulsión fue calculada por medio del Ensayo Marshall, en el cual se observó que los parámetros volumétricos presentan valores elevados en comparación a los rangos que se establece para mezclas asfálticas convencionales. Esto puede ser debido al material usado, ya que el agregado tiene bastante presencia de finos y filler, ocasionando así una muestra más permeable y porosa, con un porcentaje de vacíos altos, resultando un contenido de emulsión asfálticas para la granulometría II de 13,56% y para la granulometría III con un contenido de 11,98% de emulsión asfáltica.
- ❖ Se elaboró las briquetas asfálticas convencionales y las con incorporación de rap, para determinar las propiedades mecánicas de este tipo de mezcla asfáltica, resultando un total de 36 briquetas asfálticas que fueron analizadas para observar el comportamiento del rap en slurrys y micropavimentos.
- ❖ Por último, en cuanto a la evaluación del comportamiento de las mezclas asfálticas del tipo Slurry y Micropavimentos, se concluye que, a mayor incorporación de rap,

la mezcla pierde estabilidad o resistencia a cargas adversas que puedan enfrentar y/o soportar estas lechadas asfálticas; también mientras mayor rap se adicione a la mezcla asfáltica de este tipo, se comienza a convertir en más deformable, lo cual no llega a ser apto el incorporar mucho rap. Según los resultados obtenidos, se establece un rango admisible del 0% al 40% de rap que puede ser incorporada en la mezcla, donde la mezcla no llega a perder mayor estabilidad ni produce una deformación considerable.

5.2 Recomendaciones

Durante el proceso de la investigación se puede recomendar lo siguiente:

- ❖ Es necesario conocer a la perfección las normativas ISSA A 105 y A 143, antes de iniciar con el desarrollo de la investigación.
- ❖ En la ciudad de Tarija, es difícil conseguir agregados que cumplan con las especificaciones de granulometría que establecen las normativas, por lo cual se puede optar por construir el agregado para ser usado, el cual si llegue a cumplir con la granulometría correspondiente. Antes de formar la granulometría especificada, se debe realizar el ensayo del desgaste de Los Ángeles, para saber si los agregados tienen buena resistencia ante la abrasión. En caso de que no se cumpla con esta especificación, se deberá desechar el material y proceder con la búsqueda de otros agregados que cumplan con las características de dicho ensayo.
- ❖ Tomar en cuenta, las características de la emulsión a usar y previo a esto se debe realizar pequeños ensayos para observar el comportamiento que tiene la emulsión en cuanto a la adherencia y homogeneidad de la mezcla.
- ❖ Si la mezcla presenta un poco homogeneidad entre partículas, se deberá hacer la prueba usando aditivos, para la elaboración de briquetas asfálticas se utilizó el aditivo Zycotherm, pero se recomienda realizar ensayos con otro tipo de aditivo que le permita adquirir una mayor fluidez a la mezcla asfáltica.
- ❖ Para tener una mayor certeza de que la mezcla tiene buena consistencia, se puede realizar el ensayo de consistencia de la mezcla, dicho ensayo se encuentra especificados en la normativa, ubicado en la parte de los anexos.

- ❖ Se recomienda seguir con la investigación, estudiando las propiedades físicas y químicas de los Slurrys y Micropavimentos, cuando se le adicionen rap. Son parámetros de mucha importancia, ya que estas lechadas asfálticas contribuyen con sus propiedades a la recuperación y detención de fallas de los pavimentos flexibles.
- ❖ También se recomienda, variar el tipo de emulsión a usar, y observar cómo será su desempeño ante estas mezclas asfálticas.