

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

A nivel Local no se encontró ninguna aplicación de la investigación “Diseño de mezclas asfálticas con cemento asfáltico espumado” pero a nivel internacional se encuentran varias investigaciones desde épocas antiguas.

Iniciando en Estados Unidos con el profesor Ladis Csanyi de la universidad de OIWA en 1956, para construir caminos para la Armada norteamericana en las islas del Pacífico utilizando como agregado cenizas volcánicas, él demostró que el asfalto espumado se podría usar siempre y cuando éste se produjera antes del mezclado con el agregado que debiese encontrarse húmedo y frío. Su técnica fue introduciendo vapor de agua dentro de un asfalto caliente, lo cual era moroso y costoso motivo por el cual no se le tomó mucha importancia en ese entonces.

Fue solo hasta 1968 que la empresa Mobil Oil de Australia adquirió la patente del invento, realizando unos cambios para mejorar la producción del mismo, entonces fue que decidieron agregar agua fría en vez de vapor de agua y estudiar su nuevo comportamiento. Pero este proceso solo pudo ser internacionalizado hasta que la patente expiró en los años 90, gracias a ello esta técnica ha sido investigada e implementada sin mayor dificultad.

Al esperar ser validada esta propuesta, la relevancia social será importante al disminuir la explotación de áridos y reutilizando los desgastados de tramos sin pavimentar (situación presente en Tarija), o desechados de chancadoras, pues así lo permite las propiedades del asfalto espumado, disminuyendo de esta manera el cambio climático por la sobre explotación de áridos que afectan el curso normal de los ríos en nuestra ciudad y afectando por ende a la población en general. También viene a ser un avance en la ingeniería local y nacional.

1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Consecuentemente el ingeniero se ve obligado a lidiar con una variedad de problemas en todo el proceso del diseño, ejecución y mantenimiento de las carreteras por el uso de mezclas asfálticas en caliente en nuestro país.

Durante el proceso de ejecución se ve afectada la trabajabilidad por la alta viscosidad de la mezcla, en tiempos es complicada la situación por las altas temperaturas de trabajo derivando en posibles retrasos y accidentes en los trabajadores, así pues, en costos extras en indemnizaciones por lesiones leves o graves, disminuyendo la producción en la obra y afectando el diario vivir del accidentado.

Una vez ejecutado, el comportamiento del pavimento flexible ante la variación de temperatura y el exceso de cargas del tráfico de diseño trae consigo consecuencias perjudiciales como lo son las fallas (fisuras, piel de cocodrilo, ahuellamiento, grietas, huecos, desmoronamientos, hundimiento), que afectan la resistencia y vida útil del pavimento en las carreteras, y por ende ocasiona incomodidad en los conductores y viajeros. Además de costos adicionales en constantes mantenimientos de la carretera.

No debemos dejar de lado el impacto ambiental ocasionado por el considerable uso desmedido de combustible que concurre en preocupación y problemas a mediano o largo plazo en la salud de la población, debido al calentamiento previo del agregado así también como en las grandes cantidades de uso de ligante. Esta situación se incrementaría a momento de realizar los mantenimientos requeridos para que el pavimento cumpla con su vida útil.

En vista de la variedad de problemas el ingeniero se ve en la necesidad de adaptarse, investigar y analizar la situación para proponer posibles soluciones que coadyuven a disminuir costos, tiempos e impactos ambientales.

Es así pues que en la búsqueda de encontrar una solución viable sin que esta perjudique las propiedades de desempeño de la mezcla asfáltica, es que nos enfocamos en el diseño de mezclas asfálticas en caliente en la técnica de asfalto espumado. Trayendo por consiguiente un incremento en la vida útil del pavimento, una reducción en las actividades de mantenimiento, menores costos en la ejecución, una mayor factibilidad en los trabajos en obra, y reducción en costos tanto para la empresa constructora como para la empresa contratante.

1.2.1. Problema

¿Qué aditivo funcional, durable, económico, eficaz y ambientalmente amistoso, se debe de agregar a las mezclas asfálticas para mejorar la situación actual desfavorable que se presenta en nuestras carreteras?

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema

En diferentes situaciones para la ejecución de pavimentos flexibles se presenta el problema que los agregados del lugar no cumplen con las normas establecidas por lo que se ve conveniente agregar un aditivo, que los vuelva más rígidos y resistentes. La relevancia del problema cabe en que ese aditivo debe ser económico y efectivo, siendo factible el problema a resolver a través de la presente investigación.

1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema

La investigación tiene lugar en el laboratorio de la UAJMS situado en el campus universitario.

El tiempo de la investigación para obtener la dosificación es mes y medio, periodo donde se realizaran los ensayos característicos de los agregados, del cemento asfáltico y Marshall, para su correspondiente evaluación de resultados y obtención de las conclusiones de dicha investigación.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad en la construcción de carreteras en Bolivia el método más comúnmente usado son las mezclas asfálticas en caliente tradicionales que frecuentemente presentan problemas tanto en su ejecución como una vez ya concluidas debido a factores fundamentales mencionando a continuación algunos como: alta viscosidad, costos extra en el secado de agregados, generación de gases y olores excesivamente, susceptibilidad al daño por humedad de los materiales granulares, y baja resistencia al fisuramiento por temperatura.

Requiriendo de constantes mantenimientos para cumplir con su vida útil visualizada, de otro modo sus propiedades características se deterioran en un tiempo breve, convirtiéndose por ende en una costosa obra a largo plazo.

Por ello es importante realizar investigaciones complementarias que permitan tener los elementos técnicos adecuados que brinden una solución viable para el uso de pavimentos flexibles. Planteando como alternativa el uso de la técnica de asfalto espumado en una mezcla caliente.

Este proceso resulta beneficiosos en varios aspectos tales como la reducción de la viscosidad del asfalto lo que permite el mezclado con agregados humedecidos a temperatura ambiente, incrementa su volumen disminuyendo el requerimiento de ligante pero proporcionando un recubrimiento adecuado de los agregados, aumenta la resistencia a cortante, así como la rigidez en la capa base volviéndola flexible y resistente a la fatiga, mejora la resistencia al ahuellamiento, y una reducción importante en el uso de combustibles para el calentamiento del asfalto pues este proceso sería en menor cantidad, mayor flexibilidad en la colocación y compactación.

Respecto a tiempo, esta mejora considerablemente al aumentar la trabajabilidad de la mezcla por la disminución de la viscosidad al ser espumado el asfalto.

Así también la factibilidad de obtener tanto los materiales y recursos necesarios para su simulación en laboratorio, y pese a que los aspectos desfavorables mencionados con anterioridad están mencionados en la bibliografía especializada no siempre son considerados en la etapa de diseño y ejecución de los pavimentos flexibles, eh ahí el motivo del estudio de proyecto para tiempos actuales, demostrando con estudios prácticos que esta alternativa puede responder a estas demandas.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Diseñar mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico espumado, analizando el comportamiento del efecto espumado con asfalto modificado y convencional, mediante el ensayo Marshall determinando si ésta es funcional en cuanto a sus características, durable y aplicable en nuestra región.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el contenido de agua y temperatura del asfalto a suministrar para producir un asfalto espumado que cumpla con las especificaciones mínimas.

- Encontrar la dosificación adecuada de manera que se obtenga una mezcla productiva.
- Caracterizar el asfalto modificado y convencional así como el agregado pétreo propuestos para el diseño.
- Elaborar especímenes con asfalto modificado 60-85 de industria brasilera y 85-100, formando de manera controlada un efecto espumado en una mezcla MAC, con distintos porcentajes de estos en cada par de los prototipos.
- Realizar las pruebas de laboratorio para observar las características de los especímenes perpetrados.
- Comparar y evaluar las variaciones del comportamiento mecánico y propiedades físicas de las briquetas realizadas.

1.5. HIPÓTESIS

Si aplicamos el asfalto espumado para mezclas asfálticas calientes entonces evaluaremos mediante Marshall si éste generaría un mejoramiento en el comportamiento mecánico del pavimento flexible.

1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

1.6.1. Variable independiente. - Mezcla asfáltica para pavimento flexible.

1.6.2. Variables dependientes. - Comportamiento mecánico de la mezcla con cemento asfáltico espumado.

Tabla 1.1: Descripción de variables

Variable	Concepto	Medición	Unidad
Independiente: Mezcla asfáltica para pavimento flexible.	Cemento asfáltico modificado con efecto espumado en una mezcla caliente, planteada como una nueva tecnología viable sin perjuicio en las propiedades de desempeño de la mezcla asfáltica, para la solución de las dificultades actuales en el diseño de pavimentos flexibles.	Razón de expansión	N° de veces
		Vida media	Segundos
Dependiente: Comportamient o mecánico de la mezcla con cemento asfáltico espumado.	Se refiere a los resultados favorables esperados de la mezcla asfáltica con asfalto espumado.	Estabilidad	kg/tn
		Fluencia	mm
		Densidad	gr/cm ³
		Vacíos	%

1.7. ALCANCE DEL ESTUDIO DE APLICACIÓN

El “DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ASFALTO ESPUMADO”, alcanzará resultados que servirán para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos flexibles, dando solución a problemas que se presentan por trabajabilidad, viscosidad y durabilidad. Justificando su viabilidad a través de una adecuada técnica experimental, luego de realizada la recolección de información necesaria sobre la nueva tecnología del uso del asfalto espumado, se analiza el seguimiento a 54 especímenes precediendo la correspondiente caracterización y dosificación de los materiales, observando en 18 de ellos el comportamiento que deja el asfalto espumado en la mezcla, a través de la toma de datos de los efectos, y así se pueda establecer el tipo de comportamiento mecánico que

presenta el pavimento flexible ante su implemento, a través de un análisis de los valores obtenidos de un ensayo Marshall a las muestras, con el objeto que todo esto deje resultados útiles, aplicables y reproducibles que eviten la emisión excesiva de gases al medio ambiente, faciliten su diseño y construcción.

Introduciendo con una visión general del proyecto se identificará el problema justificando su viabilidad e importancia de su aporte académico y a la sociedad, proponiendo un objetivo general que apoyado en otros específicos se alcance. Haciendo uso de una metodología de trabajo cuyos medios son instrumentos necesarios a emplear, para que el proyectista tenga formalmente los conocimientos para ejecutar y finalizar el proyecto en la asignatura de Proyecto de Grado.

II.

Realizando un estudio amplio y aclarando los conocimientos con la recolección de la bibliografía ya establecida del pavimento flexible y su proceso de ejecución, con asfalto convencional y modificado, nos enfocaremos en la tecnología del asfalto espumado. Realizando los ensayos para la caracterización de los materiales, producción del efecto espumado y los métodos de evaluación para estos pavimentos.

El proyecto comprenderá el diseño de 54 especímenes de mezclas asfálticas calientes 18 de ellas con asfalto espumado a ser analizados mediante Marshall con el objetivo de evidenciar que el comportamiento de las muestras resulte más ventajoso de lo estándar aplicando el efecto espumado. Para ello se hará uso del laboratorio de mecánica de suelos y de asfaltos de la UAJMS, caracterizando previamente el agregado y el asfalto modificado y convencional, posteriormente se modificará la cámara de expansión para la producción del asfalto espumado, y así proceder a la dosificación y elaboración de los especímenes, todo esto de acuerdo a la normativa de calidad exigida respectivamente para cada caso establecidas en nuestro medio. Siguiendo con el trabajo de gabinete con motivo de evaluar y comparar los resultados, autocriticando para que lleven a considerarse útiles en el momento de optar por la construcción de un pavimento flexible.

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

CAPÍTULO II
TÉCNICA DEL ASFALTO
ESPUMADO

CAPÍTULO II

TÉCNICA DEL ASFALTO ESPUMADO

GENERALIDADES

En este manual el término “Carretera” (autopistas, autorrutas y primarias) se empleará para designar una vía de características de diseño altas, adecuadas para acomodar importantes volúmenes de tránsito de paso circulando a velocidades elevadas. Consecuentemente, deberá siempre contar con pavimento de tipo superior. El término “Camino” (colectores, locales y desarrollo) se empleará para designar una vía de características geométricas medias a mínimas, adecuada para dar servicio a volúmenes moderados y bajos de tránsito, cuya función principal consiste en dar acceso a la propiedad adyacente. ¹

2.1 PAVIMENTOS

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas. ²

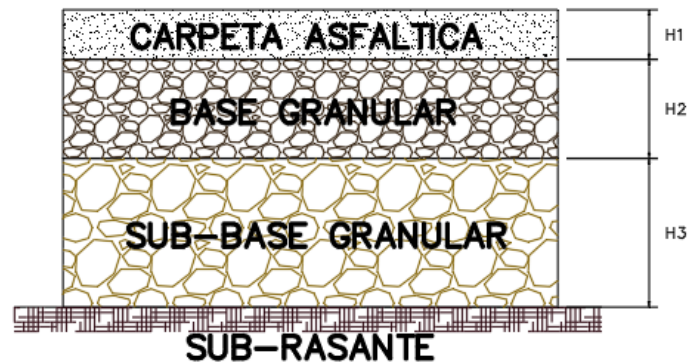
Un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de pavimentos dependiendo del tipo de vehículos que transitan y del volumen de tráfico. ³

Un pavimento, se define como una estructura vial, formada por una o varias capas de materiales seleccionados, el cual se construye sobre la sub-rasante, y que se debe caracterizar por:

¹ Corporativo ABC, 2007, Manual de Diseño Geométrico Servicios nacional de caminos Volumen I, Bolivia.

- Resistir las cargas impuestas por el Tránsito vehicular.
- Soportar la acción del medio ambiente.
- Transmitir al suelo de fundación, esfuerzos y deformaciones tolerables.
- Proporcionar la circulación de los vehículos con rapidez, comodidad, economía y seguridad; lo cual conlleva a que sea una estructura durable y además, que presente una textura adecuada para el tráfico. ⁴

Figura 2.1: Sección transversal de componentes de Pavimento flexible

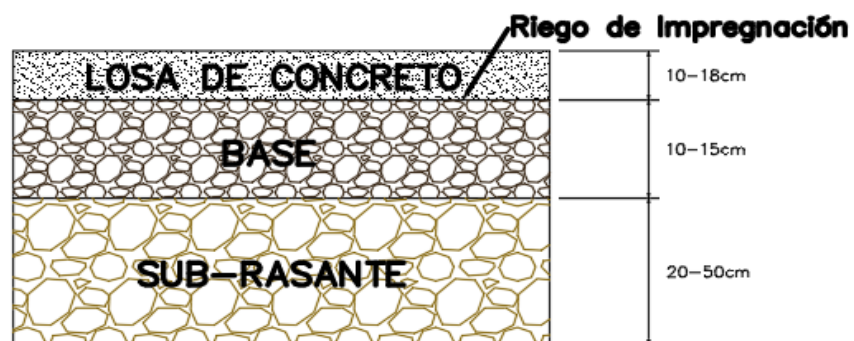


Fuente: Elaboración propia.

2.1.1 Tipos de pavimentos

El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas. ³

Figura 2.2: Sección transversal de pavimento rígido



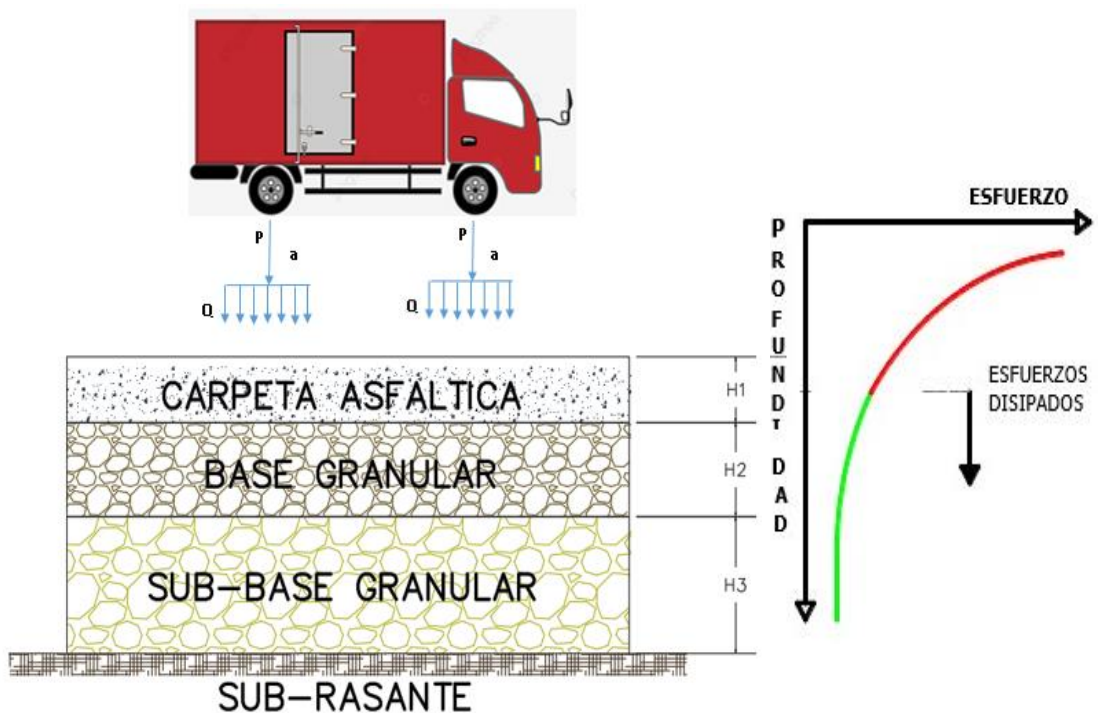
Fuente: Elaboración propia.

² Corporativo ABC, 2011, Manual de Especificaciones generales Servicios nacional de caminos Volumen VII, Bolivia.

Constituido por una losa de concreto hidráulico de gran rigidez, la cual está apoyada sobre una capa de material seleccionado (Sub- base granular) o sobre la sub-rasante, en el caso de que sea granular; la transmisión de esfuerzos al terreno de soporte, se produce mediante un mecanismo de distribución de tensiones.

- La losa, es el elemento encargado de dar el aporte estructural del pavimento.
- La sub-base granular, debe dar a la losa un apoyo óptimo a lo largo del tiempo de servicio de la estructura, controlando su deformabilidad.
- La deformación de la sub-base granular de apoyo, produce salida de agua y de su material fino, produciendo la descompactación del apoyo y su erosión.
- Una forma de disminuir considerablemente el efecto erosivo producido por el tránsito en el apoyo, es utilizar una base asfáltica para esta función.⁴

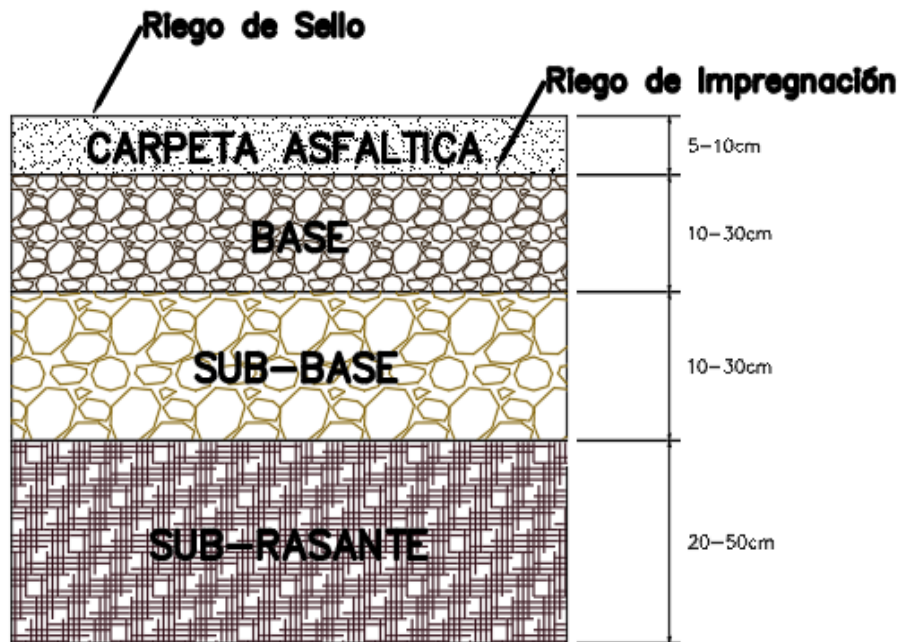
Figura2.3: Distribución de esfuerzos en Pavimentos Rígidos



Fuente: Elaboración propia.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base.³

Figura 2.4: Sección transversal de Pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia.

Caracterizado por tener en la parte superior, una capa bituminosa, apoyada sobre una o varias capas de gran flexibilidad (Base granular y Sub-base granular), las cuales transmiten los esfuerzos al terreno de soporte, mediante un mecanismo de disipación de tensiones, presiones que van disminuyendo en su magnitud, con la profundidad. Este tipo de pavimento, presenta las siguientes particularidades:⁴

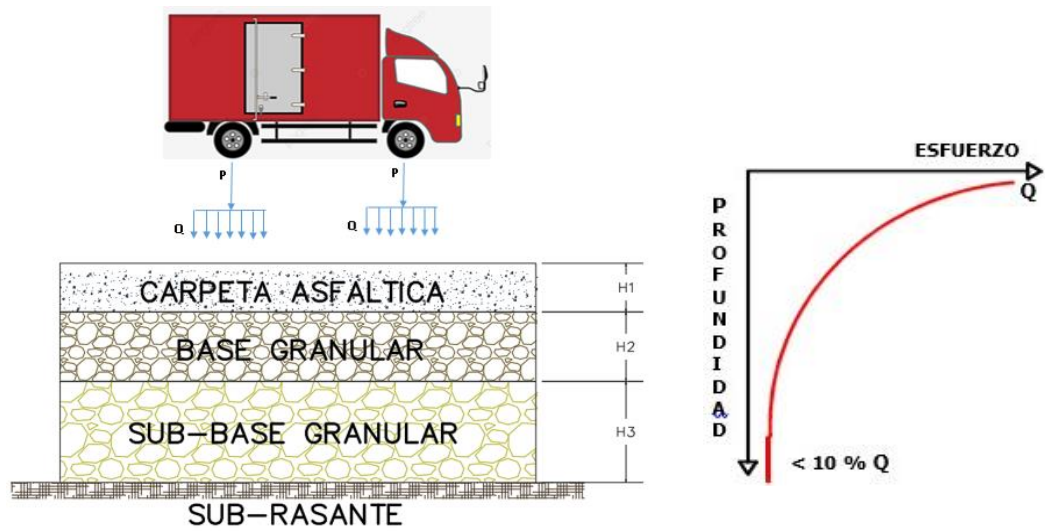
- Las capas granulares, se colocan para disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.
- Se considera que los esfuerzos se han disipado, cuando el esfuerzo en un punto cualquiera, es menor que el 10% de la presión de contacto.
- Las magnitudes normales de los módulos de las capas de esta clase de estructuras, están alrededor de:

Carpeta Asfáltica	25000 Kg/cm ²
Base Granular	2000 Kg/cm ² a 5000 Kg/cm ²
Sub-base granular	1000 Kg/cm ² a 3000 Kg/cm ²

En pavimentos flexibles, apoyados sobre Sub-rasante fina, por ningún motivo, se debe omitir la Sub-base Granular.⁴

³ J. Jimenez Calva. 2004. Pavimentos. Texto Guía U. Mavor de San Simón. Facultad de ciencias v tecnología.

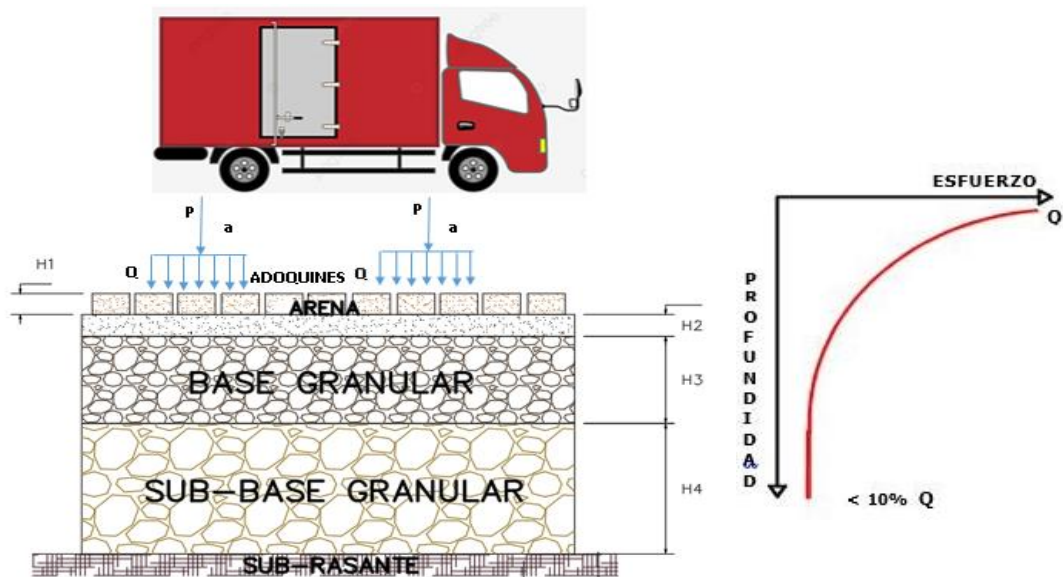
Figura 2.5: Disipación de tensiones en Pavimentos flexibles



Fuente: Elaboración propia.

Pavimento articulado: Este tipo de pavimento, está constituido en la parte superior por un conjunto de elementos de gran rigidez individual (adoquines), apoyados sobre una capa de arena de 4,0 cm a 5,0 cm de espesor, y seguidamente, las capas inferiores son de las características de las capas inferiores de un pavimento flexible, donde el adoquín y la capa de arena, reemplazan la capa de concreto asfáltico.

Figura 2.6: Disipación de tensiones en Pavimentos articulados

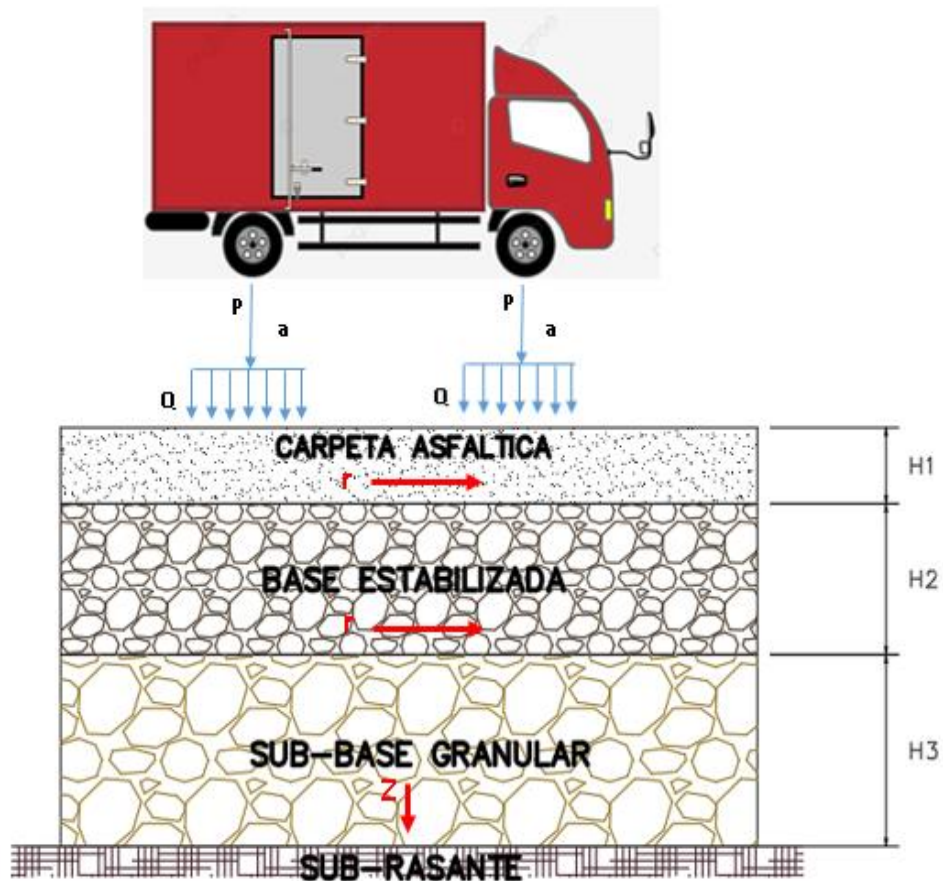


Fuente: Elaboración propia.

El pavimento semirígido en términos amplios un pavimento semirígido ó compuesto 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. Es usual que un pavimento compuesto comprenda una capa de base de concreto o tratada con cemento Portland junto con una superficie de rodadura de concreto asfáltico. ³

Son tipos de pavimento, que conservando la estructura esencial de un pavimento flexible, tienen una o mas capas rigidizadas artificialmente con cal, cemento, asfalto, etc; la transmisión de esfuerzos al suelo de soporte, se hace por disipación y distribución; por eso, se asume que este tipo de estructura de pavimento tiene un comportamiento mixto. En pavimentos semi-rígidos, la capa estabilizada tiene aporte estructural.

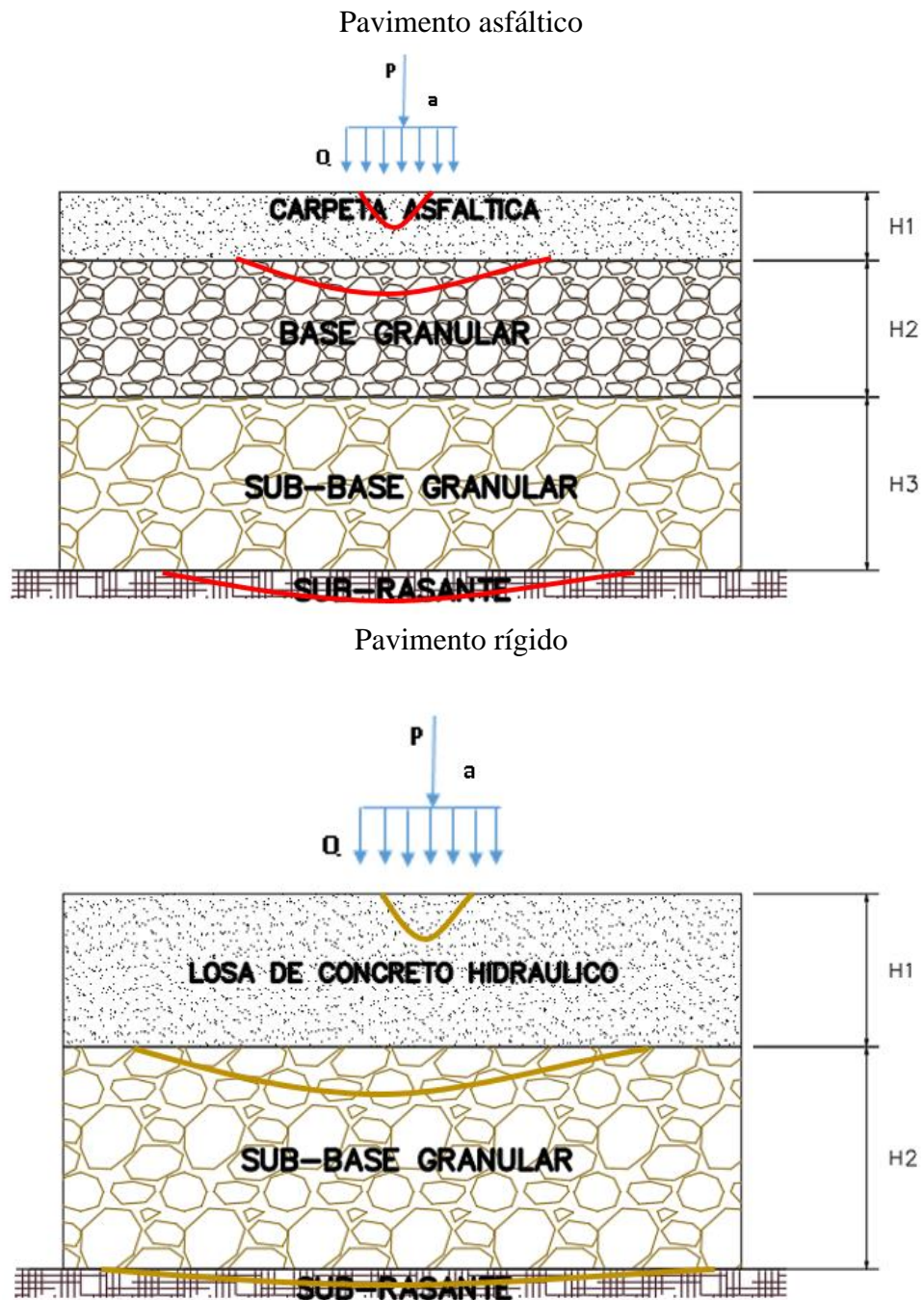
Figura 2.7: Disipación de cargas en Pavimentos semirrígidos



Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 Diferencia del comportamiento entre pavimento flexible y pavimento rígido

Figura 2.8: Diferencia entre pavimento flexible y rígido



Fuente: Elaboración propia.

Pavimento asfáltico:

- Grandes tensiones
- Grandes deformaciones

Pavimento rígido:

- Pequeñas deformaciones
- Pequeñas tensiones

- $\alpha_{\text{admisibles}} < 0,5 \text{ mm } \epsilon_{\text{carpeta}} \cdot 10^{-4}$
- $\alpha_{\text{sub-rasante}} = 0,1 Q_{\text{contacto}}$
- Menor durabilidad
- Erosión en la sub-base
- $M_r_{\text{concreto}} = 40 \text{ a } 45 \text{ kg/cm}^2$
- Si $\alpha_{\text{losa}} > 0,45 M_r_{\text{fatiga}}$
- Mayor durabilidad

2.1.3 Conceptos y funciones de las capas de pavimento

Sub rasante

La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Las características con las que debe cumplir son: f máximo de 3", expansión máxima del 5%, grado de compactación mínimo del 95%; espesor mínimo de 30cm para caminos de bajo tránsito y de 50cm en caminos con un TPDA > de 2000 vehículos. Otra de las funciones de la sub-rasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías. ³

Sub-base

Cumple una cuestión de economía ya que nos ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base (no siempre se emplea en el pavimento), impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad y evitar que el pavimento sea absorbido por la sub-rasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías. ³

Base

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los

vehículos provocan deformaciones transversales. En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un VRS (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor que su límite plástico. ³

Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir, las principales características que debe cumplir el pétreo son las siguientes:

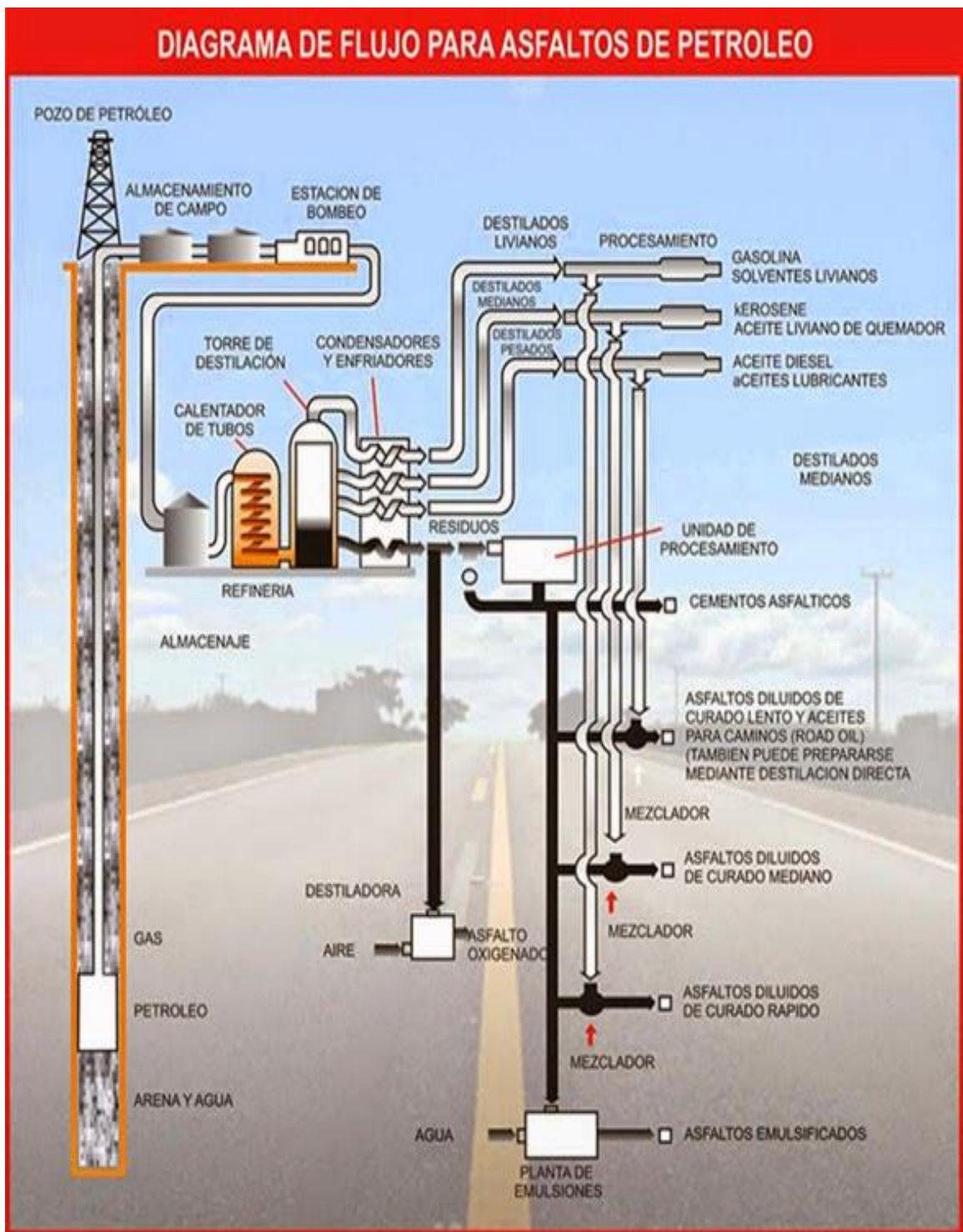
- a) Un diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada,
- b) Deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayos de desgaste los ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad.
- c) La forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, recomendamos no usar material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta, se efectuarán pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse debiéndose buscar un contenido óptimo y que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además, este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie, para calcular este óptimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frío, la prueba Marshall para muestras en caliente y la prueba de Hveem. Para conocer la adherencia entre el pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, pérdida de estabilidad o bien, cubrimiento por el método inglés; en caso de que las características del pétreo no sean aceptables, se pueden lavar o bien usar un estabilizante para cambiar la tensión superficial de los poros. ²

⁴ Benavides Bastidas Carlos Alberto, 2006, Explanaciones y firmes Maestría de Ingeniería vial Versión II, Bolivia.

2.2 ASFALTOS

Figura 2.9: Asfaltos



Fuente: Blogspot Unefavl petróleo 2014.

2.2.1 Propiedades de los cementos asfálticos

Pureza. - Solubilidad en bisulfuro de carbono

Seguridad. - Punto de inflamación, (vaso abierto de Cleveland)

Consistencia. - Existen diferentes ensayos para valorarla, resulta importante remarcar que esta característica es una función de la temperatura y también de la frecuencia.

Penetración.- Penetración de una aguja normalizada de 100 gr en 5 segundos y a una temperatura de 25°C expresa en mm/10.

Viscosidad. - Resistencia a fluir en condiciones normalizadas 60°C (Poises). Viscosímetro Roacional Brookfield

Ductilidad. - Valor de la elongación a rotura con una velocidad de deformación de 5cm / minuto hasta un máximo de 100 cm en baño a 25°C.

Punto de ablandamiento. - Temperatura para la cual se logra un deformación de 25mm por el peso de esferas de acero.

Índice de pfeiffer y van doormal. - Medida de la susceptibilidad térmica de un asfalto (índice de penetración).

Módulo o stiffnes del asfalto. - Resulta una función del tipo de asfalto la frecuencia y la temperatura de solidificación. Puede aproximarse con el ábaco de van der poel.

Oliensis. - Empleado para detectar procesos de cracking.

Durabilidad. Envejecimiento en película delgada RTFOT. ⁴

2.2.2. Asfalto convencional

El CEMENTO ASFÁLTICO 85/100, es un material asfáltico de uso vial. Es una combinación de compuestos orgánicos e hidrocarburos de alto peso molecular (>C 25), con cierto contenido de metales como Hierro, Níquel y Vanado, así como presencia de Azufre, Oxígeno y Nitrógeno. Se obtienen a partir de un proceso de desasfaltización por Propano a partir del Destilado Pesado de Petróleo.

Se aplica por dilución al agregado para la producción de pavimentos asfálticos de uso vial, aunque su aplicación por otros métodos como emulsionado, es también viable.

Es un producto de excelentes calidades de penetración, adherencia y resistencia para climas fríos y templados. ⁸

2.2.3. Asfalto modificado con polímeros

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interface entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua.

También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo. ⁵

Con la adición del polímero en el asfalto, se busca cambiar las propiedades físicas y reológicas del ligante, buscando ⁵:

- Aumentar la viscosidad.
- Disminuye la penetración.
- Aumenta el punto de reblandecimiento del asfalto aumenta entre 8 y 12 °C.
- Aumenta el punto de inflamación.
- Disminuye la susceptibilidad a las variaciones de temperatura.
- Sube entre uno y dos grados la clasificación PG (Penetración Grade o el grado de penetración) del asfalto.
- Eleva la recuperación elástica del asfalto hasta arriba del 30%.
- Eleva la resiliencia por encima de 25.
- Amplio rango de temperatura en el manejo y almacenamiento.
- Mayor intervalo de plasticidad.
- Mayor cohesión.
- Mayor resistencia a la acción del agua.
- Mayor resistencia al envejecimiento.

2.2.4 Concreto asfáltico con asfalto modificado

Se caracteriza por reducir la deformación permanente, mayor resistencia a la fatiga, uso de capas más delgadas y mejor resistencia al post – compactación. Se aplica en pavimentos de pistas de aeropuertos donde las exigencias son muy elevadas. ⁵

2.3 AGREGADOS

2.3.1 Agregado grueso (grava triturada)

La grava triturada son piezas trituradas de canto rodado o grava para hacerlo más apropiado para su uso en mezclas asfálticas para pavimentación.

La calidad puede ser mejorada por medio de la trituración, al cambiar la textura superficial de las partículas redondeadas en partículas angulosas con mejoras, además en la distribución o rangos de tamaño de las partículas.

Así pues también se usa como su base la piedra triturada que proviene de roca dura, como la arenisca, basalto, piedra caliza u otra piedra de calidad equivalente, o piedra de canto rodado con un tamaño de particular de por lo menos tres veces más grande que el tamaño máximo requerido para el producto final.

El producto triturado puede ser tamizado para obtener el tamaño de agregado deseado. Algunas veces, por razones de economía, el material triturado es usado tal como se lo produce con un ligero tamizado o sin él. Este agregado se lo denomina “triturado sin cribar”, en muchas oportunidades pueden utilizarse en la construcción de pavimentos asfálticos.

Las piedras trituradas deben tener uniformidad, limpieza, dureza y durabilidad suficiente y estar libres en una cantidad prejudicial de partículas planas o alargadas, sucias con barro o con materiales orgánicos u otras sustancias perjudiciales.

2.3.2 Agregado fino (arena)

La arena se clasifica en: arena natural, arena artificial, polvo de trituración y arena especial.

La arena natural se clasifica, por el lugar de excavación, en: arena de río, arena de cantera y arena de mar.

La arena artificial es producida por la trituración de roca o piedra de canto rodado. Las arenas son partículas rocosas que pasan el tamiz n°4 y quedan retenidas en el tamiz n°200, y el material que pasa el tamiz n°10 y retenidos en el n°40 se consideran arenas gruesas, las partículas que pasan el tamiz n°8 o menos, que se obtiene durante la producción de piedra triturada, se mencionan como polvo de trituración.

2.3.3 Especificaciones de los agregados

Existen especificaciones en general que deben cumplir para ser aptas para su uso aparte de las que deben cumplir en específico para su uso en mezclas asfálticas.

Naturaleza e identificación.- Evaluación de la naturaleza petrográfica de los áridos, grado de alteración de los componentes minerales, porosidad y propiedades químicas.

Propiedades geométricas.- Básicamente la forma y angulosidad de las partículas, con relación al conjunto total del mineral se estudia la distribución granulométrica. Cuando se utilice grava o canto rodado triturados, se debe tener un porcentaje no menor de un 75% en peso de las partículas retenidas por el tamiz n°4, el cual debe tener por lo menos una cara fracturada.

Propiedades mecánicas.- Engloban los parámetros básicos de resistencia al desgaste y al pulimiento, en este caso, el agregado grueso debe estar constituido de fragmentos limpios, sanos, duros, durables, libres de terrones de arcilla y sustancias nocivas y deberá tener un porcentaje de desgaste de los ángeles no mayor al 35%.

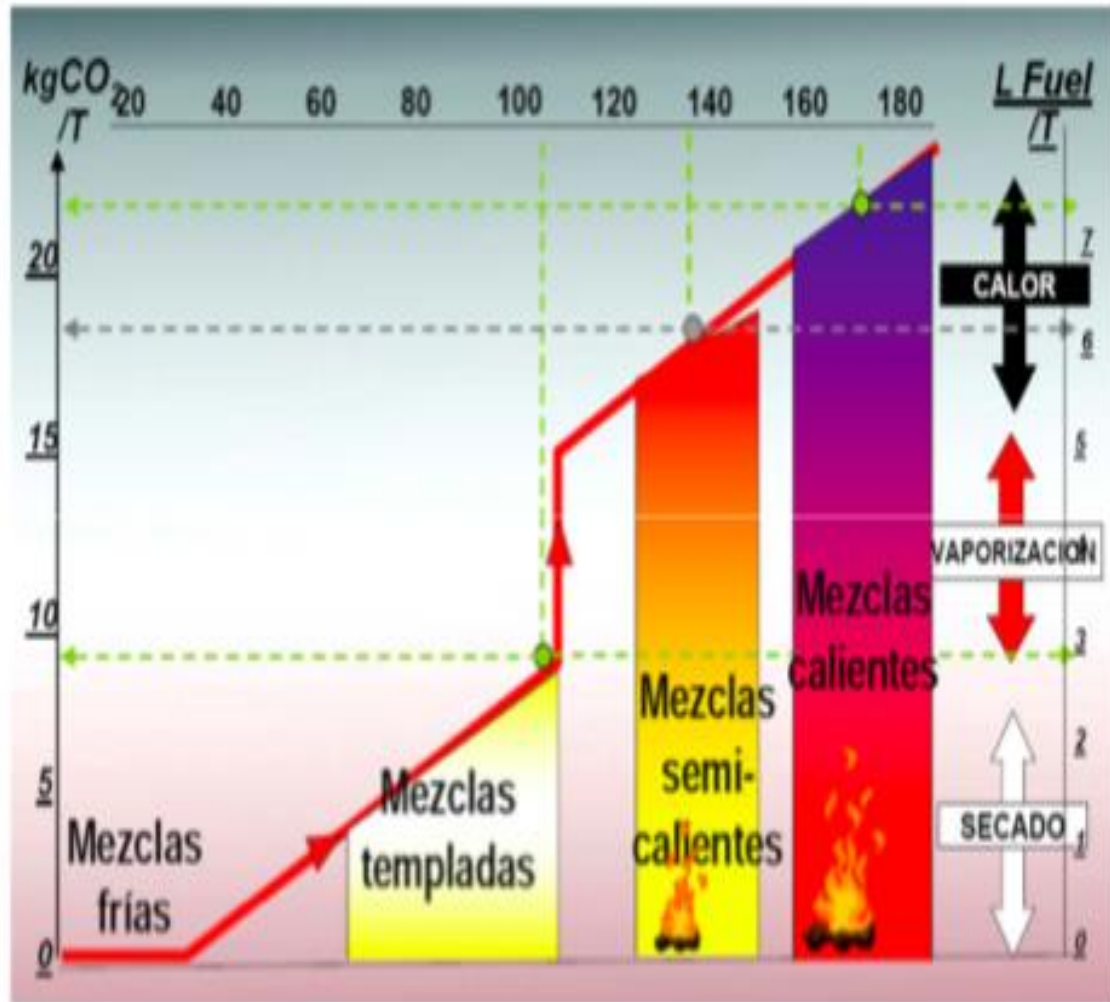
Ausencia de impurezas.- Es fundamental que los áridos a emplear en las mezclas asfálticas estén libres de impurezas capaces de afectar el buen comportamiento del pavimento, los áridos sucios pueden ser causa suficiente para provocar la degradación de una carretera. Para esto se realiza el ensayo de equivalente de arena; de acuerdo al método AASHTO T-176 se recomienda que deberá ser mayor a un 45%.

Inalterabilidad: Es imprescindible la evaluación de las posibles degradaciones que puedan sufrir los áridos una vez puestos en obra. El agregado grueso, al ser sometido a cinco ensayos alternativos de resistencia.

Adhesividad: Los áridos han de será fines con el ligante que se vaya a utilizar y en caso de problemas será necesario el uso de aditivos para garantizar el buen comportamiento de las mezclas.

2.4 TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Figura 2.10: Clasificación de mezclas asfálticas por su temperatura



Fuente: Monografía ATEB, Madrid, 20 de mayo de 2014.

Mezclas asfálticas en frío (MAF).- Usualmente se mezcla a temperatura ambiente utilizando emulsiones o asfaltos espumados.

Mezclas asfálticas semi-tibias (MAST).- Producidas a temperaturas debajo de la temperatura de vaporización del agua (100°C).

Mezclas asfálticas tibias (MAT).- Producidas típicamente temperaturas en un rango entre 120°C A 140°C.

Mezclas asfálticas en caliente (MAC).- Son producidas típicamente en un rango de 150°C a 180°C, de acuerdo al ligante asfáltico utilizado.⁶

2.5 ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUIR UNA CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO MEZCLADO EN CALIENTE ETG 2 – 11

Concreto asfáltico mezclado en caliente – mezcla ejecutada en la planta de asfalto adecuado, con características específicas, compuesta de agregados pétreos graduados, material de relleno (filler) y cemento asfáltico, mezclado esparcido y compactado en caliente.

El Concreto asfáltico puede ser empleado como revestimiento, regularización o refuerzo de pavimento.

El concreto asfáltico solamente deberá ser fabricado, transportado y aplicado cuando la temperatura ambiente sea superior a 10°C en ascenso. ²

El estado del conocimiento dificulta la utilización directa de los ensayos de laboratorio dentro de una metodología racional de diseño, reservándoles una finalidad comparativa entre diferentes mezclas.

Algunas de las diferencias entre los ensayos y el comportamiento en servicio son:

- La máxima sollicitación en campo no se produce siempre en el mismo sitio.
- El estado de tensiones difiere siendo en el campo un estado triaxial y varía entre los distintos ensayos.
- El tiempo de reposo entre carga es sensible mayor en la realidad.
- La carga se produce de una manera aleatoria

Los materiales constituyentes del concreto asfáltico son los agregados pétreos graduados, agregados finos, material de relleno (filler) y ligante bituminoso, los cuales deben atender las siguientes especificaciones: ²

2.5.1 Agregados

Agregado grueso

El agregado grueso será piedra o grava triturada. El agregado grueso estará constituido de fragmentos sanos, duros, durables, libre de terrones de arcilla y sustancias nocivas, debe presentar las siguientes características: ²

1) El porcentaje de desgaste Los Ángeles de los agregados gruesos no será mayor que 40% a 500 rpm, al ser ensayado por el método AASHTO T-96.

2) Los agregados gruesos, al ser sometidos a cinco ensayos alternativos de resistencia, mediante sulfato de sodio, empleando el método AASHTO T-104, no podrá tener una pérdida de peso mayor que 12%.²

Agregado fino

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

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

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

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

Material de relleno (filler)

Cuando sea necesario utilizar material de relleno (Filler), constituido por materiales finamente divididos, inertes en relación de los demás componentes de la mezcla, no plásticos, tales como polvo calcáreo, roca dolomítica, cemento portland, etc., con las exigencias granulométricas.²

2.5.2 Dosificación Marshall de las mezclas

- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| • Porcentaje de vacíos | 3a5 |
| • Relación bitumen-vacíos | 75-82 |
| • Estabilidad mínima | 1500 lb. (75 golpes) |
| • Fluencia, 1/100" | 8-16 |
| • Resistencia remanente, min. | 85% |

2.6 CUIDADOS AMBIENTALES

Agregados

En el transcurso de la obtención de agregados de canteras deben ser considerados los siguientes cuidados principales:

- a) Debe evitarse localizaciones de yacimientos e instalaciones de trituradoras en área de preservación ambiental.
- b) Planear adecuadamente la explotación de yacimientos de modo de minimizar los daños inevitables durante la explotación y posibilitar la recuperación ambiental después de la retirada de todos los materiales y equipos.
- c) Impedir quemadas como forma de desmonte.
- d) Construir, junto a las instalaciones de las chancadoras, fosas de sedimentación para retención de arenas y polvo de piedras que eventualmente sea producido en exceso o por lavado de grava.
- e) Exigir la documentación comprobando la regularidad de las instalaciones yacimientos /arena /planta de asfalto /trituradora, así como de su funcionamiento, del órgano ambiental competente, en el caso de que estos materiales sean suministrados por terceros.²

Cementos bituminosos

- a) La operación de plantas asfálticas en caliente engloba.
- b) La instalación de los depósitos en zonas retiradas de los cursos de agua.
- c) Se deben eliminar los desperdicios de materiales usados en la carretera y en otros lugares que puedan causar perjuicios ambientales.
- d) Se deben recuperar las áreas afectadas por las operaciones de construcción/ejecución, mediante la retirada de la planta de asfalto, chancadoras, los acopios y la limpieza de las canteras.
- e) Acopio, dosificación, tamizado y transporte de agregados fríos.
- f) Transporte, tamizado, acopio y pesado de agregados calientes.
- g) Transporte y depósito de filler.
- h) Se debe mantener en buenas condiciones de operación todos los equipos de proceso y de control.
- i) Transporte, depósito, calentamiento de combustible y cemento asfáltico.²

Instalación de las Plantas

- a) Impedir la instalación de la planta de asfalto en caliente a una distancia inferior a 500 m (quinientos metros), medidos a partir de la base de la chimenea, de residencias, hospitales, clínicas, centros de rehabilitación, escuelas, asilos, orfanatos, guarderías, clubes deportivos, parques de diversiones y otras construcciones comunitarias.
- b) Se deben definir en el proyecto ejecutivo, áreas para las instalaciones industriales, de manera tal, que se consiga lo mínimo de agresión al medio ambiente.
- c) Se atribuye a la contratada la responsabilidad por la obtención de la autorización de instalación/operación, así como, mantener la planta y la chancadora en condiciones de funcionamiento dentro de lo prescrito en estas especificaciones.²

Operación de las plantas

- a) Instalar sistemas de control de polución del aire contruidos por ciclones y filtros de mangas o equipamientos que atiendan a los patrones establecidos en las legislaciones vigentes.
- b) Presentar junto con el proyecto los resultados de mediciones de las chimeneas, que comprueben la capacidad del equipamiento de control propuesto.
- c) Dotar los silos de agregados de protección lateral, para evitar las dispersiones furtivas durante la operación de cargado.
- d) Clausurar la correa transportadora de agregados.
- e) Se debe adoptar procedimientos de forma que la alimentación del secador sea hecha sin emisión visible para la atmósfera.
- f) Se debe mantener presión negativa en el secador rotativo, en cuanto la planta esté en operación, para que sean evitadas emisiones de partículas en la entrada y salida del mismo.
- g) Dotar al mezclador, los silos de agregados calientes y los tamices clasificadores de sistema de extractor de conexión al sistema de control de polución de aire, para evitar emisiones de vapores y partículas para la atmosfera.
- h) Se debe cerrar los silos de almacenamiento de cemento asfáltico.
- i) Mantener limpias las vías de acceso internas (desvíos), de tal manera que las polvaredas no contaminen los materiales de construcción.

- j) Se debe dotar los silos de depósito de “filler” de sistema propio de filtrado a seco.
- k) Adoptar procedimientos operacionales que eviten la emisión de partículas provenientes de los sistemas de limpieza de filtros de las mangas y de reciclaje del polvo retenido en las mangas.
- l) Se debe accionar los sistemas de control de polución del aire antes que los equipos entren en funcionamiento.
- m) Se debe dotar chimeneas con instalación adecuada
- n) Procurar sustituir el combustible por otra fuente de energía con menos polución (gas o electricidad), siempre que sea posible. ²

2.7 CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EN CALIENTE

Todos los materiales deberán ser examinados en laboratorio, obedeciendo a la metodología indicada y satisfaciendo las respectivas especificaciones de rigor.

2.7.1 Agregados

El control de calidad de los agregados constará mínimo de lo siguiente:

- a) 1 ensayo de granulometría del agregado, de cada silo caliente, por jornada de 8 horas de trabajo.
- b) 1 ensayo de equivalente de arena del agregado menudo, cuando haya variación del material.
- c) 1 ensayo de desgaste Los Ángeles, cuando haya variación de la naturaleza del material.
- d) 1 ensayo del índice de forma, cuando haya variación de la naturaleza del material.
- e) 1 ensayo de granulometría del material de relleno (filler), cuando haya variación de la naturaleza del material. ²

2.7.2 Cementos asfálticos bituminoso

Para la aprobación del material bituminoso incorporado a la Obra, la SUPERVISIÓN tomará muestras de cada partida de acuerdo al método establecido en AASHTO T-40 y realizar los ensayos de control de calidad indicados a continuación. Es muy importante que para cada partida se tenga el cuidado de obtener por lo menos dos muestras, una para la realización de todos los ensayos de aprobación y control especificados y la otra como

muestra testigo, en el caso que se tenga problemas con uno o varios de los resultados obtenidos en los ensayos realizados en la primera muestra Independientemente de los ensayos de aprobación de las partidas que se incorporen a la Obra, se realizarán ensayos de control del material bituminoso cada 300 toneladas, mientras se utilice en la producción del concreto asfáltico.

El control de calidad del material bituminoso se realizará con las siguientes especificaciones:

En todo cargamento que llegue a obra se debe hacer: ²

- 1 ensayo de viscosidad Saybolt-Furol AASHTO T- 59,T-72
- 1 ensayo de punto de inflamación AASHTO T-79
- Contenido de agua AASHTO T-55
- Penetración AASHTO T-49
- Punto de Ablandamiento (anillo y bola) para cálculo del índice de susceptibilidad térmica. ²

2.8 ASFALTO ESPUMADO

2.8.1 Desarrollo de la tecnología

El origen del asfalto espumado se remonta al año 1956 en la Universidad estatal de IOWA, donde se utilizó un proceso de inyección de vapor para formar la espuma.

Esta tecnología fue posteriormente mejorada por la organización Mobil Oil en 1968, al adquirir los derechos de la patente de invención y desarrollar la primera cámara de expansión que mezcla agua fría con asfalto caliente para generar espuma, transformándose así en un proceso más práctico, económico y menos peligroso.

A pesar de ser una tecnología desarrollada hace más de 40 años, su uso se masificó sólo a partir del año 1991, al expirar en ese año los derechos sobre la patente de invención de esta tecnología. ⁷

2.8.2 Wirtgen es el pionero del betún espumado

En el año 1956, el Prof. Dr. Ladis Csanyi de la Iowa State University (EE. UU.) fue el primero en darse cuenta de la posibilidad de utilizar betún espumado como ligante. Más tarde, Mobil Oil perfeccionó esta tecnología, desarrollando la primera cámara de

expansión, en la que mezcló agua y betón para producir espuma. Desde los años 90, WIRTGEN es la empresa del ramo que más trabaja con este ligante innovador. La introducción del sistema en las recicladoras de WIRTGEN en el año 1995 despertó definitivamente el interés de los expertos.

La WR 2500 fue la primera máquina dotada de dicho sistema. En 1997, WIRTGEN desarrolló, además, el equipo de laboratorio WLB 10 para la producción de betún espumado en el laboratorio de materiales de construcción.

Mientras tanto, están en uso en todo el mundo más de 300 equipos de laboratorio en compañías de construcciones, laboratorios de materiales de construcción, institutos, universidades y oficinas de ingeniería.⁸

Figura 2.11: La tecnología en 1995 despertó definitivamente el interés en los expertos.



Fuente: Betún espumado, febrero 2019 Wirtgen.

2.8.3 Concepto

El asfalto espumado es una técnica relativamente nueva en su uso que permite producir mezclas asfálticas de un modo muy diferente a los sistemas tradicionales. Las mezclas producidas con asfalto espumado tienen un comportamiento estructural similar a una mezcla tradicional (Macarrone et. al., 1993), pero difieren en su estructura interna. Las mezclas con asfalto espumado presentan ventajas especiales frente a mezclas tradicionales entre estas las más importantes son las del tipo energéticas (Akeroyd y Hicks, 1988) y ambientales.

Desde el punto de vista constructivo, el empleo de nuevas técnicas y equipos de construcción especialmente desarrollados para este tipo de aplicación, le confiere ventajas adicionales en comparación a otro tipo de técnicas constructivas; específicamente admite mayor tolerancia en la especificación de agregados y los procesos constructivos pueden ser de muy alto rendimiento. El asfalto espumado puede ser usado como un agente estabilizador con una variedad de materiales que van desde gravas chancadas de buena calidad hasta suelos marginales con plasticidad relativamente alta y también en materiales asfáltico reciclados. Las mezclas con asfalto espumado pueden ser confeccionadas tanto en terreno como en una planta central. ⁷

2.8.5. Producción

El término «betún espumado» se deriva de la acción de «espumar» ejercida por el betún. Esto incluye la inyección de una cantidad pequeña de agua y de aire bajo una alta presión en el betún calentado, con lo que el betún produce espuma y su volumen original aumenta a un tamaño 20 veces mayor.

A continuación, la espuma se debe añadir directamente a la mezcladora a través de unas toberas de inyección y se procesa perfectamente con materiales de construcción fríos y húmedos. A este material nuevo de construcción, frecuentemente producido reutilizando asfalto fresado, se le denomina material estabilizado con betún (BSM, por sus siglas en alemán). ⁸

Ya desde antes de comenzar las obras, es posible definir con suma precisión la calidad del betún espumado mediante unos análisis preliminares realizados en el equipo de laboratorio transportable WLB 10 S para materiales de construcción. Gracias al manejo

sencilísimo es posible variar rápidamente los parámetros como la cantidad de agua, la presión de aire y la temperatura.

Figura 2.12: Sistema de producción del asfalto espumado



Fuente: Betún espumado, febrero 2019 Wirtgen.

Sobre todo los parámetros de «expansión» y «vida media» caracterizan la calidad del betún espumado.

Figura 2.13: Con la ayuda del equipo de laboratorio WLB 10 S se pueden realizar series de mediciones para determinar las propiedades del betún espumado.



Fuente: Betún espumado, febrero 2019 Wirtgen.

Excelente calidad asegurada gracias a la calefacción, controlada por termostatos, que garantiza la temperatura de servicio óptima de todo el sistema de inyección antes y durante la producción de betún espumado. Esto permite prescindir del enjuague muy laborioso del sistema durante las interrupciones del trabajo o al finalizar la jornada. El control del proceso de transformación en espuma y de las cantidades añadidas se efectúa mediante un sistema controlado por microprocesador.

Figura 2.14: Es posible producir con facilidad diferentes clases de betún espumado para luego determinar la composición ideal.



Fuente: Betún espumado, febrero 2019 Wirtgen

Con la instalación de laboratorio móvil de betún espumado WLB 10 S, la mezcladora de circulación forzada de dos ejes WLM 30 y el compactador de laboratorio WLV 1 hemos implementado en la tecnología de laboratorio más moderna nuestros muchos años de

experiencia práctica. Gracias a las máquinas innovadoras se pueden producir especímenes de ensayo adecuados en un abrir y cerrar de ojos.

Además, el compactador de laboratorio WLV 1 sirve para producir especímenes de ensayo a partir de material estabilizado por betún. La altura de los especímenes, el n° de capas y el tiempo de compactación máximo se pueden especificar de forma muy sencilla.⁸

Figura 2.15: Una pequeña cantidad de agua provoca un aumento instantáneo del volumen del betún caliente (betún espumado).



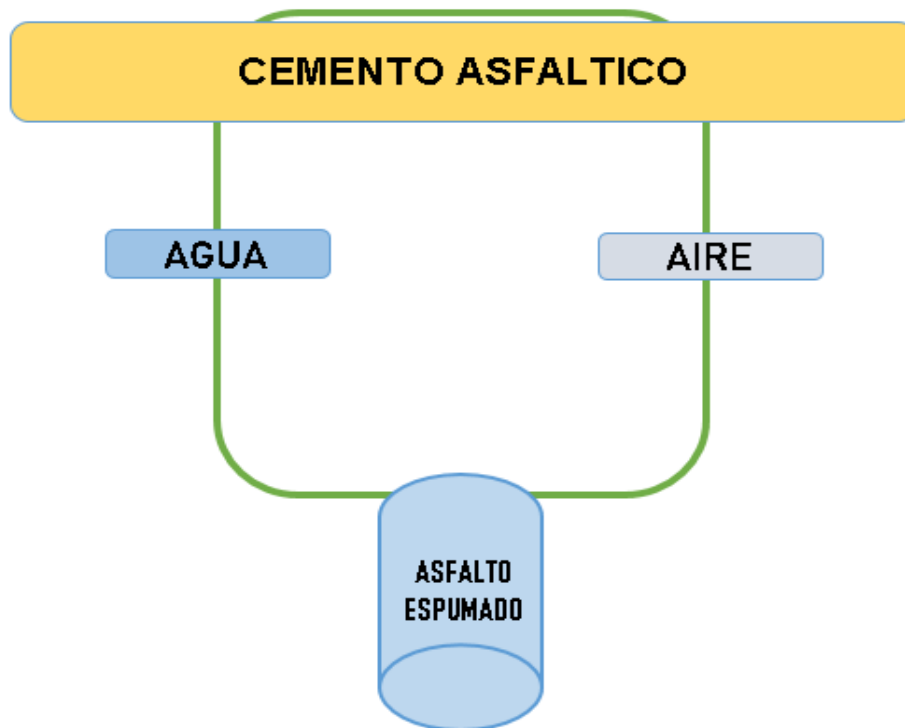
Fuente: Betún espumado, febrero 2019 Wirtgen.

El asfalto espumado (también conocido como asfalto celular), se logra mediante un proceso, en el cual se inyecta una pequeña cantidad de agua fría (2 a 4% del peso del asfalto) y aire comprimido a una masa de asfalto caliente (160° C - 180° C), dentro de una cámara de expansión (Figura 2.16), generando espontáneamente espuma.⁷

El proceso de expansión se puede explicar de la siguiente manera: en el momento en que las gotas de agua fría toman en contacto con el asfalto caliente, se produce un intercambio de energía entre el asfalto y las gotas de agua, lo que eleva la temperatura del agua hasta los 100° C. Esta transferencia energética genera, en forma instantánea, vapor y una expansión explosiva del asfalto. Las burbujas de vapor son forzadas a introducirse en el

asfalto dentro de la cámara de expansión. El asfalto, junto con el vapor de agua encapsulado, es liberado desde la cámara a través de una válvula (dispositivo rociador) y el vapor encapsulado se expande formando burbujas de asfalto contenidas por la tensión superficial de éste, hasta alcanzar un estado de equilibrio.⁷

Figura 2.16: Cámara de expansión



Fuente: Elaboración propia.

Debido a la baja conductividad térmica del asfalto y del agua, las burbujas pueden mantener el equilibrio por pocos segundos (10-30 segundos). Este proceso ocurre para una gran cantidad de burbujas. A medida que la espuma se enfría a temperatura ambiente, el vapor en las burbujas se condensa causando el colapso y la desintegración de la espuma. La desintegración de la burbuja (o colapso de la espuma) produce miles de gotitas de asfalto, las cuales al unirse recuperan su volumen inicial sin alterar significativamente las propiedades reológicas originales del asfalto.⁷

Para la producción de mezclas con asfalto espumado, el agregado debe ser incorporado mientras el asfalto se encuentre en estado de espuma. Al desintegrarse la burbuja en presencia del agregado, las gotitas del asfalto se aglutinan con las partículas más finas

(especialmente con aquellas fracciones menores a 0,075 mm), produciendo una mezcla de asfalto agregado fino, proceso que se denomina dispersión del asfalto (Figura 2.17). Esto resulta en una pasta de filler y asfalto que actúa como un mortero entre las partículas gruesas. El proceso de dispersión es considerado por muchos autores como fundamental para la obtención de las propiedades mecánicas de las mezclas con asfalto espumado.⁷

2.8.6 Propiedades y especificaciones

El asfalto espumado es caracterizado principalmente, por medio de dos propiedades:

- Razón de expansión (ER): es la medida de viscosidad de la espuma y determina que tan bien está dispersa la mezcla. Indica la trabajabilidad del asfalto y su capacidad de recubrir los agregados. Se calcula como la división del volumen máximo de asfalto espumado entre el volumen original de asfalto.
- Vida media ($\tau^{1/2}$): es la medida de la estabilidad del asfalto espumado e indica la tasa de colapso de la espuma. Se calcula como el tiempo en segundo que toma el asfalto espumado en colapsar a la mitad de su volumen máximo.⁶

En cuanto a la medición de estos parámetros en el laboratorio, los resultados dependen del tamaño del recipiente donde se mide la espumación, por lo que es muy importante, estandarizar el tamaño para obtener resultados reproducibles.⁶

Las especificaciones mínimas aceptables (Wirtgen, 2004) para una estabilidad efectiva del espumado son:

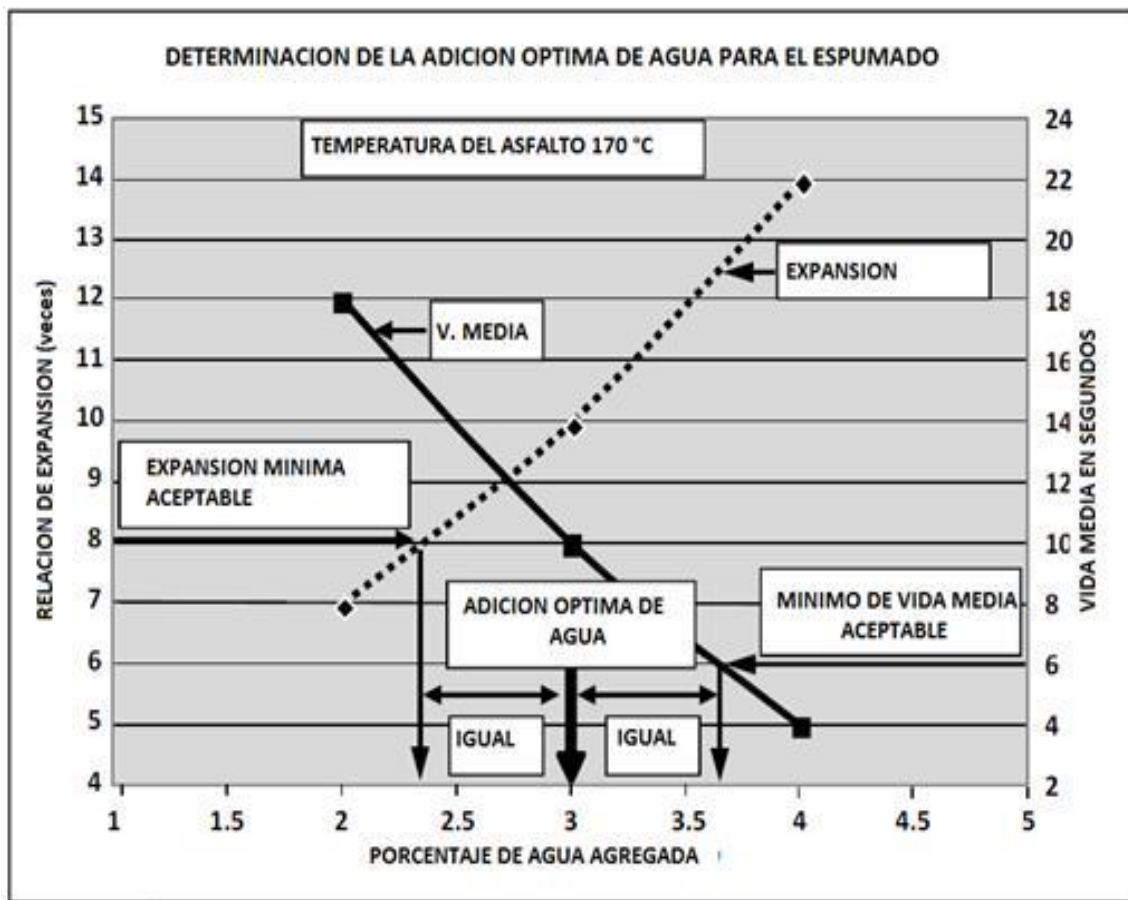
- ✓ Razón de expansión = 12 a 20 veces
- ✓ Vida media = 15 segundos

Si estas no se cumplen, se tiene que descartar el asfalto pues no es adecuado para espumar. Como se ve que el contenido de agua a añadir es tan importante para la espumación, esta se debe diseñar por lo que, en el laboratorio se deben adicionar distintos porcentajes de agua sobre masa de asfalto y graficar la expansión y la vida media para obtener el contenido de agua a utilizar en la planta de producción.

Se pueden usar los siguientes porcentajes: 2%, 3% y 4% por ejemplo, y graficar ambas características en un mismo gráfico como se muestra en la siguiente figura.⁶

⁶ Boletín técnico, abril 2011, Programa de Infraestructura del Transporte, Volumen 2. N° 15, Costa Rica.

Figura 2.17: Proceso de optimización de la razón de expansión y la vida media.



Fuente: PITRA vol. 2. N°15 Abril 2011.

2.8.7. Aplicaciones

Los asfaltos espumados se pueden utilizar para la fabricación de capas de ruedo, y las aplicaciones principales de esta técnica es el reciclado en frío de capas asfálticas existentes y la estabilización de suelos. Esto puede realizarse en el sitio de la pavimentación o en la planta dependiendo de la importancia del proyecto. Es posible también aplicar algún tipo de sello sobre la superficie de tipo lechada asfáltica. ⁶

2.8.7.1 Materiales de construcción in situ

Por principio, es posible tratar con betún espumado todo tipo de materiales de construcción no ligados, incluyendo el material asfáltico granulado. Las recicladoras de WIRTGEN granulan, en una sola operación, la capa de asfalto y la capa inferior a esta y mezclan in situ el material fresado con betún espumado.

Tras realizar la compactación se obtiene una capa de base bituminosa de alta calidad que resiste cargas muy elevadas causadas por el tráfico.

Figura 2.18: Asfaltado in situ con asfalto espumado



Fuente: Betún espumado, febrero 2019 Wirtgen.

2.9 DISEÑO DE MEZCLAS CON ASFALTO ESPUMADO

2.9.1 Procedimiento de diseño

El procedimiento básico para el diseño de mezclas con asfalto espumado se resume en los siguientes pasos: ⁶

- a) Optimización de las propiedades de la espuma

Esta etapa tiene como objetivo determinar la temperatura del asfalto y la cantidad de agua a inyectar que optimicen tanto la Razón de Expansión como la Vida Media. Para llevar a cabo las mediciones en laboratorio de las propiedades de la espuma, se emplea un equipo de producción de asfalto espumado, cuya principal característica es poseer una cámara de expansión, idéntica a la empleada en terreno para producir la espuma de asfalto.

- b) Caracterización del agregado

Debido a la gran variedad de agregados que pueden ser mezclados con asfalto espumado (áridos chancados, arena arcillosa, RAP y otros materiales tales como escorias), estos deben ser caracterizados considerando su distribución granulométrica.

c) Determinación del contenido óptimo de asfalto

Para determinar el contenido óptimo de asfalto, deben ser confeccionadas un mínimo de 5 mezclas con distintos contenidos asfálticos (1% – 3% de asfalto), y evaluar el comportamiento de cada una de ellas en función de la Tracción Indirecta (o tracción por compresión diametral), determinada tanto en estado seco como saturado. El contenido óptimo de asfalto es aquel que maximiza la Tracción Indirecta saturada (CSIR Transportek, 1999).

d) Caracterización de las propiedades mecánicas de las mezclas

Las propiedades mecánicas más utilizadas para caracterizar las mezclas de asfalto espumado son: CBR, Tracción Indirecta, Módulo Resiliente, Compresión no Confinada, Estabilidad Marshall y Resistencia a la Fatiga.⁶

Figura 2.19: El material tratado con betún espumado destaca por su solidez y su capacidad de carga óptimas.



Fuente: Betún espumado, febrero 2019 Wirtgen.

2.9.2 El secreto es la mezcla

El equipo de laboratorio WLB 10 S de WIRTGEN realiza las siguientes tareas:

- Comprobación general de las clases de betún empleadas en cuanto a su idoneidad para el proceso de transformación en espuma.
- Optimización del proceso de transformación en espuma mediante la adaptación de la temperatura y la adición de agua.
- Producción de aglomerado con diferentes cantidades de betún en el laboratorio.

Para la producción de aglomerado en el laboratorio de obras viales, el equipo WLB 10 S está unido directamente con la mezcladora de circulación forzada de dos árboles WLM 30. El betún espumado generado se inyecta en el proceso de mezcla en marcha del equipo WLM 30. Los materiales de construcción se mezclan de forma precisa y sin pérdidas. En un tiempo muy breve surgen aglomerados para la producción de probetas.⁸

2.10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ASFALTO ESPUMADO

2.10.1. Ventajas

- Flexibilidad. - La estabilización con asfalto produce un material con propiedades viscoelásticas, que posee una flexibilidad mejorada y resistencia a la deformación.
- Facilidad de preparación. - Un tanque se acopla a la recicladora y el asfalto caliente es bombeado y esparcido mediante una barra rociadora, donde la espuma de asfalto es inyectada en la cámara de mezclado.
- Costo. - El asfalto espumado utiliza cemento asfáltico de penetración estándar. No existen costos adicionales de producción del mismo.
- Velocidad para adquirir resistencia. El material puede ser transitado inmediatamente después de ser colocado y compactado.⁷

2.10.2. Desventajas

- El asfalto espumado requiere que el asfalto esté caliente, generalmente sobre los 160°C. Frecuentemente esto requiere de instalaciones para calentar el mismo, y medidas especiales de seguridad.
- Condición y tipo de material. - El material saturado y pobre en la fracción fina (menor a 0,075 mm) no puede ser procesado con asfalto espumado sin un tratamiento previo o la adición de material nuevo.

⁷ Guillermo Thenoux y Andrés Jamet, junio 2002, Revista BIT, Universidad Católica de Chile.

- Los materiales granulares estabilizados con asfalto espumado sometidos a cargas repetidas de tránsito se encuentran bajo un efecto de densificación gradual, generando una deformación de la capa superficial del pavimento, haciéndolos propensos a una falla de ahuellamiento.⁷

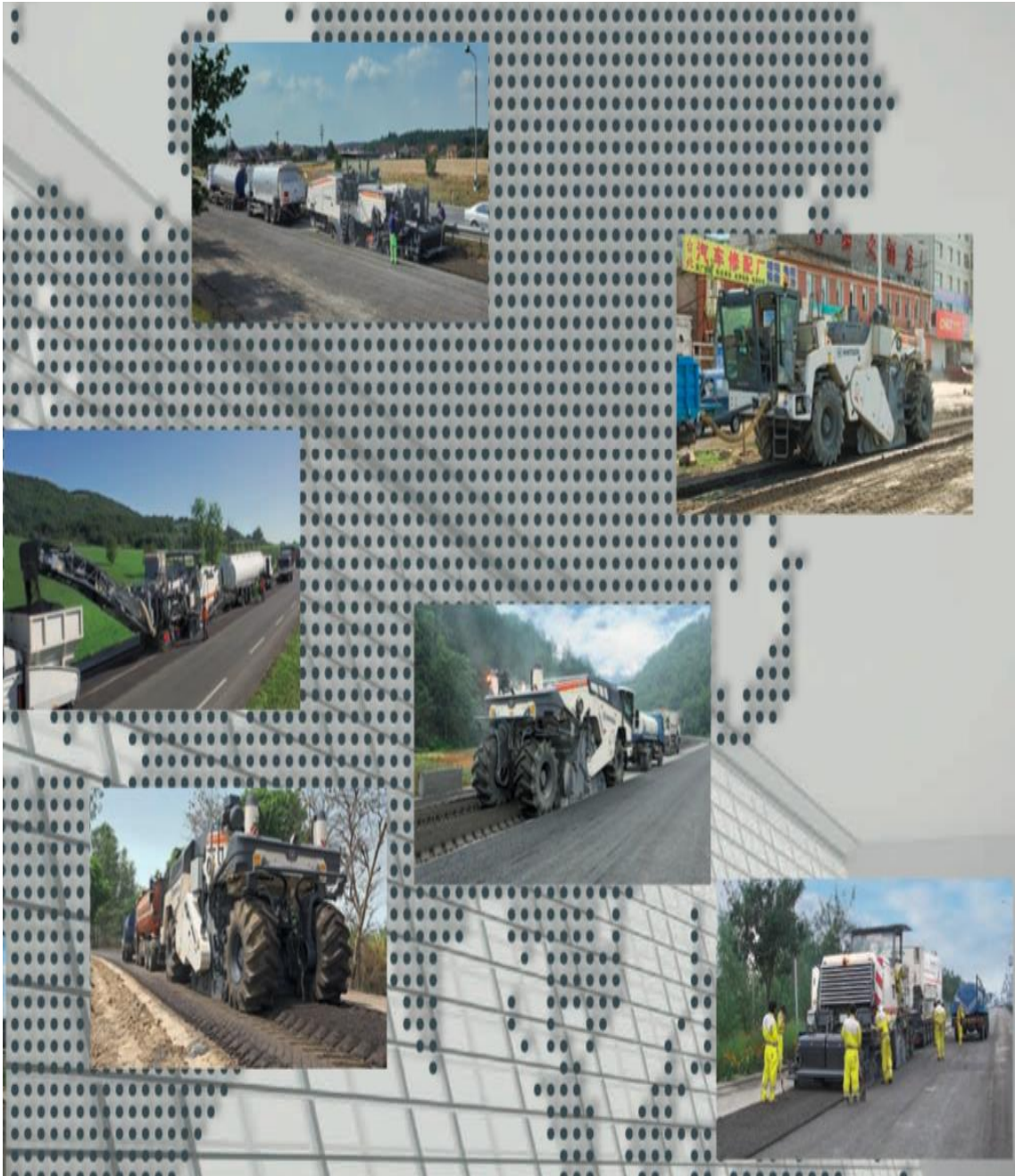
Figura 2.21: Carretera pavimentada haciendo uso del asfalto espumado



Fuente: Betún espumado, febrero 2019 Wirtgen.

2.11 MARCO REFERENCIAL

Figura 2.22: Betún espumado y su uso en todo el mundo.



Fuente: Betún espumado, febrero 2019 Wirtgen.

El éxito y la aprobación en más de 90 países, a lo largo de casi todas las zonas climáticas, son la mejor prueba de la gran aceptación del betún espumado como ligante. Este procedimiento se aplica preferentemente en todos aquellos lugares, en los que las

estructuras de carreteras tienen que resistir elevadas cargas causadas por el tráfico rodado y donde se requiere un método de construcción particularmente económico y sostenible. La tecnología de betún espumado ofrece una solución orientada al futuro y se emplea tanto para la reparación de estructuras como para la construcción de carreteras nuevas.

Los aglomerados con betún espumado conforman un material de construcción que satisface las más elevadas exigencias.

La utilización de este material de construcción innovador, independientemente de las condiciones climáticas y con máxima carga del tráfico, ha demostrado su eficacia: actualmente hay más de 2500 máquinas de la amplia gama de productos de reciclaje de WIRTGEN trabajando en todo el mundo.⁸

Una de las aplicaciones es el estudio de la técnica en las carreteras la Oroya- Chirín- Huánuco- Tigno María- Dv.-Tocache y Conocha . Yanacanacha

2.12 MARCO NORMATIVO

La normativa de materiales de sub bases y bases para pavimentos, detalla los requisitos de calidad necesarios para el tratamiento de bases de pavimentos asfálticos y pavimentos de concreto hidráulicos. Dicha normativa se centra en utilizar aquellos materiales que no cumplieron con los parámetros establecidos en la norma, mediante la incorporación de algún producto adicional que modifique alguna de sus características físicas, generalmente haciéndolos más rígidos y resistentes.

Dentro de este ramo se encuentra la clasificación “Apéndice F: Requisitos de calidad de materiales para base de mezclas asfáltica (Base Negra) provenientes de un banco”. El cual describe de manera general los requerimientos que debe cumplir la mezcla estabilizada con un ligante asfáltico (en caliente o en frío). El apéndice H de esta misma norma hace mención a los requisitos de calidad de materiales provenientes de la recuperación de pavimentos existentes, sin embargo, no presenta ningún requerimiento para su utilización.

Lo que se puede concluir es que esta Normativa no contempla el uso de otras técnicas de estabilización con asfalto como puede ser la tecnología denominada Asfalto Espumado, ni tampoco contempla una metodología para la utilización de materiales recuperados (RAP).

Por lo cual es indispensable validar la metodología de diseño descrita en el manual de reciclaje en frío de Wirtgen (Wirtgen Cold Recycling Technology 2012) y realizar evaluaciones del comportamiento mecánico de este tipo de estabilizaciones.

Esta maquina casera esta construida en base a una de olla presión modificada con 3 orificios uno para la descarga de la mezcla con un tubo de acero inoxidable de medio metro y una llave de paso que regulaba la salida del asfalto espumado, ya existentes en laboratorio, así mismo ésta contaba con uno de cobre de $\frac{1}{2}$ cm interno para la inyección del agua y únicamente modificada con un tubo de cobre del mismo diámetro para el ingreso del aire a la cámara de expansión con su distribución uniforme de 3 bar como mínimo para su distribución. Cabe mencionar que la temperatura era tomada con la olla destapada pues de otro modo éste no aguantaba la presión y reventó en una ocasión anterior.

CAPÍTULO III
CARACTERIZACIÓN, DISEÑO
Y CÁLCULOS

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN, DISEÑO Y CÁLCULOS

3.1 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

El agregado grueso, medio y fino fueron obtenidos de SE.DE.CA. (planta El Molino). Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Hormigón de la UAJMS, siendo éstos los siguientes: Granulometría, Desgaste de los Ángeles, Equivalente de arena y Peso específico. Todo esto con la finalidad de verificar que los agregados son aptos para su uso en mezclas asfálticas calientes, presentando así los siguientes resultados:

3.1.1 Granulometría

3.1.1.1 Granulometría de la arena

Se realizó con el siguiente procedimiento:

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

Figura 3.1: Granulometría del agregado fino

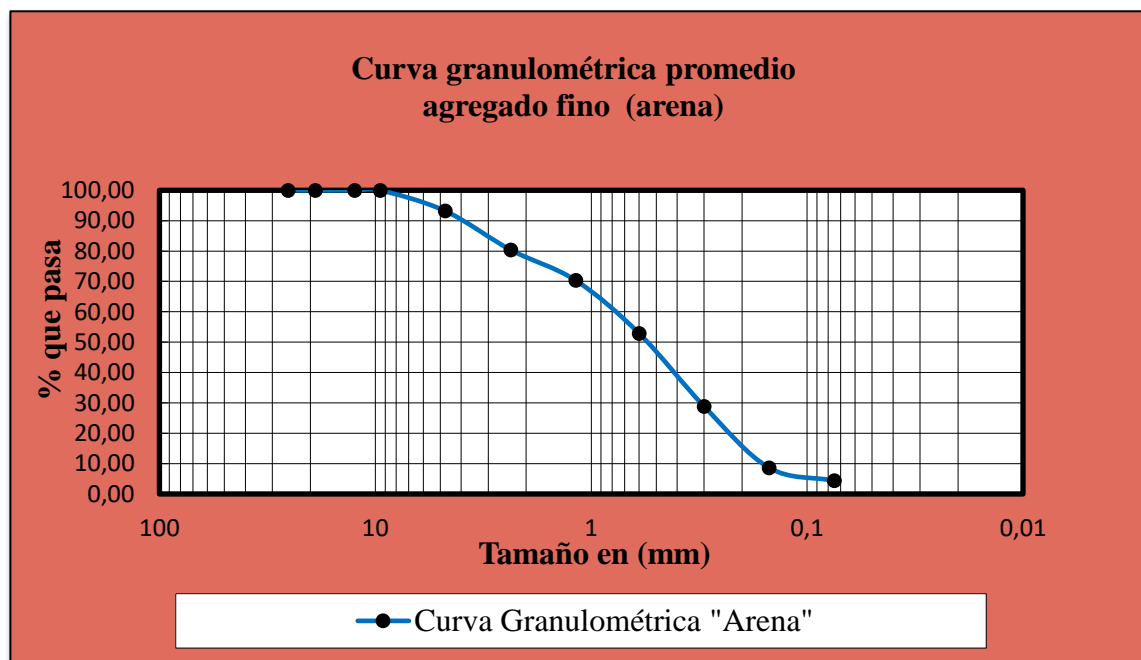


A continuación, se presenta un resumen de los valores obtenidos en laboratorio en conjunto con su gráfica resultante.

Tabla 3.1: Resumen de la granulometría de la arena

Peso total (gr.)		1000
Tamices	Tamaño (mm)	% que pasa del total
1"	25,40	100,00
3/4"	19,00	100,00
1/2"	12,50	100,00
3/8"	9,50	100,00
Nº4	4,75	93,21
Nº8	2,36	80,37
Nº16	1,18	70,33
Nº30	0,60	52,88
Nº50	0,30	28,86
Nº100	0,15	8,63
Nº200	0,075	4,39
Base	-	1,97

Gráfica 3.1: Curva granulométrica promedio del agregado fino



3.1.1.2 Granulometría de la grava (3/4")

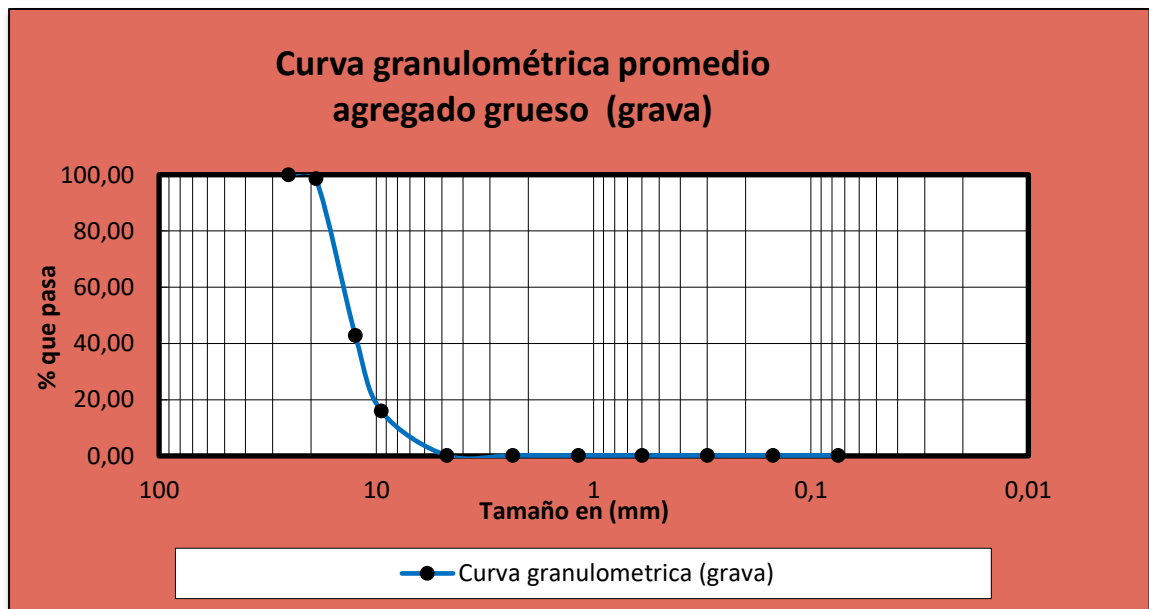
Se trabajó con los siguientes pasos:

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

Figura 3.2: Granulometría del agregado grueso



Gráfica 3.2: Curva granulométrica promedio (grava 3/4")



Observados y analizado los valores de este agregado se presenta el resumen:

Tabla 3.3: Resumen de la granulometría de la grava

Peso total (gr.)		5000
Tamices	Tamaño (mm)	% que pasa del total
1"	25,40	100,00
3/4"	19,00	98,54
1/2"	12,50	42,87
3/8"	9,50	16,00
Nº4	4,75	0,18
Nº8	2,36	0,18
Nº16	1,18	0,18
Nº30	0,60	0,18
Nº50	0,30	0,18
Nº100	0,15	0,18
Nº200	0,075	0,18
Base	-	0,18

3.1.1.3 Granulometría de la gravilla (3/8")

Al igual que la grava, la gravilla se cuarteó haciendo uso de un peso base de 3000 gr para ser introducidos dentro de los tamices ya organizados previamente, luego se pasó al proctor por 10 minutos y finalmente a pesar lo retenido en cada tamiz.

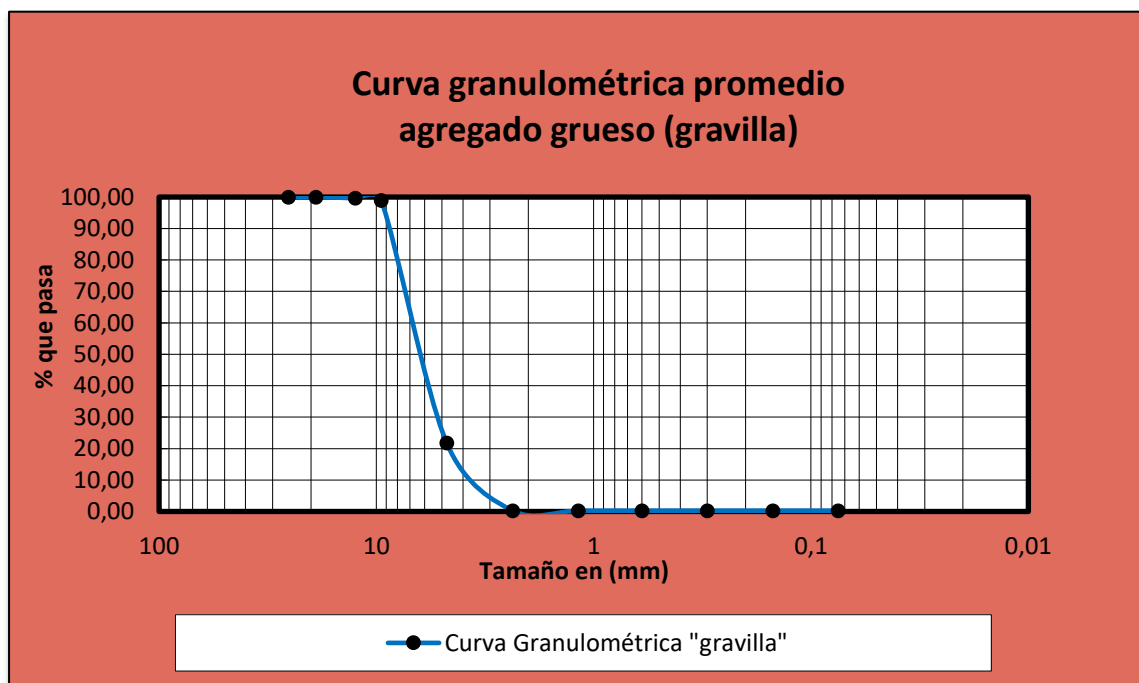
Figura 3.3: Granulometría del agregado grueso



Tabla 3.3: Resumen de la granulometría de la gravilla

Peso total (gr.)		3000
Tamices	Tamaño (mm)	% que pasa del total
1"	25,40	100,00
3/4"	19,00	100,00
1/2"	12,50	99,61
3/8"	9,50	98,93
N°4	4,75	21,82
N°8	2,36	0,25
N°16	1,18	0,25
N°30	0,60	0,25
N°50	0,30	0,25
N°100	0,15	0,25
N°200	0,075	0,25
Base	-	0,25

Gráfica 3.3: Curva granulométrica promedio (gravilla 3/8")



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

3.1.2 Peso específico

3.1.2.1 Peso específico del material fino (arena)

Se realizó el ensayo con el siguiente procedimiento:

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

Figura 3.4: Eliminación de vacíos de la muestra



Se puede mostrar los siguientes resultados:

Tabla 3.4: Resumen del peso específico de la arena

Determinación	Promedio
P. E. a granel (gr/cm^3)	2,88 gr/cm^3
P. E. saturado con sup. seca (gr/cm^3)	2,74 gr/cm^3
P. E. aparente (gr/cm^3)	2,67 gr/cm^3
(%) porcentaje de absorción	2,73 %

3.1.2.2 Peso específico del material grueso (grava de 3/4 ")

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

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

Figura 3.5: Saturación de la grava



Se puede mostrar los siguientes resultados:

Tabla 3.5: Resumen del peso específico de la grava

Determinación	Promedio
P. E. a granel (gr/cm^3)	2,64 gr/cm^3
P. E. saturado con sup. seca (gr/cm^3)	2,66 gr/cm^3
P. E. aparente (gr/cm^3)	2,71 gr/cm^3
(%) porcentaje de absorción	1,10%

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

3.1.2.3 Peso específico del material grueso (gravilla de 3/8 ″)

El ensayo para la gravilla tiene el mismo procedimiento que el de la grava, a diferencia que en este caso se trabaja con 3000 gr en todo proceso, considerando 1000 gr de pérdida para saturarlo totalmente durante los 3 días.

Figura 3.6: Secado superficial de la gravilla



Mostrando a continuación los siguientes resultados del promedio de tres muestras realizadas:

Tabla 3.6: Resumen peso específico de la gravilla

Determinación	Promedio
P. E. a granel (gr/cm^3)	2,62 gr/cm^3
P. E. saturado con sup. seca (gr/cm^3)	2,67 gr/cm^3
P. E. aparente (gr/cm^3)	2,74 gr/cm^3
(%) porcentaje de absorción	1,70 %

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

3.1.3 Desgaste de los ángeles

3.1.3.1 Desgaste de los ángeles de la grava de 3/4 ″

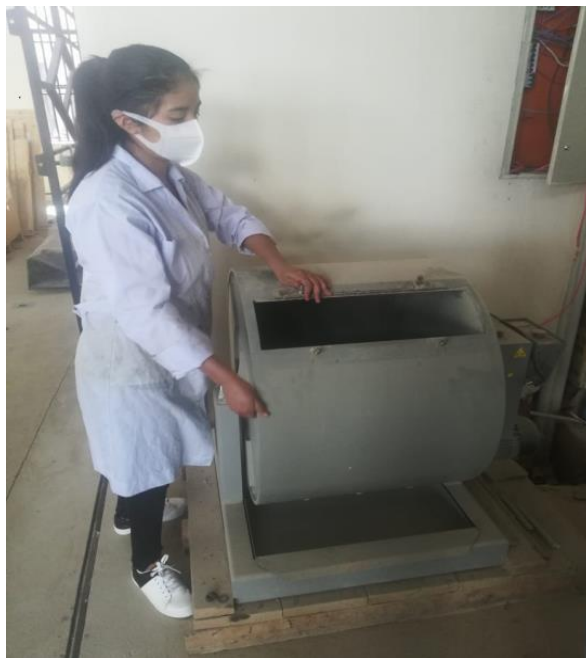
Proporcionará un índice de calidad del agregado al desgaste, producido por una combinación de acciones que incluye el impacto, rozamiento superficial y desintegración

en una muestra de agregado, en la máquina de los ángeles. Para determinar si este es lo suficientemente duro para producir una mezcla resistente y apta para diseñar.

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

- Se trabajó con el agregado retenido en el tamiz de 1/2" del ensayo de la granulometría completando dicha muestra a los 2500 gr solicitados tamizando el faltante, así también se hizo para los 2500 gr del tamiz de 3/8".
- Luego se introdujo la muestra completa de ambos tamices en la maquina de los Ángeles con 11 esferas y 500 revoluciones durante 30 minutos.
- Se cernió por el tamiz n° 12, se peso y llevo al horno por 24 horas para finalmente pesar dicha muestra nuevamente.

Figura 3.7: Preparando la máquina de desgaste de loa ángeles



Se puede mostrar los siguientes resultados:

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

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
B	5000,0	3579,2	28,42	35% Max

3.1.3.2 Desgaste de los ángulos de la gravilla de 3/8"

Para la gravilla se sigue el mismo procedimiento que para la grava a diferencia que esta muestra es de los tamices de 1/4" y N° 4, siendo una gradación de tipo C trabajando con 8 esferas a 500 revoluciones por 30 minutos, basándose en la misma norma.

Figura 3.8: Vaciado de la gravilla luego de usar la máquina de desgaste de los ángulos



Se puede mostrar los siguientes resultados:

Tabla 3.8: Resultados del desgaste de los ángulos de la gravilla de 3/8"

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
C	5000,00	3793,40	24,13	35% Max

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

3.1.4 Equivalente de arena

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

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

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

Figura 3.9: Observando la suspensión de la arcilla en el equivalente de arena



Se puede mostrar el siguiente resultado:

Tabla 3.9: Resultado del equivalente de arena

Equivalente de Arena (%)	Norma
61,15	> 50%

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

3.2 ENSAYOS CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

Como en la universidad se cuenta con los equipos disponibles en el laboratorio de asfaltos, entonces se procedió a realizar la caracterización del asfalto convencional 85-100 Betunel de industria Brasileira y del asfalto modificado 60-85 Betuflex también de la misma industria, (obtenidos de SE.DE.CA), mediante los ensayos de penetración, peso específico, punto de inflación, punto de ablandamiento, ductilidad y viscosidad, que se describen a continuación.

3.2.1 Penetración del asfalto (85-100)

Este ensayo fue realizado con el siguiente procedimiento:

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

Figura 3.10: Ajuste de la aguja para ensayar la penetración



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

Tabla 3.10: Resultado de la penetración asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Penetración	0,1 mm.	87,65	85,67	86,66	87,00	85	100

3.2.2 Peso específico de asfalto (85-100)

Realice el ensayo en base al siguiente procedimiento:

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

Figura 3.11: Preparando las muestras a ensayar para el peso específico



Se puede mostrar los siguientes resultados:

Tabla 3.11: Resultado del peso específico del asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Peso específico	grs./cm ³	0,955	1,075	1,012	1,014	1	1,05

3.2.3 Punto de inflamación de asfalto (85-100)

Se realizó de la siguiente manera:

- Inicialmente se conectó el equipo en un mesón firme a nivel, y se montó el termómetro cuidadosamente para no romperlo.

- Se dispuso a calentar el asfalto en una bandeja hasta los 100 °C y vertió en la copa de cleaveland hasta el punto donde en el que la parte superior del menisco quedo en la línea de llenado.
- Colocando en seguida la copa en su posición correspondiente en el equipo y espero hasta que el asfalto subiera los 232 °C establecido como mínimo.
- A continuación, se aplicó la llama de ensayo con la ayuda de fósforos, registrando como punto de inflamación aquel en cuyo instante se generó el anillo azul de fuego.

Figura 3.12: Ajustando el termómetro para el punto de inflamación



Realizado para tres muestras obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.12: Resultado del punto de inflamación asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	280	284	281	282	232	-

3.2.4 Punto de ablandamiento de asfalto (85-100)

Para realizarlo con éxito se siguió el siguiente procedimiento:

- Inicialmente se calentó el asfalto hasta los 100 °C.
- Mientras el asfalto calentaba se iba untando de vaselina y empolvado superficialmente los moldes sobre una base de vidrio.
- Una vez realizado esto, se vertió el asfalto con sumo cuidado en los moldes para no derramar en los bordes del mismo y dejo enfriar.

- En un vaso de precipitado se llenó de agua hasta los 2000 ml y se montó el equipo de anillo de bola con el asfalto para introducirlo después en dicho vaso.
- Se sumergió en agua hasta los 5 °C a manteniendo la temperatura con hielo en una fuente.
- Para finalizar se llevó a baño maría a fuego fuerte, controlando con un termómetro en todo momento para lecturar la temperatura en el instante que cayeran las bolas a la base del vaso de precipitado.

Figura 3.13: Controlando la temperatura para el punto de ablandamiento



Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.13: Resultado del punto de ablandamiento asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Punto de ablandamiento	°C	43	42	47	44	43	46

3.2.5 Ductilidad del asfalto (85-100)

Se trabajó con el siguiente procedimiento:

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

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

Figura 3.14: Controlando la temperatura para la ductilidad



Se muestra los siguientes resultados:

Tabla 3.14: Resultado de la ductilidad asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	101	96	105	101	100	-

3.2.6 Viscosidad cinemática de asfalto (85-100)

Realizado bajo el siguiente procedimiento:

- Se calentó en un matraz 2000 ml de aceite a 135 °C la cocinilla eléctrica.
- Luego se calentó asfalto hasta diluirlo para tomar una pequeña muestra.
- Una vez realizado el calentamiento del aceite, se introdujo el viscosímetro dentro del matraz, para en seguida verter el asfalto dentro del mismo hasta que el nivel quedo por encima del borde de reboco y aseguro la entrada con un tapón de goma.

- Se esperó hasta que el asfalto dejara de subir por el viscosímetro y lecturar finalmente en que sector de su gradación se detuvo.

Figura 3.15: Controlando la temperatura del aceite para introducir el viscosímetro



Se obtuvo el siguiente resultado de tres muestras:

Tabla 3.15: Resultado de la viscosidad cinemática a 135°C asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Viscosidad C.	°C	215	220	211	215	214	-

El asfalto convencional es apto para su uso.

3.2.7 Penetración de asfalto Betuflex (60-85)

La memoria fotográfica es la misma que la realizada con el asfalto convencional, pues se ejecutaron los ensayos en el mismo día correspondiente para ambos asfaltos, siguiendo los mismos procedimientos.

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

Tabla 3.16: Resultado de la penetración asfalto convencional

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Penetración a 25°C,	0,1 mm.	67,33	68,00	72,67	69,00	40	70

3.2.8 Peso específico de asfalto (60-85)

Se puede mostrar los siguientes resultados de tres muestras seleccionadas para el ensayo ejecutado:

Tabla 3.17: Resultado del peso específico del asfalto modificado

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Peso específico	grs./cm ³	1,026	1,018	1,068	1,037	1	-

3.2.9 Punto de inflamación de asfalto (60-85)

Realizado para tres muestras obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.18: Resultado del punto de inflamación asfalto modificado

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Punto de inflamación	°C	281	278	281	280	235	-

3.2.10 Punto de ablandamiento de asfalto (60-85)

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.19: Resultado del punto de ablandamiento asfalto modificado

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Punto de ablandamiento	°C	65	64	67	65	53	60

3.2.11 Ductilidad del asfalto (60-85)

Se muestra los siguientes resultados:

Tabla 3.20: Resultado de la ductilidad asfalto modificado

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Ductilidad a 25°C	cm.	101	111	105	106	100	-

Nota: Para el asfalto 60-85 betuflex de industria Brasileira al igual que para el asfalto 85-100, si siguió el mismo procedimiento para todos los ensayos respectivamente, a excepción que en este caso no se realizó el ensayo de viscosidad a falta de la disponibilidad del equipo específico para asfaltos modificados necesario para ejecutarlo.

Observando que cada uno de los ensayos realizados de los asfaltos cumplen con las especificaciones se afirma que ambos son aptos para su uso en la mezcla asfáltica.

3.3 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO ESPUMADO

Como el asfalto espumado se caracteriza principalmente por su razón de expansión y vida media se realizó en laboratorio de asfaltos de la UAJMS la investigación de estos parámetros.

¿CÓMO SE ELABORÓ EL ASFALTO ESPUMADO?

El asfalto espumado se elaboró en base a una cámara de expansión prototipo que se encuentra en el laboratorio de la UAJMS (reflejada en la maquina productora del mismo fabricada por Wirtgen), realizándole algunas modificaciones para mejorar su rendimiento tal como la adición de un tubo de cobre para inyectar aire por la misma esto con el fin de obtener una atomización optima de las partículas del asfalto, mediante una pequeña compresora a 3 bar mínimo por prueba, permitiendo uniformidad en la espuma.

Para tener una muestra representativa de lo que usualmente se utiliza en el vaseado de briquetas en su ensayo en el laboratorio ,se optó por un volumen inicial del asfalto de 50 cm³, para que tenga un rango menor y mayor del mismo valor para su uso.

En cuanto a la temperatura de calentamiento de los cementos asfálticos se desarrolló entre los valores permitidos por las recomendaciones brindadas de los fabricantes, de manera

que éstos no pierdan sus propiedades características, empezando en el caso del convencional de 150 hasta los 180 ° C con un incremento de 10 ° C, y para el modificado desde los 150 hasta los 210 ° C con el mismo incremento que el anterior.

De acuerdo a las especificaciones del manual de WIRTGEN se calculó los porcentajes de agua a inyectar en ml del volumen original del asfalto, empleando desde un 2 a 4 % con incrementos de 0,5% sucesivamente, esto último para una mejor precisión.

En cuanto a los materiales aparte de los ya mentados es necesario contar con una jeringa (10 o 20 ml) para el agua, con el fin de facilitar su ingreso en la cámara.

Una vez recabado todos los datos y materiales se desarrolla el ensayo con asfalto convencional 85-100 y asfalto modificado 60-85.

Iniciando con el asfalto convencional calentándolo dentro de la cámara a 150 ° C controlando con el termómetro, posteriormente se inyecta el agua de manera progresiva para esparcir gradualmente la misma en la superficie del asfalto y a su vez el aire con ayuda de un pico de metálico de inflar balones.

En ese momento se presencia un cambio de energía entre el agua y la masa caliente de asfalto produciendo instantáneamente espuma. Y así mismo la inyección del aire con la compresora. Momento en el cual se lectura el incremento máximo que se presencia de la espuma, tomando así también como dato la altura de la misma cuando esta decrece a la mitad de su volumen máximo, tiempo que se fija como la vida media.

Dicho procedimiento se sigue tal cual en el caso del asfalto modificado con sus respectivas temperaturas de calentamiento inicial del asfalto.

Las especificaciones técnicas planteadas por el manual de WIRTGEN incluyen de 2 a 4 % de agua del peso del asfalto a utilizar, mencionando además que debe de encontrarse a temperatura ambiente para ingresarla en la cámara en donde llegara a una temperatura de 100 ° C al entrar en contacto con la masa de asfalto caliente.

El aire comprimido debe ser como mínimo 3 bar para ingresar a la masa caliente de asfalto (160 ° C -180 ° C, en el caso del asfalto convencional). Indicando que bajo esas condiciones su volumen original aumenta a un tamaño desde 12 a 20 veces mayor teniendo una vida media autosuficiente mentadas por el manual como 15 seg mínimamente. Entre algunas de sus recomendaciones se menciona que a menor temperatura de calentamiento del asfalto es conveniente trabajar con asfalto convencional.

Pues se encontró que a un menor calentamiento se idealiza las condiciones recomendadas por el manual, alcanzando un efecto espumado óptimo tanto como una vida media competente en su uso.

Si se trata del asfalto modificado se debe priorizar la vida media del mismo, pues mientras se incrementa la temperatura de calentamiento del asfalto se lograra obtener una mayor vida media, pero tratándose de un ensayo enfocado a la reflejar su comportamiento en un tramo de carretera no es conveniente trabajar con temperaturas muy altas pues resulta peligroso y poco accesible, por lo cual se recomienda un máximo uso de desarrollo a una temperatura de 210 ° C.

De igual modo al espumar se recomienda un uso máximo de 3,5% de agua del peso del asfalto para obtener un buen resultado, pues con valores por encima de este no se logra una espuma apta para su uso.

3.3.1 Relación de expansión y vida media

“CON EL USO DE CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL 85-100”

Con el fin de encontrar la cantidad de agua necesaria para producir un efecto espumado en los asfaltos que tengan una razón de expansión y vida media óptimos, se siguió el siguiente procedimiento para el asfalto 85-100 convencional:

- Se inició estableciendo un volumen inicial de 50 cm³ de dicho volumen, pues esta cantidad se consideró representativa para en ensayo.
- Se eligió realizar la prueba para temperaturas desde 150, 160, 170, y 180 °C.
- Se calculó el volumen del agua a inyectar de acuerdo al porcentaje elegido, que fueron de 2%, 2,5%, 3%, 3,5% y 4%. Midiendo en ml el agua en una jeringa para cada porcentaje respectivo.
- A continuación, se calentó el asfalto a 150 °C expansión a bajo fuego, e inyectó con el primer porcentaje de agua registrando la altura en la que alcanzó su máximo volumen y la duración de la espuma hasta alcanzar la mitad de su volumen máximo siendo este tiempo la vida media. Así se realizó con cada porcentaje de agua. Y para cada temperatura planteada.

Se obtuvo los siguientes resultados para cada temperatura de la relación de expansión versus la vida media:

Figura 3.16: Control de temperatura del asfalto en la cámara de expansión



Tabla 3.21: 1er ensayo a una temperatura de 150 °C a.c.

Peso del asfalto (gr)	50					
Vol. inicial de asfalto (cm ³)	50					
% agua	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
Vol. agua (ml)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	Especific.
Vida media (seg)	49,38	45,70	36,41	29,50	26,40	>15
Vol. final de asfalto (cm ³)	366,31	537,90	566,50	595,11	680,92	
Relación expansión	7,33	10,76	11,33	12,00	13,62	12 a 20

Gráfico 3.4: Relación de expansión vs vida media a 150 °C asfalto convencional

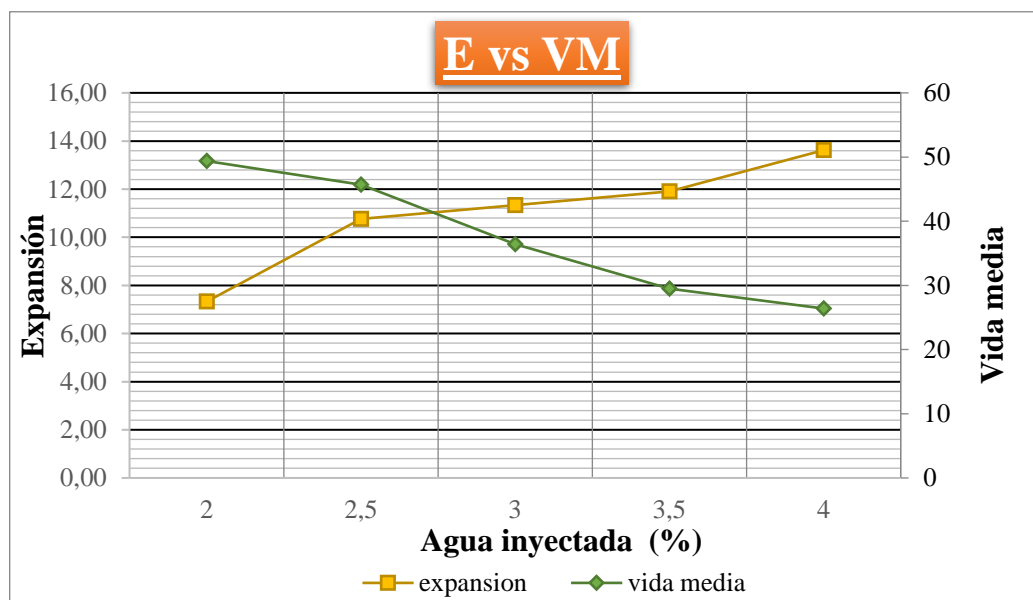
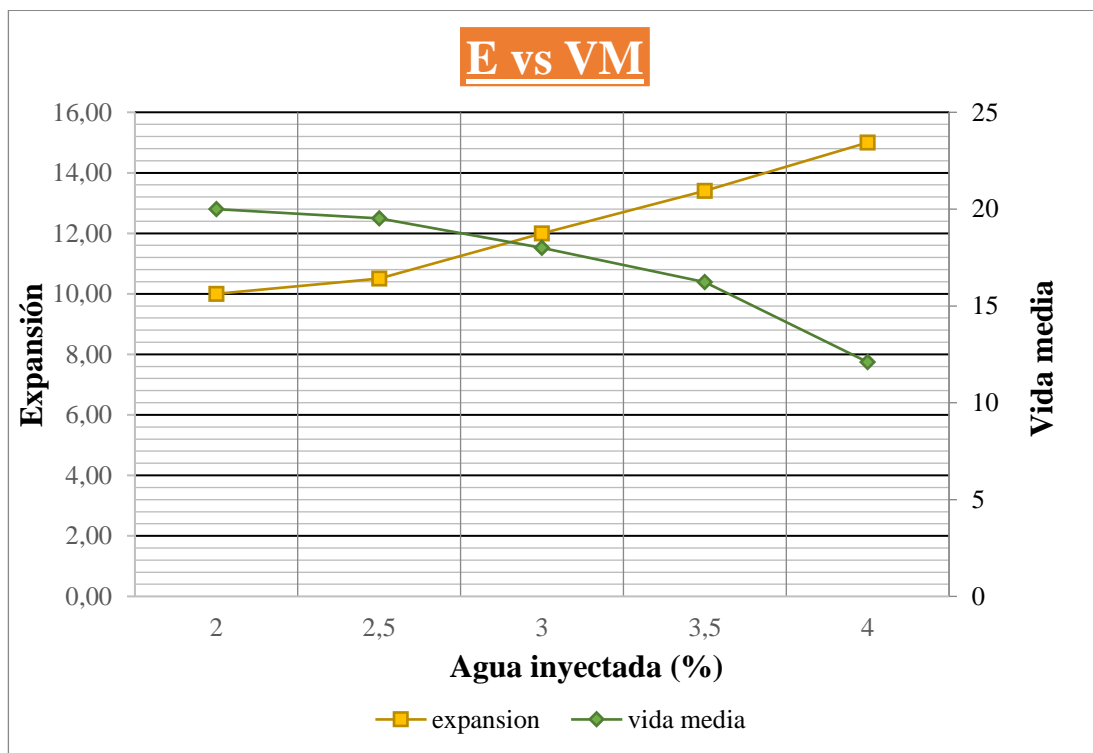


Tabla 3.22: 2do ensayo a una temperatura de 160 °C a.c.

Peso del asfalto (gr)	50					
Vol. inicial de asfalto (cm ³)	50					
% agua	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
Vol. agua (ml)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	Especific.
Vida media (seg)	20,00	19,52	18,00	16,23	12,1	>15
Vol. final de asfalto (cm ³)	500,00	525,05	600,00	670,00	750,41	
Relación expansión	10,00	10,50	12,00	13,40	15,00	12 a 20

Gráfico 3.5: Relación de expansión vs vida media a 160 °C asfalto convencional



Nota: Como se puede observar en el primer y segundo ensayo hay dos columnas resaltadas de un color amarillo opaco, estas representan el porcentaje de agua elegido a utilizar en para el espumado pues cumplen con las especificaciones mínimas, considerando que son las que tienen un tiempo mayor de vida media.

Tabla 3.23: 3er ensayo a una temperatura de 170 °C a.c.

Peso del asfalto (gr)	50					
Vol. inicial de asfalto (cm ³)	50					
% agua	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
Vol. agua (ml)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	Especific.
Vida media (seg)	42,32	40,11	39,58	38,53	33,91	>15
Vol. final de asfalto (cm ³)	82,51	99,00	110,00	132,00	194,71	
Relación expansión	1,65	1,98	2,20	2,64	3,89	12 a 20

Gráfico 3.6: Relación de expansión vs vida media a 170 °C asfalto convencional

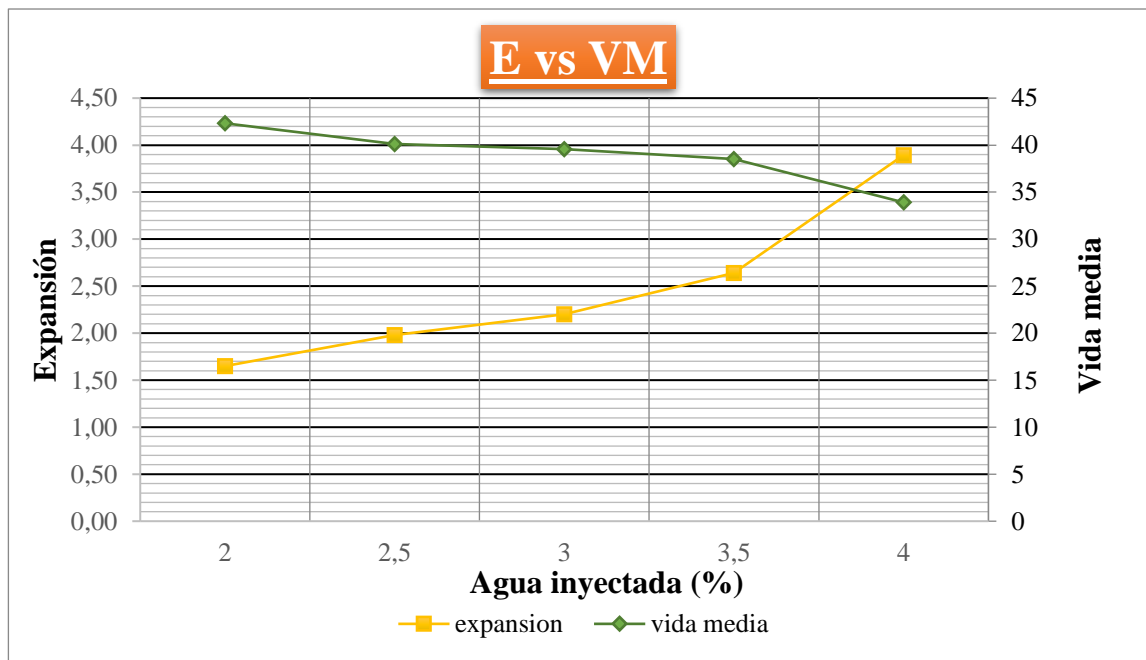
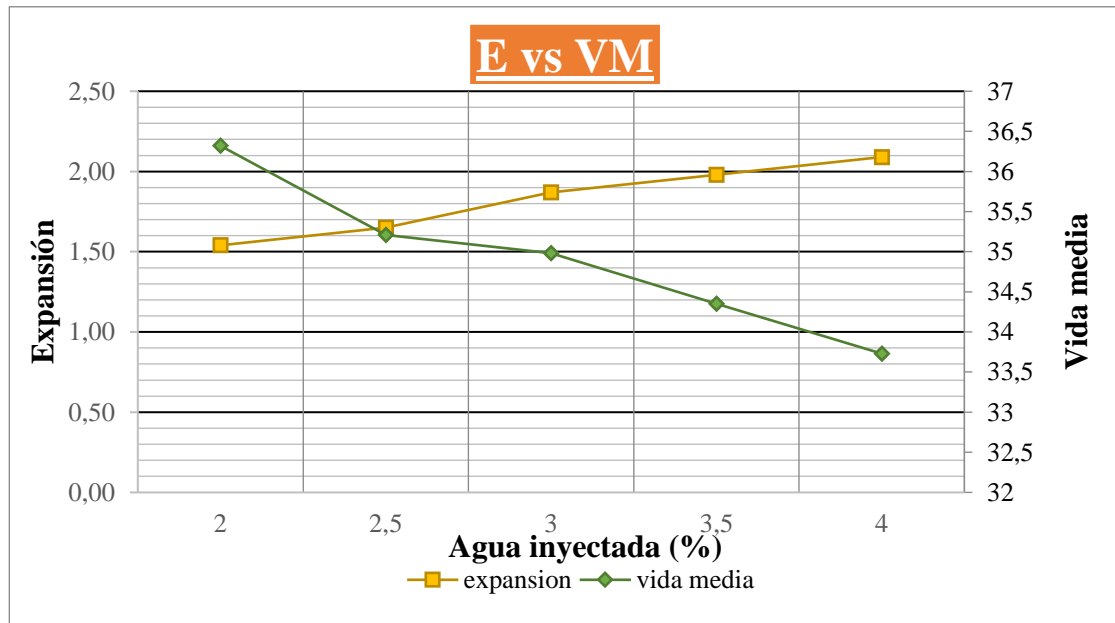


Tabla 3.24: 4to ensayo a una temperatura de 180 °C a.c.

Peso del asfalto (gr)	50					
Vol. inicial de asfalto (cm ³)	50					
% agua	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
Vol. agua (ml)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	Especific.
Vida media (seg)	36,32	35,21	34,98	34,35	33,73	>15
Vol. final de asfalto (cm ³)	77,00	82,50	93,50	99,00	104,51	
Relación expansión	1,54	1,65	1,87	1,98	2,09	12 a 20

Gráfico 3.7: Relación de expansión vs vida media a 180 °C asfalto convencional



CONFIABILIDAD DE DATOS (Aplicación de programa IBM SPSS Statistics)

Fiabilidad

Escala: ALL VARIABLES

Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	5	100,0
	Excluido ^a	0	,0
	Total	5	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,764	4

VIDA MEDIA

Fiabilidad

Escala: ALL VARIABLES

Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	5	100,0
	Excluido ^a	0	,0
	Total	5	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,837	4

EXPANSIÓN

VALIDEZ DE DATOS

Prueba T

Estadísticas para una muestra

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
VAR00001	20	32,1140	10,28384	2,29954

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 15

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
VAR00001	7,442	19	<,001	17,11400	12,3010	21,9270

Tamaños de efecto de una muestra

		Standardizer ^a	Estimación de puntos	Intervalo de confianza al 95%	
				Inferior	Superior
VAR00001	d de Cohen	10,28384	1,664	,971	2,339
	corrección de Hedges	10,71333	1,597	,932	2,245

a. El denominador utilizado en la estimación de tamaños del efecto. La d de Cohen utiliza la desviación estándar de muestra. La corrección de Hedges utiliza la desviación estándar de muestra, más un factor de corrección.

VIDA MEDIA

Prueba T

Estadísticas para una muestra

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
VAR00002	20	6,8715	5,09026	1,13822

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 16

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
VAR00002	-8,020	19	<,001	-9,12850	-11,5108	-6,7462

Tamaños de efecto de una muestra

VAR00002		Standardizer ^a	Estimación de puntos	Intervalo de confianza al 95%	
				Inferior	Superior
	d de Cohen	5,09026	-1,793	-2,500	-1,069
	corrección de Hedges	5,30285	-1,721	-2,400	-1,026

a. El denominador utilizado en la estimación de tamaños del efecto.

La d de Cohen utiliza la desviación estándar de muestra.

La corrección de Hedges utiliza la desviación estándar de muestra, más un factor de corrección.

EXPANSIÓN

“CON EL USO DE CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO 60-85”

En cuanto a los ensayos para el asfalto modificado 60-85 se siguió el mismo procedimiento que para el asfalto convencional a diferencia que en este caso se trabajó con temperaturas desde 150, 160, 170, 180, 190, 200, y 210 °C.

Se obtuvo los siguientes resultados para cada temperatura de la relación de expansión versus la vida media:

Tabla 3.25: 1er ensayo a una temperatura de 150 °C a.m.

Peso del asfalto (gr)	50					
Vol. inicial de asfalto (cm ³)	50					
% agua	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
Vol. agua (ml)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	Especific.
Vida media (seg)	59,02	58,31	57,27	56,4	56,01	>15
Vol. final de asfalto (cm ³)	77,00	82,51	88,00	96,25	101,75	
Relación expansión	1,54	1,65	1,76	1,93	2,04	12 a 20

Gráfico 3.8: Relación de expansión vs vida media a 150 °C asfalto modificado

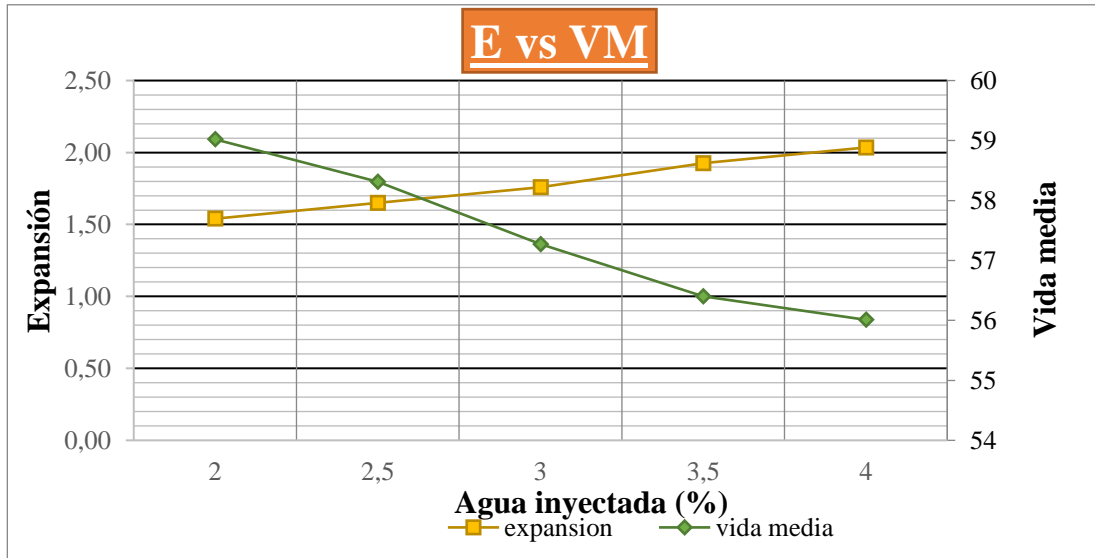


Tabla 3.26: 2do ensayo a una temperatura de 160 °C a.m.

Peso del asfalto (gr)	50					
Vol. inicial de asfalto (cm ³)	50					
% agua	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
Vol. agua (ml)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	Especific.
Vida media (seg)	54,93	53,04	51,79	51,21	50,06	>15
Vol. final de asfalto (cm ³)	99,00	118,25	132,00	166,11	223,32	
Relación expansión	1,98	2,37	2,64	3,32	4,47	12 a 20

Gráfico 3.9: Relación de expansión vs vida media a 160 °C asfalto modificado

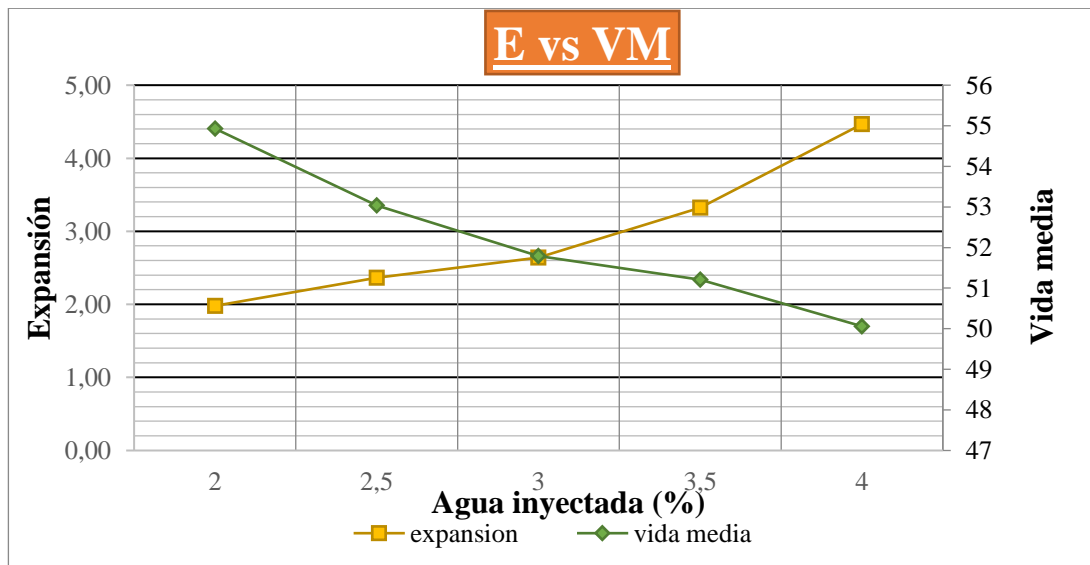


Tabla 3.27: 3er ensayo a una temperatura de 170 °C a.m.

Peso del asfalto (gr)	50					
Vol. inicial de asfalto (cm ³)	50					
% agua	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
Vol. agua (ml)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	Especific.
Vida media (seg)	55,20	54,15	53,81	44,36	42,54	>15
Vol. final de asfalto (cm ³)	93,51	107,25	121,00	126,52	137,57	
Relación expansión	1,87	2,15	2,42	2,53	2,75	12 a 20

Gráfico 3.10: Relación de expansión vs vida media a 170 °C asfalto modificado

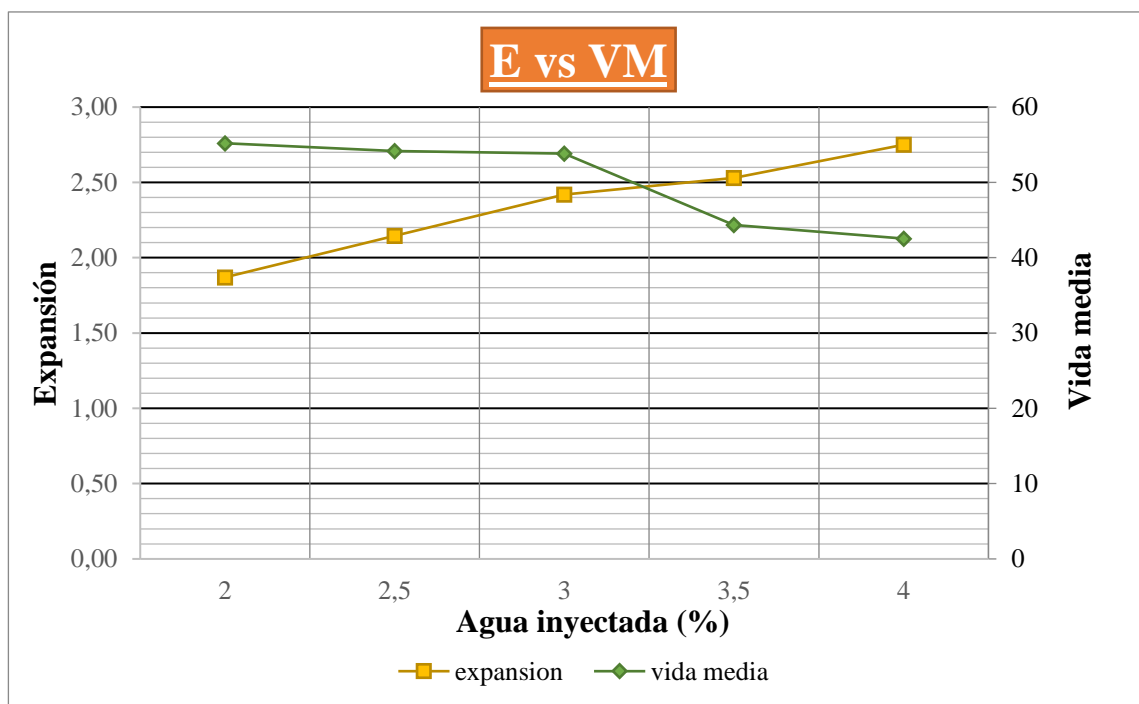


Tabla 3.28: 4to ensayo a una temperatura de 180 °C a.m.

Peso del asfalto (gr)	50					
Vol. inicial de asfalto (cm ³)	50					
% agua	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
Vol. agua (ml)	1,00	1,25	1,50	1,70	2,00	Especific.
Vida media (seg)	46,27	45,28	44,39	43,00	40,00	>15
Vol. final de asfalto (cm ³)	93,55	99,81	107,25	166,14	194,72	
Relación expansión	1,87	1,98	2,15	3,32	3,89	12 a 20

Gráfico 3.11: Relación de expansión vs vida media a 180 °C asfalto modificado

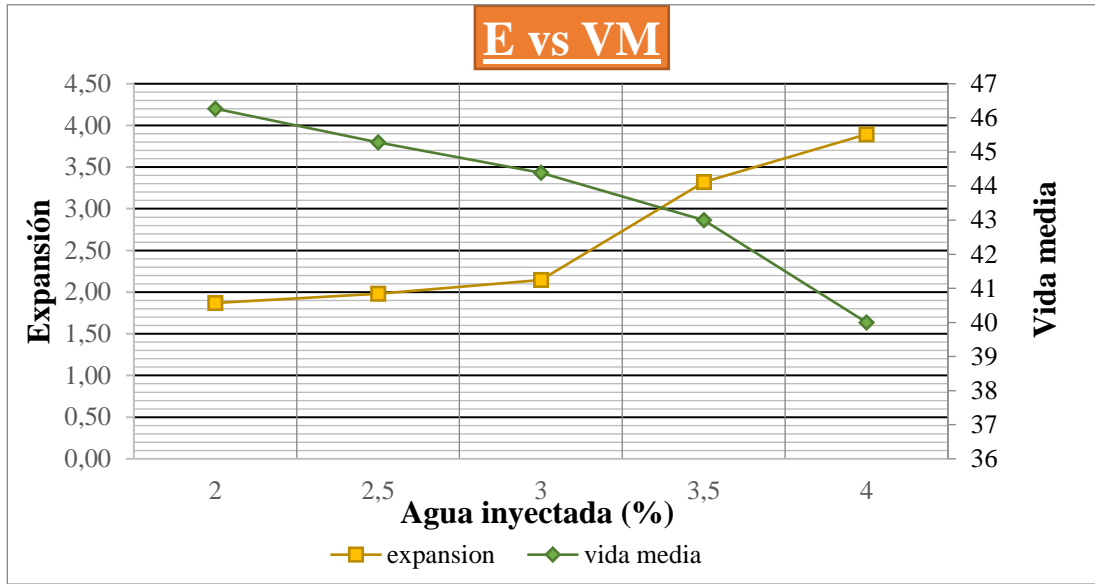


Tabla 3.29: 5to ensayo a una temperatura de 190 °C a.m.

Peso del asfalto (gr)	50					
Vol. inicial de asfalto (cm ³)	50					
% agua	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
Vol. agua (ml)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	Especific.
Vida media (seg)	34,64	32,90	21,88	20,38	14,99	>15
Vol. final de asfalto (cm ³)	115,50	394,91	452,11	480,75	537,91	
Relación expansión	2,31	7,90	9,04	9,61	10,76	12 a 20

Gráfico 3.12: Relación de expansión vs vida media a 190 °C asfalto modificado

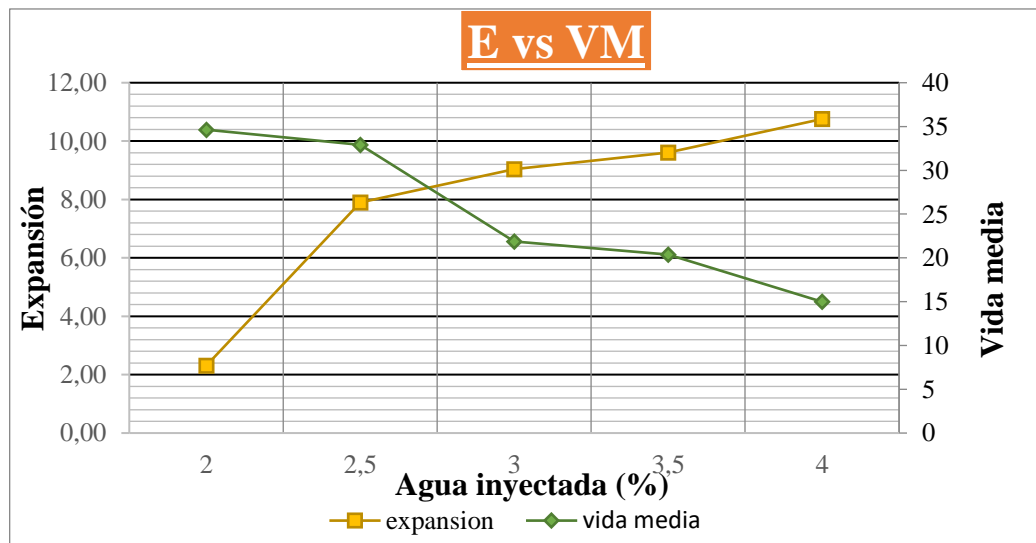


Tabla 3.30: 6to ensayo a una temperatura de 200 °C a.m.

Peso del asfalto (gr)	50					
Vol. inicial de asfalto (cm ³)	50					
% agua	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
Vol. agua (ml)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	Especific.
Vida media (seg)	24,30	18,40	17,59	15,93	15,11	>15
Vol. final de asfalto (cm ³)	143,37	148,54	154,02	159,57	176,00	
Relación expansión	2,86	2,97	3,08	3,19	3,52	12 a 20

Gráfico 3.13: Relación de expansión vs vida media a 200 °C asfalto modificado

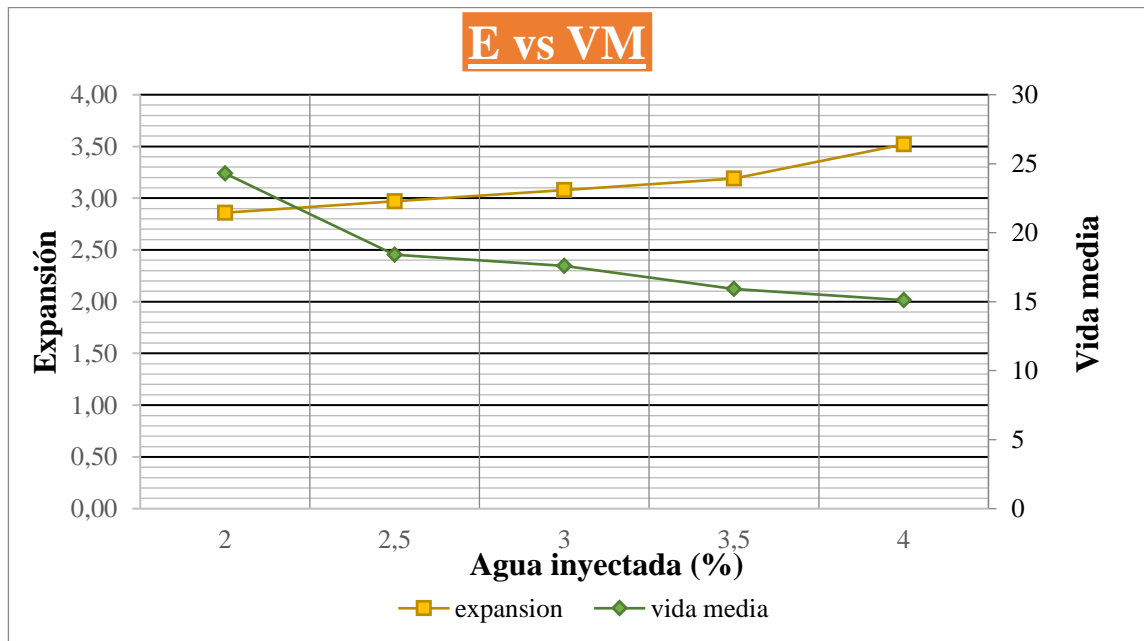
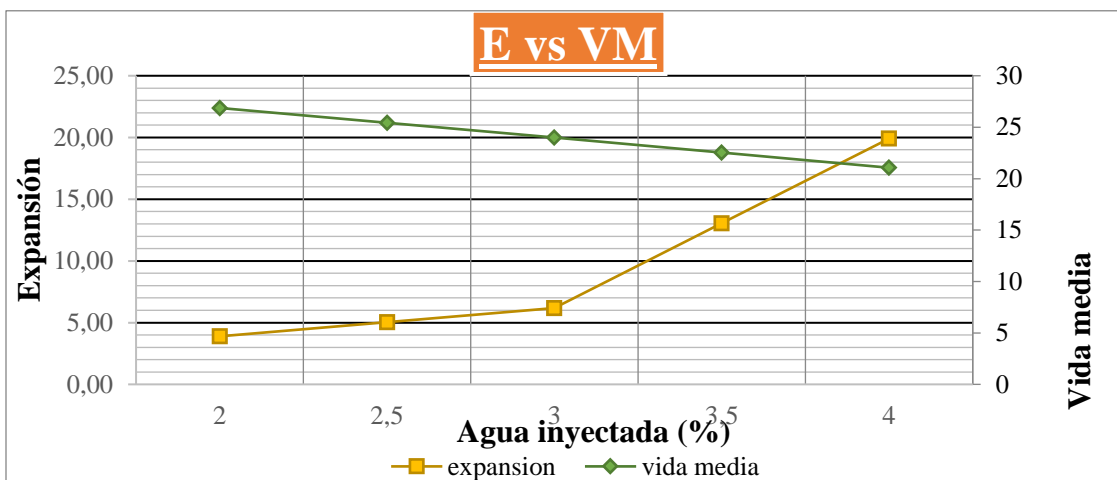


Tabla 3.31: 7mo ensayo a una temperatura de 210 °C a.m.

Peso del asfalto (gr)	50					
Vol. inicial de asfalto (cm ³)	50					
% agua	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
Vol. agua (ml)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	Especific.
Vida media (seg)	26,87	25,43	23,99	22,53	21,06	>15
Vol. final de asfalto (cm ³)	194,73	251,90	309,10	652,30	995,51	
Relación expansión	3,89	5,04	6,18	13,05	19,91	12 a 20

Gráfico 3.14: Relación de expansión vs vida media a 210 °C asfalto modificado



Nótese que hay una columna de resaltada de color amarillo opaco la cual muestra el porcentaje de agua a añadir para el efecto espumado siendo este el valor en donde se presenta la mayor vida media. De la misma manera representa la columna resaltada con naranja bajo pero con un menor tiempo de vida.

CONFIABILIDAD DE DATOS (Aplicación de programa IBM SPSS Statistics)

Fiabilidad

Escala: ALL VARIABLES

Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	5	100,0
	Excluido ^a	0	,0
	Total	5	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,905	7

VIDA MEDIA

Fiabilidad

Escala: ALL VARIABLES

Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	5	100,0
	Excluido ^a	0	,0
	Total	5	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,693	7

EXPANSIÓN

VALIDEZ DE DATOS

Prueba T

Estadísticas para una muestra

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
VAR00003	35	38,6583	15,43129	2,60836

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 15

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
VAR00003	9,070	34	<,001	23,65829	18,3575	28,9591

Tamaños de efecto de una muestra

		Standardizer ^a	Estimación de puntos	Intervalo de confianza al 95%	
				Inferior	Superior
VAR00003	d de Cohen	15,43129	1,533	1,036	2,019
	corrección de Hedges	15,78245	1,499	1,013	1,974

a. El denominador utilizado en la estimación de tamaños del efecto.
La d de Cohen utiliza la desviación estándar de muestra.
La corrección de Hedges utiliza la desviación estándar de muestra, más un factor de corrección.

VIDA MEDIA

Prueba T

Estadísticas para una muestra

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
VAR00004	35	4,3411	3,91909	,66245

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 16

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
VAR00004	-17,600	34	<,001	-11,65886	-13,0051	-10,3126

Tamaños de efecto de una muestra

		Standardizer ^a	Estimación de puntos	Intervalo de confianza al 95%	
				Inferior	Superior
VAR00004	d de Cohen	3,91909	-2,975	-3,748	-2,192
	corrección de Hedges	4,00828	-2,909	-3,665	-2,144

a. El denominador utilizado en la estimación de tamaños del efecto.

La d de Cohen utiliza la desviación estándar de muestra.

La corrección de Hedges utiliza la desviación estándar de muestra, más un factor de corrección.

EXPANSIÓN

3.4 CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

Como esta mezcla es necesaria para tener una base de referencia con la cual comparar los cambios sucedidos al diseñar una mezcla con asfalto espumado, es que se realizó su diseño.

3.4.1 Determinación del contenido mínimo de asfalto por en procedimiento del área superficial

El método se basa en la estimación de la superficie de los agregados pétreos por cada kilogramo de material de los tamices de 1 ½”, ¾”, n°4, n°40, n°200 y la base de acuerdo a la tabla 3.32.

Tabla 3.32: Constantes de área correspondientes al material retenido

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

Al igual que se basa en el índice asfáltico (ver tabla 3.33), identificado por el tipo de material pétreo y su porcentaje de absorción.

Tabla 3.33: Índice asfáltico

Índice asfáltico			
Material pétreo	Absorción	Absorción	Absorción
		0,0 a 2,5 %	2,6 a 5,0 %
Redondeados	0,0055	0,0065	0,0075
Sub angulosas	0,0065	0,0075	0,0085
Angulosas	0,0075	0,0085	0,0100

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

- Una vez realizada la granulometría de los agregados se puede obtener los porcentajes de cada tamiz correspondiente a la tabla anterior y multiplicar por su constante de área, para alcanzar sus superficies por cada kg de material.
- Luego se sumó las superficies y multiplicó el resultado por el índice asfáltico que en este caso fue 0,0075 por ser de baja absorción.

Se obtuvo un valor de 3,5 % como contenido mínimo de acuerdo a la granulometría presentada para el diseño de la mezcla.

Tabla 3.34: Contenido mínimo de asfalto

Contenido mínimo de asfalto				
Material que retiene	Constante de área (m ² / kg)	Material retenido (%)		Superficie de agregado por kilogramo de material (m ² /kg)
		(%)	Unidad	
3/4"	0,27	0,3936	0,003936	0,00106272
N° 4	0,41	37,8496	0,378496	0,15518336
N° 40	2,05	46,3420	0,463420	0,95001100
N° 200	15,38	13,4084	0,134084	2,06221192
Base	53,30	2,0064	0,020064	1,06941120
		100 %	1	↓
		Suma		4,6378802
		I.A.		0,0075
		Contenido min. de asfalto		3,50%

3.4.2 Determinación del número de muestras

Mediante el ensayo Marshall se debe seguir lo siguiente: A modo de obtener curvas que muestren un valor optimo bien definido se realizaron 6 promedios por cada 3 briquetas de prueba con rangos desde 2,5 % a 5,5 % con un incremento de 0,5 %. Pues en base al contenido mínimo de asfalto encontrado se debe tomar de uno a dos valores por debajo del encontrado y dos a mas valores por encima, que vayan en incremento y descenso de 0,5 %.

Dándonos un total de 36 briquetas como referencia para el ensayo Marshall, 18 de ellas para cada uno de los asfaltos mencionados anteriormente.

3.4.3 Diseño granulométrico- método Marshall (ASTM D-3515)

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

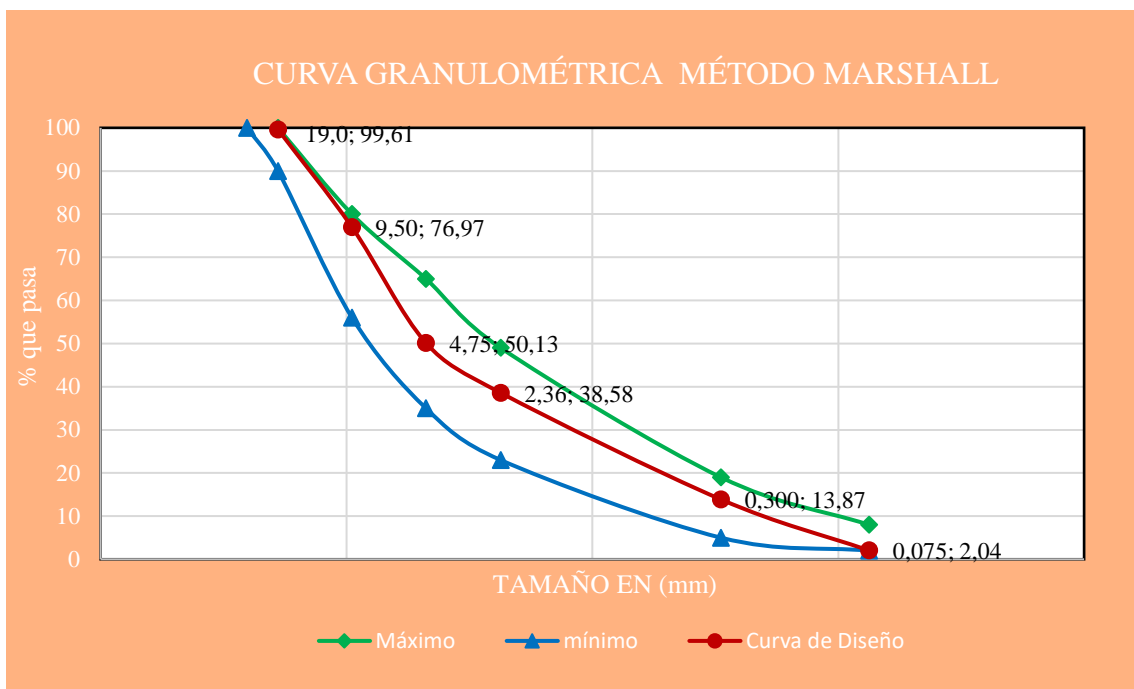
Se fue haciendo variar los valores de dosificación poco a poco de manera de buscar los valores que cumplan con la especificación impuesta por la norma. No dejando de lado el hecho que para producir una buena mezcla esta debe contener un mayor porcentaje de

material fino, un medio de la grava y el menor correspondiente a la gravilla. Determinando un 27 % de grava, un 25 % de gravilla y un 48 % de arena.

Tabla 3.35: Curva de dosificación ASTM

Curva de dosificación					
Tamices	Tamaño	Peso ret.	Ret. acum	% ret	% que pasa
	(mm)	gr	gr	%	del total
1"	25,40	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,00	19,7	19,7	0,4	99,6
1/2"	12,50	756,5	776,3	15,5	84,5
3/8"	9,50	375,2	1151,5	23,0	77,0
N°4	4,75	1341,9	2493,4	49,9	50,1
N°8	2,36	577,8	3071,2	61,4	38,6
N°16	1,18	240,8	3312,0	66,2	33,7
N°30	0,60	417,7	3729,7	74,6	25,4
N°50	0,30	576,6	4306,3	86,1	13,9
N°100	0,15	485,6	4791,9	95,9	4,1
N°200	0,07	105,8	4897,7	97,9	2,0
Base	-	102,2	5000,0	100,0	0,0
		5000,0			

Gráfico 3.15: 'Curva de diseño granulométrico - método Marshall '(ASTM D 3515)



Dosificación según diseño granulométrico

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

Tabla 3.36: Dosificación mezcla asfáltica

	Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla					
	3,0%	3,5%	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%
Porcentaje de agregado (%)	97,00%	96,50%	96,00%	95,50%	95,00%	94,50%
Peso del cemento asfáltico (gr)	36,00	42,00	48,00	54,00	60,00	66,00
Peso de grava (gr)	314,28	312,66	311,04	309,42	307,80	306,18
Peso de gravilla (gr)	291,00	289,50	288,00	286,50	285,00	283,50
Peso de arena (gr)	558,72	555,84	552,96	550,08	547,20	544,32
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

3.5 CARACTERÍSTICAS MARSHALL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL CON CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL 85-100

Tabla 3.37: Planilla Marshall con asfalto convencional

Planilla método Marshall																						
Para el contenido óptimo de cemento asfáltico																						
Tipo de ligante: Cemento asfáltico Betunel 85/100				Procedencia :Brasil				Procedencia del agregado: SE.DE.CA. (planta El Molino)					Fecha: Noviembre 2020									
Granulometría formada		P. específico		% agregado				Tipo de cemento asfáltico: convencional		85/100				Agregado		P.E.		%				
Mat. retenido tamiz N° 4		2,72		38,24				Número de golpes por cara		75				Grava		2,71		27				
Mat. pasa tamiz N° 4		2,67		61,76				Temperatura de mezclado (°C)		160				Gravilla		2,74		25				
Peso específico Total		2,69		100				Peso específico del ligante AASHTO T-229 (gr/cm3)		1,0140				Arena		2,67		48				
N° de probeta	% de asfalto		de altura promedio de probeta	Peso briqueta			Volumen	Densidad briqueta			% de vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia			
	Base mezcla	Base agregados		Seco	Sat. sup. seca	Sumergida en agua		Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio		
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	mm	grs	-	grs	grs	0,01 cm	0,01 cm	
1			6,01	1178,6	1182,5	675	507,5	2,32														
2	3,00	3,09	5,98	1175,8	1179,4	673	506,4	2,32	2,32	2,56	9,38	16,24	42,25	637	769745,62	1,11	853696,43	987469,78	30,48	35,56		
3			6,00	1177,6	1178,8	670	508,8	2,31						803	972501,25	1,10	1072717,86		40,64			
4			5,96	1179,8	1180,1	685	495,1	2,38						895	1084992,06	1,12	1209684,50		27,94			
5	3,50	3,63	6,00	1184,4	1186,9	680	506,9	2,34	2,35	2,54	7,38	15,49	52,37	879	1065487,61	1,10	1175107,19	1176617,65	27,94	30,48		
6			6,00	1186,6	1188,5	680	508,5	2,33						857	1038725,68	1,10	1145469,49		35,56			
7			5,90	1179,9	1181,2	689	492,2	2,40						996	1208369,09	1,13	1370192,57		25,40			
8	4,00	4,17	6,03	1200,9	1204,7	681	523,7	2,29	2,35	2,52	6,60	15,87	58,42	1025	1243749,26	1,09	1359369,86	1362136,78	27,94	27,10		
9			5,91	1181,6	1182,1	682	500,1	2,36						989	1199750,84	1,13	1356897,79		27,94			
10			6,03	1191,2	1192,4	697	495,4	2,40						1395	1695526,90	1,09	1853327,02		30,48			
11	4,50	4,71	5,96	1172,7	1174,5	695	479,5	2,45	2,39	2,50	4,30	14,90	71,12	948	1149855,72	1,12	1281864,60	1462834,20	25,40	26,24		
12			6,09	1201,2	1203,7	685	518,7	2,32						962	1166638,62	1,07	1253093,26		22,86			
13			6,01	1191,2	1191,3	700	491,3	2,42						1151	1397516,95	1,01	1410181,24		22,86			
14	5,00	5,26	6,10	1211,0	1215,8	699	516,8	2,34	2,40	2,48	3,09	14,92	79,26	1420	1726371,15	1,07	1848727,59	1726371,15	25,40	25,40		
15			6,06	1198,4	1199,6	706	493,6	2,43						1457	1771276,76	1,08	1920154,73		27,94			
16			6,00	1204,5	1205,5	680	525,5	2,29						1110	1347621,83	1,10	1486321,19		22,86			
17	5,50	5,82	5,94	1180,0	1181,1	697	484,1	2,44	2,37	2,45	3,44	16,30	78,87	1049	1273232,74	1,12	1427054,86	1539037,66	25,40	24,56		
18			6,00	1191,9	1192,8	692	500,8	2,38						1271	1544027,17	1,10	1703224,35		25,40			
Especificaciones			Mínimo									3	13	75						816465,6		20,32
			Máximo									5	-	82						-		40,64

3.5.1 Curvas método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico

Gráfico 3.16: Densidad vs % C.A. asfalto convencional

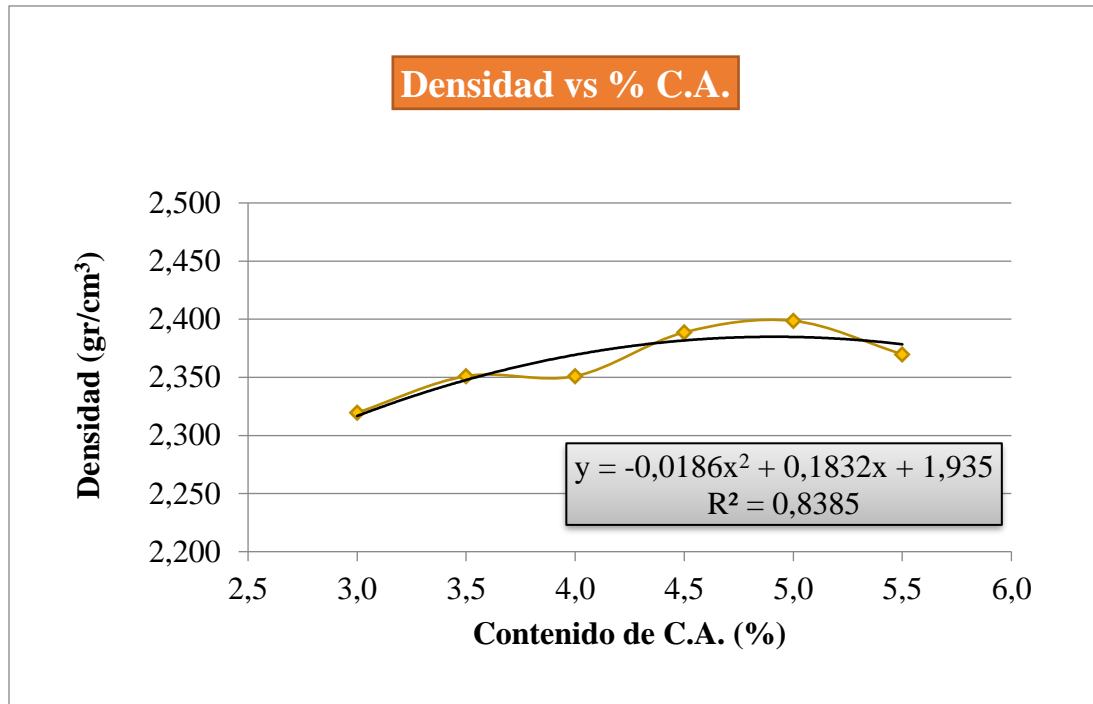


Gráfico 3.17: Estabilidad vs % C.A. asfalto convencional

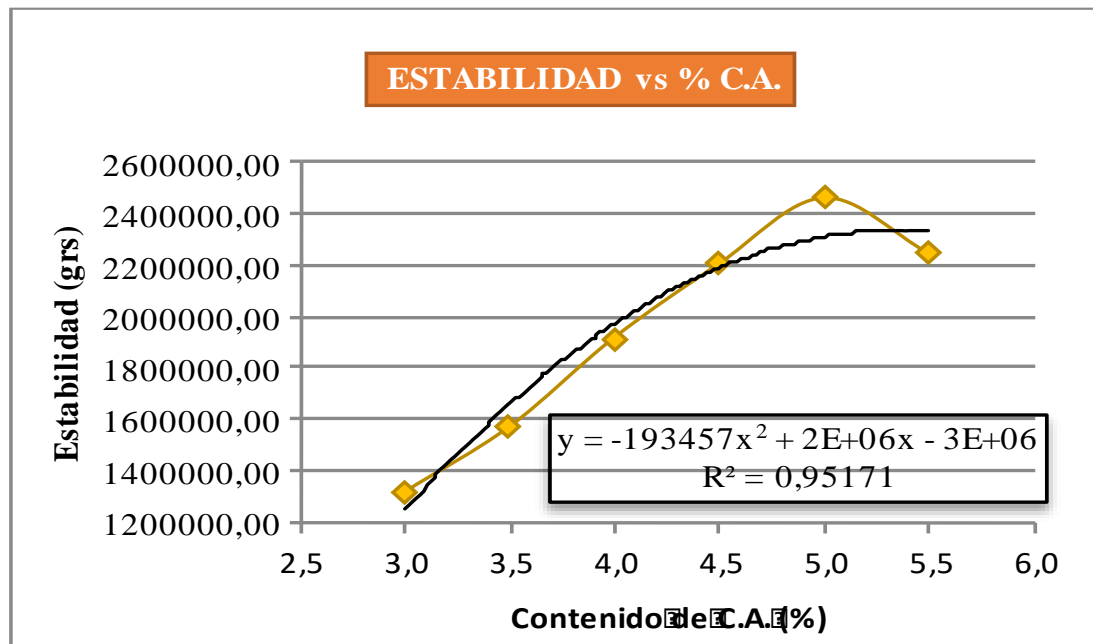


Gráfico 3.18: Fluencia vs % C.A. asfalto convencional

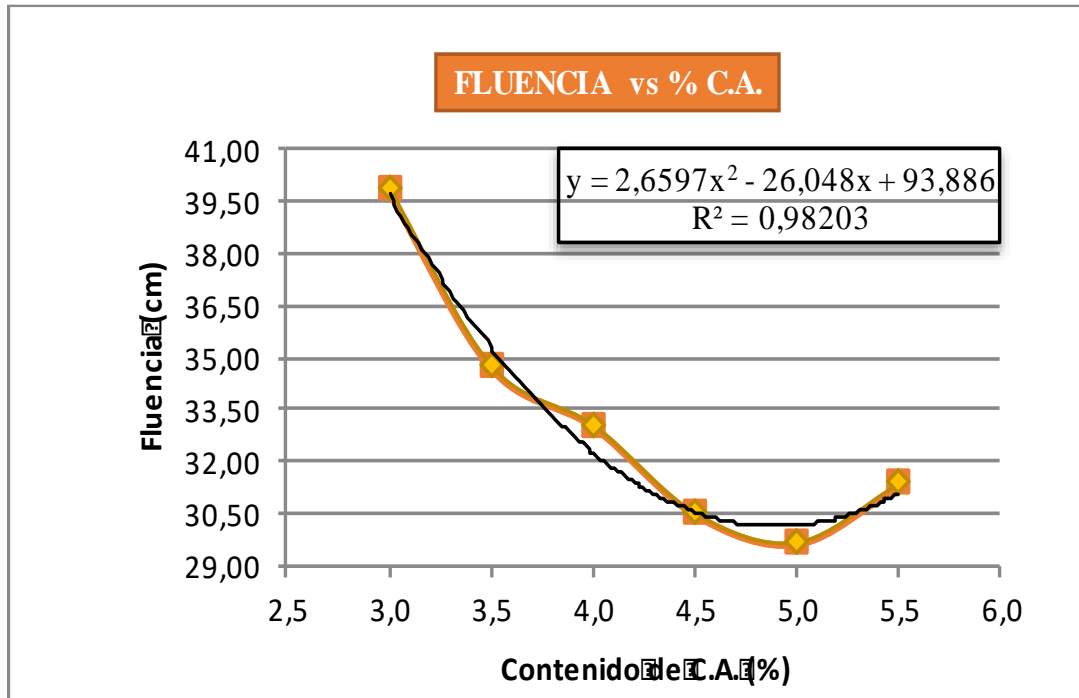


Gráfico 3.19: V.A.M vs % C.A. asfalto convencional

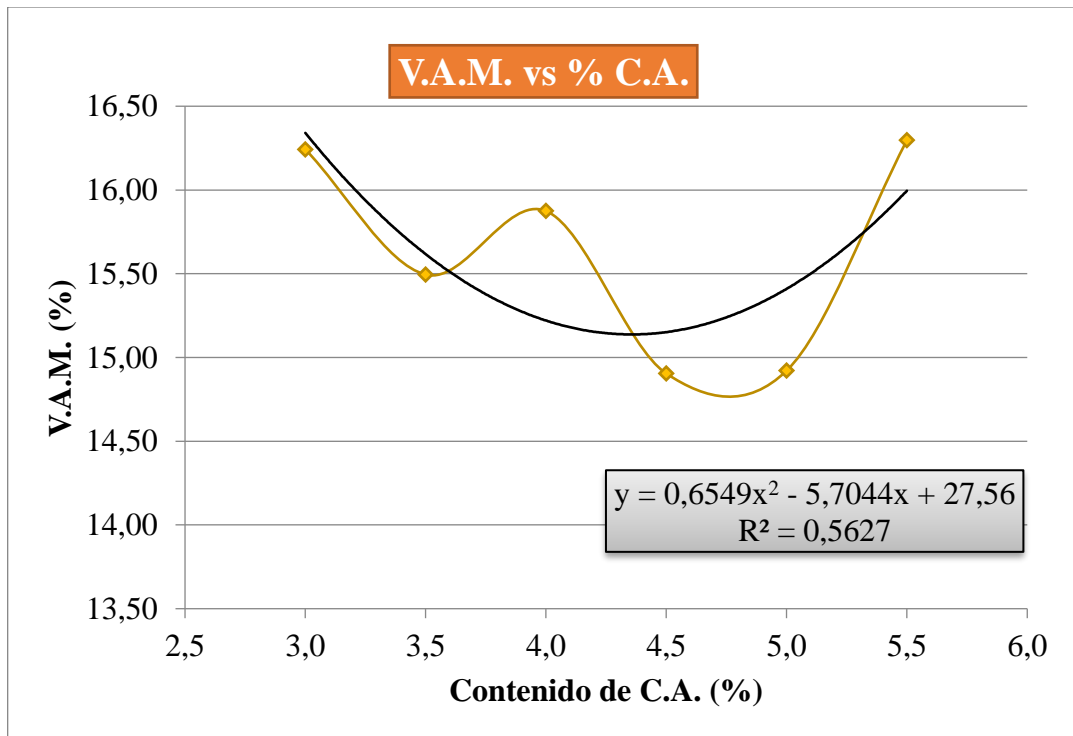


Gráfico 3.20: R.B.V. vs % C.A. asfalto convencional

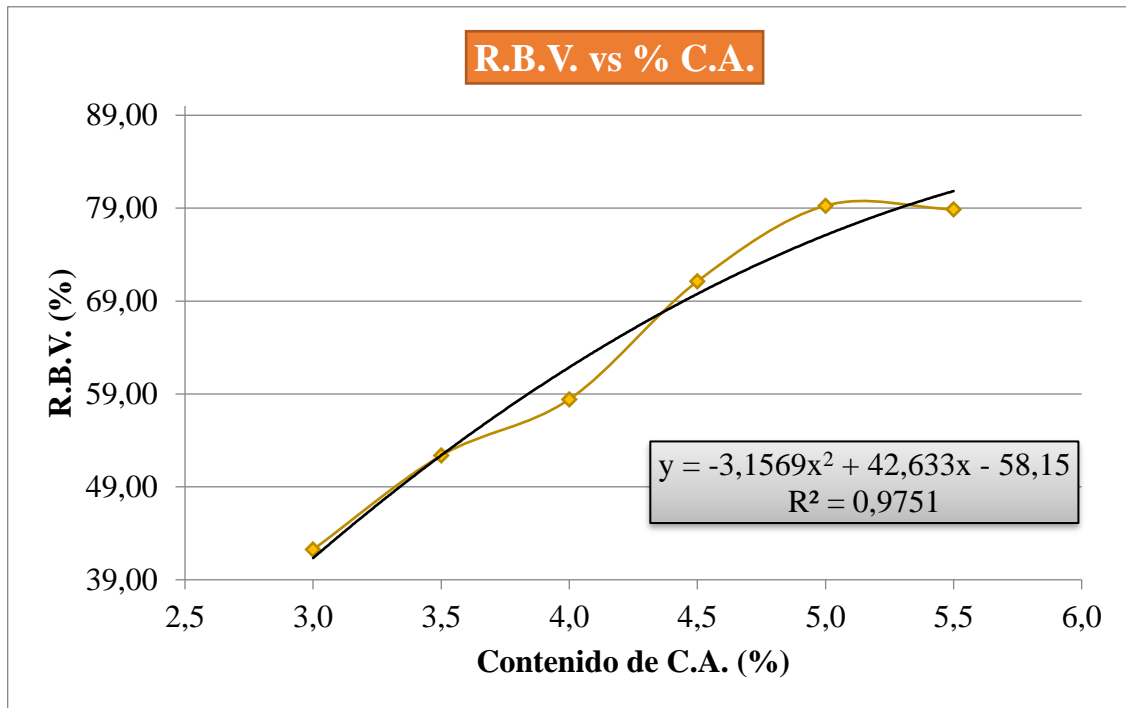
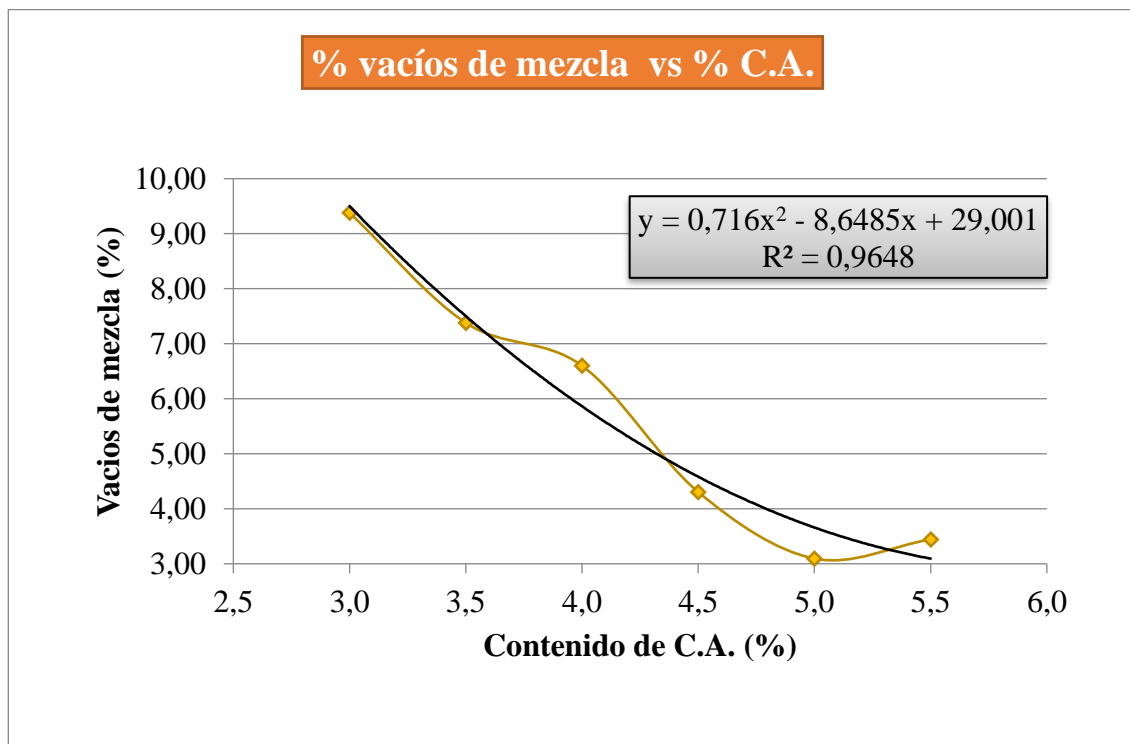


Gráfico 3.21: % vacíos mezcla vs % C.A. asfalto convencional



3.5.2 Resumen de las características Marshall

En la siguiente tabla 3.38 se refleja el contenido óptimo de cemento asfáltico convencional 85-100 obtenido a partir del ensayo Marshall, mediante la prueba de 18 briquetas se consideraron los resultados de las curvas correspondientes a estabilidad, densidad y vacíos de la mezcla en los cuales se determina el contenido de asfalto para conseguir, estabilidad máxima, densidad máxima y el valor promedio de los contenidos de asfalto, siendo así el contenido óptimo de asfalto el promedio numérico de los contenidos de asfalto indicados anteriormente.

Tabla 3.38 : Porcentaje óptimo de asfalto convencional

	Ensayo	Valor de diseño	% de C.A.
Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	Estabilidad Marshall (grs)	1605239,41	5,40
	Densidad máxima (gr/cm ³)	2,39	4,92
	Vacíos de la mezcla (%)	4,00	4,75
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%) =	5,02

Tabla 3.39: Resumen características Marshall con asfalto convencional

Resumen características Marshall	Densidad (gr/cm ³)	2,386
	Estabilidad (grs)	1589287,03
	Fluencia (cm)	24,79
	Vacíos de la mezcla (%)	3,629
	R.B.V.	76,310
	V.A.M.	15,428

3.6 CARACTERÍSTICAS MARSHALL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL CON CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO 60-85

Tabla 3.40: Planilla Marshall con asfalto modificado

Planilla método Marshall																						
Para el contenido óptimo de cemento asfáltico																						
Ligante: Cemento asfáltico Betuflex 60/85				Procedencia :Brasil				Procedencia del agregado: SE.DE.CA. (planta El Molino)				Fecha: Noviembre/ 2020										
Granulometría formada		P. específico		% agregado		Tipo de cemento asfáltico: convencional		60/85		Agregado		P.E.		%								
Mat. retenido tamiz N° 4		2,72		38,24		Número de golpes por cara		75		Grava		2,71		27								
Mat. pasa tamiz N° 4		2,67		61,76		Temperatura de mezclado (°C)		160		Gravilla		2,74		25								
Peso específico Total		2,69		100		Peso específico del ligante AASHTO T -229 (gr/cm3)		1,0370		Arena		2,67		48								
N° de probeta	% de asfalto		Peso briqueta	Volumen	Densidad briqueta			% de vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia						
	Base mezcla	Base agregados			Seco	Sat. sup. Seca	Sumergida en agua	Probeta	Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de Vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregados mineral)	R.B.V. (relacion betumen)	Lectura del dial	Carga	Factor de corrección	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio	
	%	%			grs.	grs.	grs.	cm³	grs/cm³	grs/cm3	grs/cm³	%	%	%	mm	grs	-	grs	grs	0,01 cm	0,01 cm	
1			5,99	1183,0	1183,7	672	511,7	2,31						995	1207008,31	1,11	1335007,44		55,88			
2	3,00	3,09	6,10	1138,4	1139,5	673	466,5	2,44	2,36	2,56	7,85	14,68	46,56	997	1209729,86	1,07	1295377,11	1316323,98	35,56	39,80		
3			6,14	1165,5	1166,8	668	498,8	2,34						1026	1245110,04	1,06	1318374,22		27,94			
4			5,95	1177,4	1179,8	680	499,8	2,36						1243	1510007,77	1,12	1688151,49		40,64			
5	3,50	3,63	6,00	1154,6	1155,9	683	472,9	2,44	2,38	2,54	6,41	14,45	55,61	1190	1445144,11	1,10	1594099,19	1570335,50	35,56	34,72		
6			6,05	1170,0	1174,2	675	499,2	2,34						1083	1314509,62	1,09	1428910,05		27,94			
7			6,15	1176,1	1176,9	689	487,9	2,41						1472	1789874,03	1,06	1889904,68		40,64			
8	4,00	4,17	6,00	1165,4	1166,4	681	485,4	2,40	2,41	2,52	4,57	13,85	67,04	1340	1628395,28	1,10	1796183,50	1917786,98	30,48	33,02		
9			5,95	1179,8	1180,2	691	489,2	2,41						1521	1849748,18	1,12	2067780,78		27,94			
10			6,10	1163,6	1164,1	698	466,1	2,50						1780	2165901,80	1,07	2319664,95		30,48			
11	4,50	4,71	6,16	1195,4	1195,9	701	494,9	2,42	2,43	2,50	3,10	13,62	77,26	1661	2020752,36	1,05	2127623,17	2206271,49	22,86	30,48		
12			6,38	1215,6	1216,4	702	514,4	2,36						1798	2187674,22	0,99	2171462,84		38,10			
13			6,00	1204,4	1204,9	698	506,9	2,38						1587	1930033,96	1,10	2128952,20		30,48			
14	5,00	5,26	5,79	1157,7	1159,5	700	459,5	2,52	2,42	2,48	2,35	14,04	83,27	1915	2330555,70	1,17	2722350,32	2463458,15	35,56	29,64		
15			6,00	1201,0	1203,4	698	505,4	2,38						1891	2301525,81	1,10	2538514,02		22,86			
16			5,81	1156,7	1157,1	667	490,1	2,36						1687	2052503,80	1,16	2384764,48		38,10			
17	5,50	5,82	5,79	1141,4	1142,9	670	472,9	2,41	2,39	2,46	3,00	15,67	80,85	1550	1885128,35	1,17	2201626,71	2248001,95	25,40	31,32		
18			5,96	1193,3	1194,1	695	499,1	2,39						1591	1935023,47	1,12	2157564,78		30,48			
Especificaciones			Mínimo						3			13			75			816465,60			20,32	
			Máximo						5			-			82			-			40,64	

3.6.1 Curvas método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico

Gráfico 3.22: Densidad vs % C.A. asfalto modificado

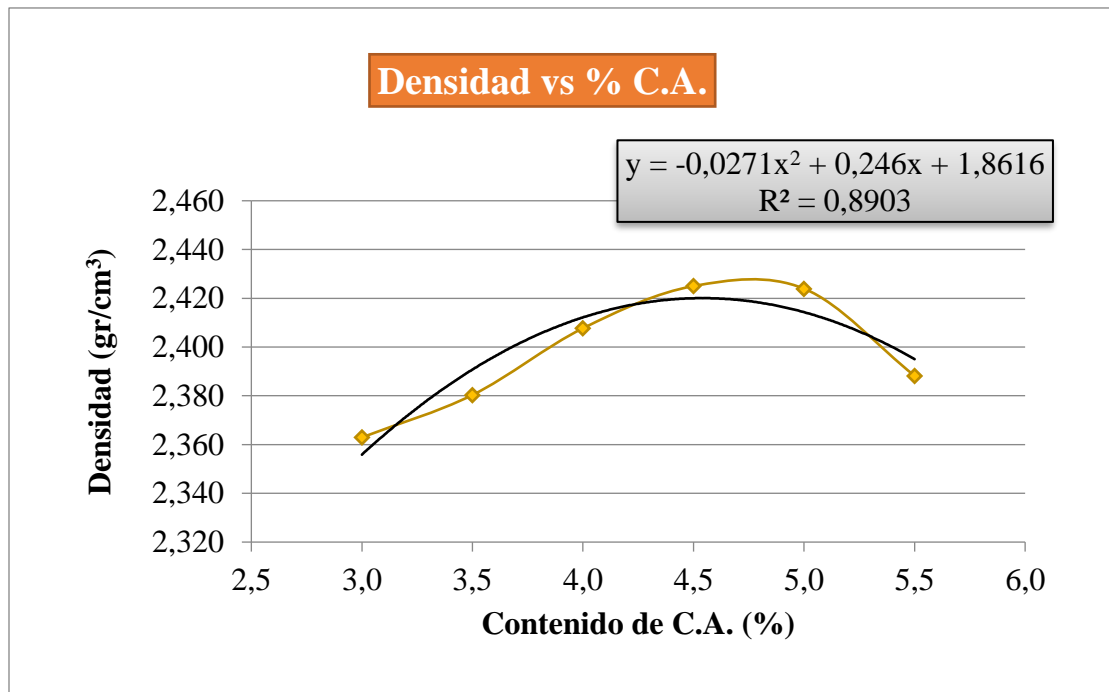


Gráfico 3.23: Estabilidad vs % C.A. asfalto modificado

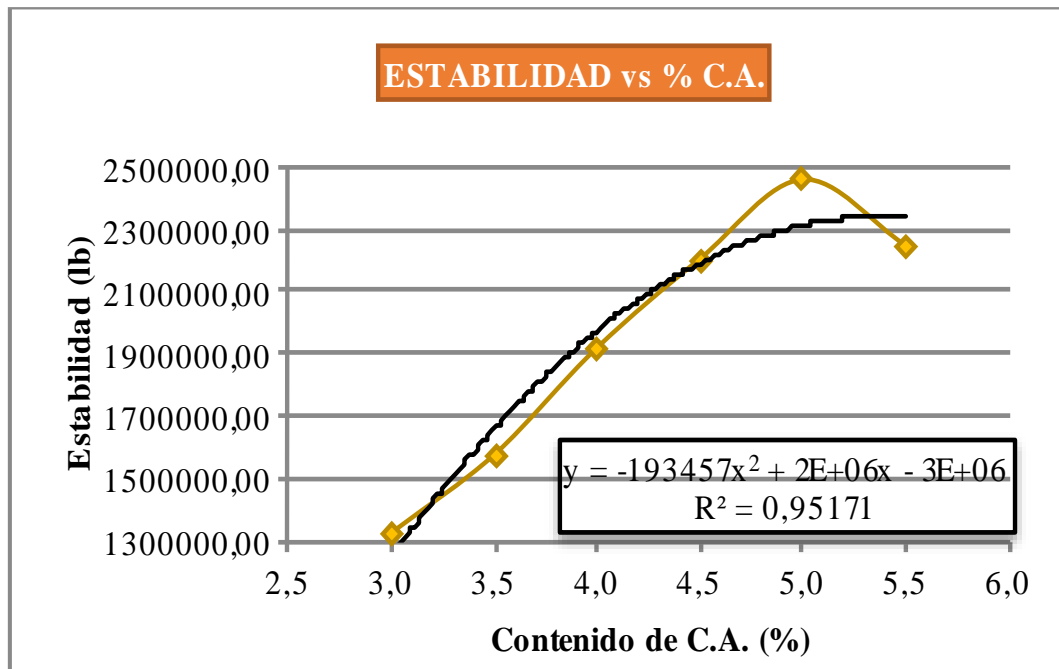


Gráfico 3.24: Fluencia vs % C.A. asfalto modificado

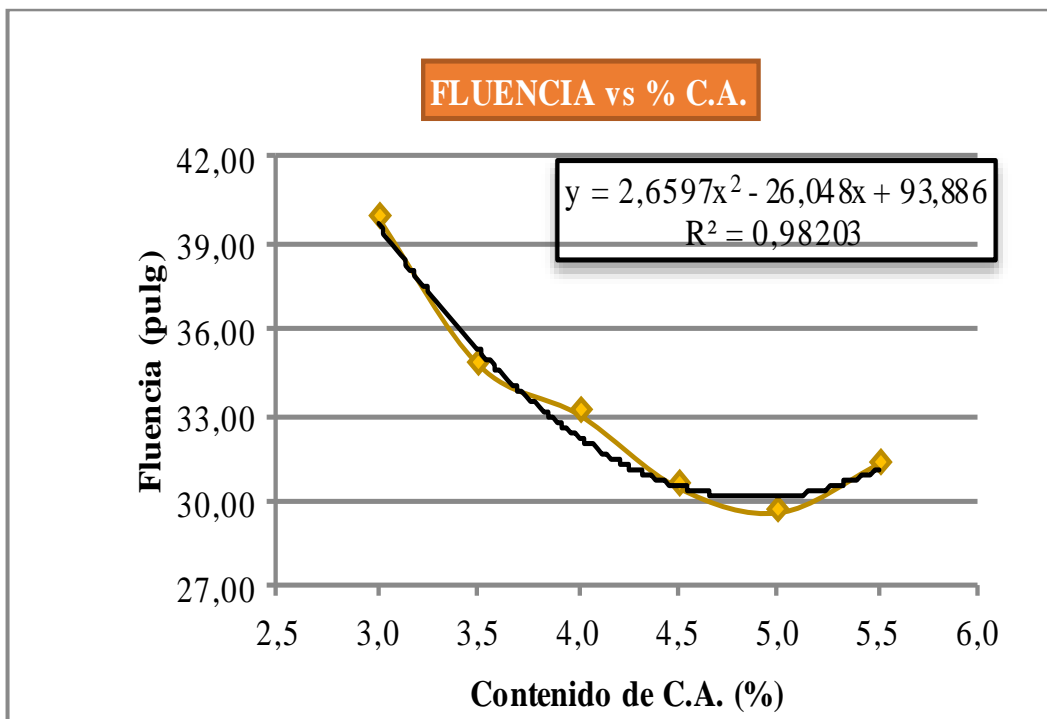


Gráfico 3.25: V.A.M vs % C.A. asfalto modificado

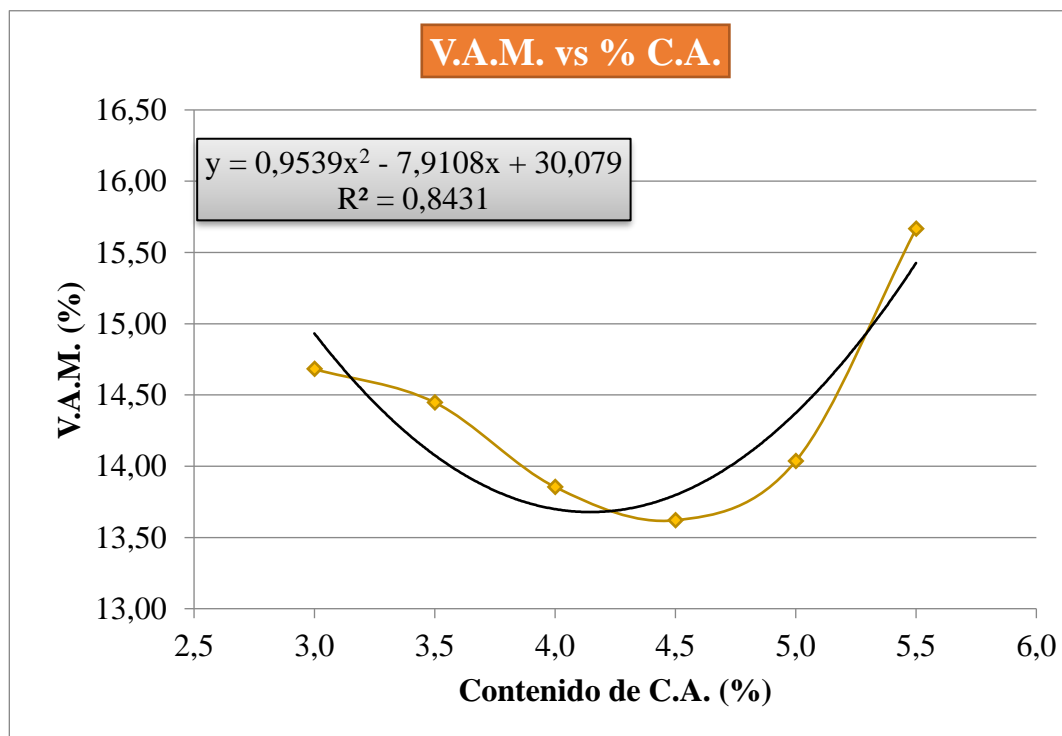


Gráfico 3.26: R.B.V. vs % C.A. asfalto modificado

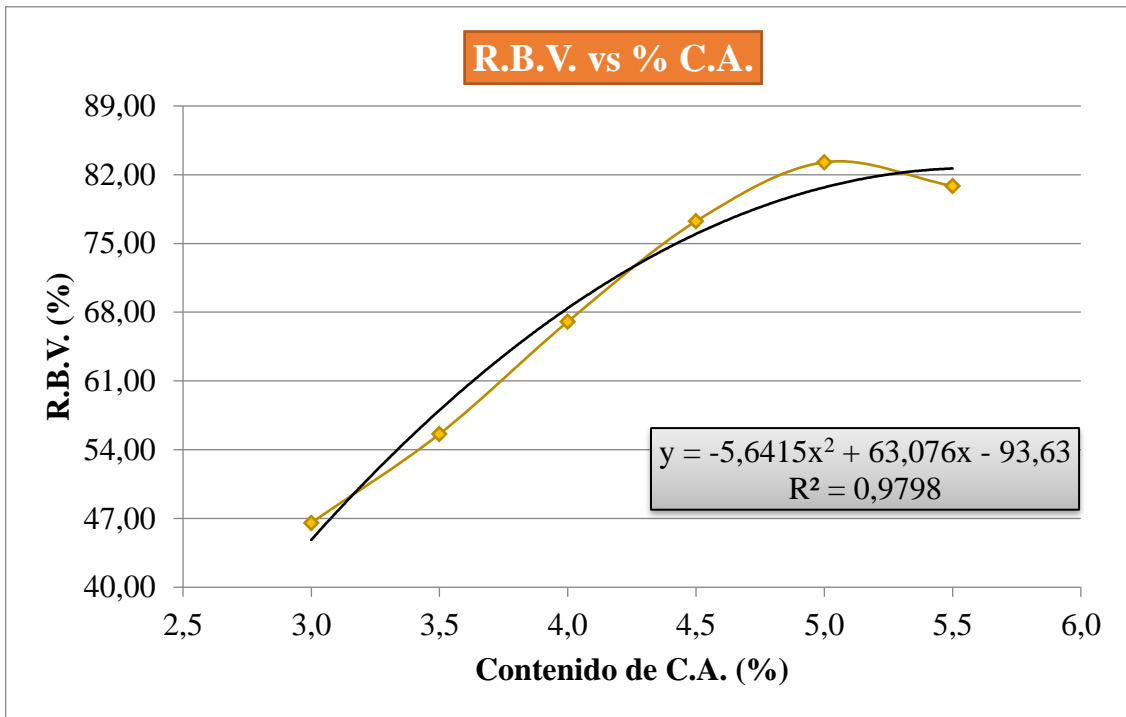
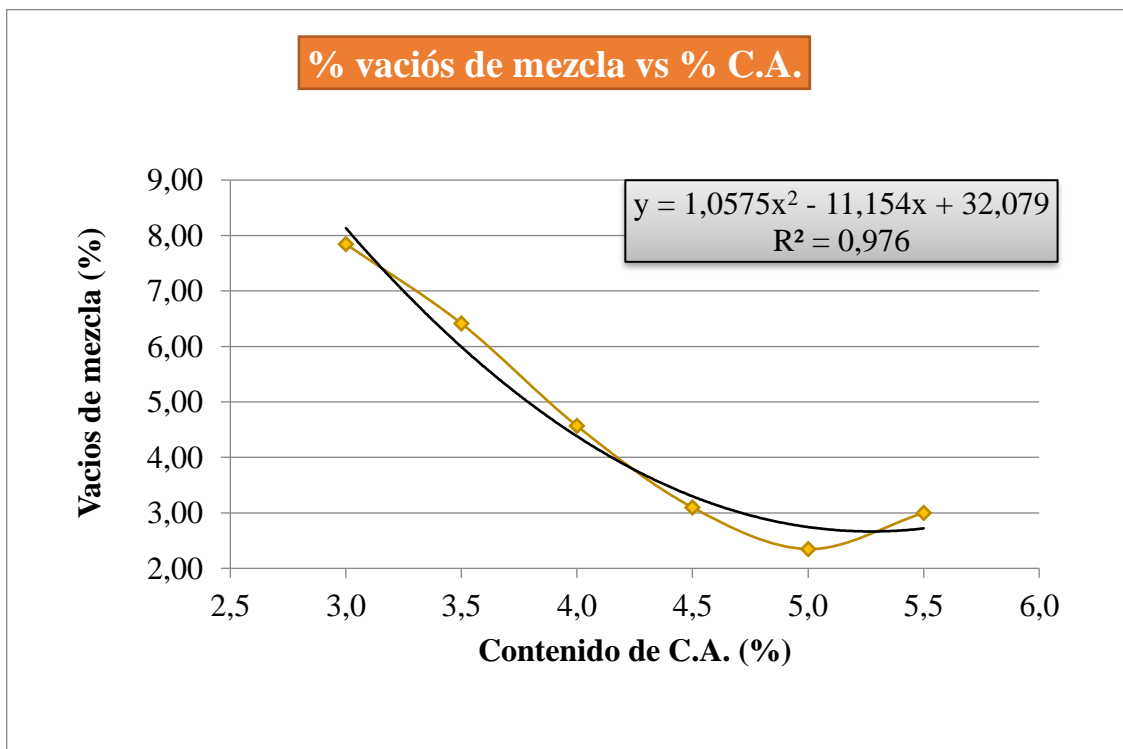


Gráfico 3.27: Vacíos mezcla vs % C.A. asfalto modificado



3.6.2 Resumen de las características Marshall

En la siguiente tabla 3.41 se refleja el contenido óptimo de cemento asfáltico modificado 65-85 obtenido a partir del ensayo Marshall mediante la prueba de 18 briquetas, se consideran los resultados de las curvas correspondientes a estabilidad, densidad y vacíos de la mezcla en los cuales se determina el contenido de asfalto para conseguir, estabilidad máxima, densidad máxima y el valor promedio de los contenidos de asfalto, siendo así el contenido óptimo de asfalto el promedio numérico de los contenidos de asfalto indicados anteriormente.

Tabla 3.41: Porcentaje óptimo de asfalto modificado

	Ensayo	Valor de diseño	% de C.A.
Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	Estabilidad Marshall (grs)	2340067,52	5,38
	Densidad máxima (gr/cm ³)	2,42	4,54
	Vacíos de la mezcla (%)	4,00	4,12
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%) =	4,68

Tabla 3.42: Resumen características Marshall con asfalto modificado

Resumen características Marshall	Densidad (gr/cm ³)	2,421
	Estabilidad (grs)	2246363,578
	Fluencia (cm)	30,236
	Vacíos de la mezcla (%)	3,040
	R.B.V.	78,003
	V.A.M.	13,949

3.7. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS CON CEMENTO ASFALTICO ESPUMADO UTILIZANDO EL ASFALTO CONVENCIONAL Y MODIFICADO

Para ambos asfaltos se trabajó con su respectivo contenido óptimo encontrado mediante el ensayo Marshall con anterioridad. Esto con el fin de poder diferenciar su comportamiento con la mezcla tradicional optando que ambas tengan las mismas condiciones básicas.

3.7.1. Con el asfalto convencional (85-100)

De los resultados de los ensayos Marshall para mezcla convencional se obtuvo el % de cemento asfáltico para la dosificación de la mezcla con asfalto espumado. Luego de realizadas la elaboración 18 briquetas, determinar las curvas de ensayo y la aplicación de los criterios recomendados por las normas se justifica el porcentaje usado para la dosificación en la aplicación de la metodología del asfalto espumado.

Tabla 3.43: Dosificación de la mezcla con cemento asfaltico espumado (85-100)

	Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla
	5,02%
Porcentaje de agregado (%)	94,98%
Peso del cemento asfáltico (gr)	60,24
Peso de grava (gr)	307,74
Peso de gravilla (gr)	284,94
Peso de arena (gr)	547,08
Peso total de la briketa (gr)	1200,00

3.7.2. Con el asfalto modificado 60-85

Para determinar el porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla del espumado con asfalto modificado se elaboraron 18 briquetas cuyos resultados arrojaron el % óptimo, mismo que se aplicó para la dosificación, luego de realizadas las curvas del ensayo correspondientes. Siendo esta la manera correcta de seguir el lineamiento de investigación sobre el asfalto espumado.

Tabla 3.44: Dosificación de la mezcla con cemento asfáltico espumado (85-100)

	Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla
	4,68%
Porcentaje de agregado (%)	95,32%
Peso del cemento asfáltico (gr)	56,16
Peso de grava (gr)	308,84
Peso de gravilla (gr)	285,96
Peso de arena (gr)	549,04
Peso total de la briketa (gr)	1200,00

3.8 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA TRADICIONAL Y CON EL CEMENTO ASFÁLTICO ESPUMADO UTILIZANDO EL ASFALTO 85-100 CONVENCIONAL

Tabla 3.45: Planilla de mezclas asfálticas con cemento asfáltico espumado (85-100)

Planilla de mezclas asfálticas con cemento asfáltico espumado utilizando asfalto convencional 85-100															
Procedencia del asfalto: Brasil				Procedencia del agregado: SE.DE.CA. (planta El Molino)						Fecha: Diciembre/ 2020					
N° de probeta	Asfalto espumado		% Asfalto	Altura prom. de probeta	Peso briqueta			Densidad briqueta		% de vacíos mezcla total	Estabilidad Marshall			Fluencia	
	Temperatura de ingreso del asfalto a la cámara	% de agua	Base mezcla		Seco	Sat. sup. seca	Sum. en agua	ρ real	ρ prom.		Lectura del dial	Carga	Estabilidad prom.	Lectura dial del flujo	Fluencia prom.
	° C	%			%	mm	grs.	grs.	grs.		g/cm ³	g/cm ³	%	mm	grs
1	0	0,00	5,02	5,96	1193,4	1196,9	699	2,40	2,37	4,42	1422	1728611,90	1694411,06	40,64	33,02
2				5,93	1200,8	1205,2	694	2,35			1478	1797013,57		38,10	
3				5,87	1174,6	1196,8	701	2,37			128	1557612,25		20,32	
4	160	3,00	5,02	5,98	1196,3	1198,4	686	2,33	2,38	3,96	1611	1959463,01	1930555,59	38,10	32,18
5				5,99	1190,7	1191,4	700	2,42			1587	1930147,36		30,48	
6				5,93	1192,1	1193,4	695	2,39			1564	1902056,41		27,94	
7	150	3,50	5,02	5,88	1194,5	1196,7	699	2,40	2,40	3,47	1571	1910606,61	1938697,57	27,94	27,10
8				5,91	1194,1	1194,4	696	2,40			1532	1862970,38		25,40	
9				5,93	1197,8	1198,1	697	2,39			1679	2042520,24		27,94	

3.9 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA TRADICIONAL Y CON EL CEMENTO ASFÁLTICO ESPUMADO UTILIZANDO EL ASFALTO 60-85 MODIFICADO

Tabla 3.46: Planilla de mezclas asfálticas con cemento asfáltico espumado(60-85)

Planilla de mezclas asfálticas con cemento asfáltico espumado utilizando asfalto modificado 60-85															
Procedencia del asfalto: Brasil				Procedencia del agregado: SE.DE.CA. (planta El Molino)							Fecha: Diciembre/ 2020				
N° de probeta	Asfalto espumado		% Asfalto	Altura prom. de probeta	Peso briqueta			Densidad briqueta		% de vacios mezcla total	Estabilidad Marshall			Fluencia	
	Temperatura de ingreso del asfalto a la cámara	% de agua	Base mezcla		Seco	Sat. sup. seca	Sum. en agua	ρ real	ρ prom.		Lectura del dial	Carga	Estabilidad prom.	Lectura dial del flujo	Fluencia prom.
	° C	%	%		mm	grs.	grs.	grs.	g/cm ³		g/cm ³	%	mm	grs	grs
1	0	0,00	4,68	6,1	1201,7	1202,4	694	2,36	2,37	4,94	1711,00	2081606,26	2150007,94	38,10	36,40
2				6,3	1198,7	1201,8	691	2,35			1872,00	2278256,54		33,02	
3				6,0	1191,6	1193,4	698	2,41			1718,00	2090156,47		38,10	
4	210	3,50	4,68	5,9	1182,6	1183,2	691	2,40	2,39	4,34	2064,00	2512772,67	2451292,81	22,86	27,10
5				6,0	1197,5	1199,5	695	2,37			1993,00	2426050,42		27,94	
6				6,0	1194,0	1194,8	694	2,38			1984,00	2415055,35		30,48	
7	210	4,00	4,68	6,0	1195,1	1195,4	695	2,39	2,38	4,68	1978,00	2407729,84	2416280,05	30,48	27,94
8				6,0	1193,2	1193,7	687	2,35			1961,00	2386964,40		27,94	
9				5,9	1192,4	1192,5	694	2,39			2016,00	2454141,37		25,40	

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y ANÁLISIS E
INTERPRETACIÓN DE LOS
RESULTADOS

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE LA MEZCLA TRADICIONAL Y CON EL CEMENTO ASFÁLTICO ESPUMADO

4.1.1. Con el uso del asfalto convencional 85-100

Con el fin de analizar las propiedades de las mezclas realizadas es que a continuación se muestran los resultados obtenidos:

4.1.1.1 Densidad

Tabla 4.1 : Comparación de densidad real

Comparación de densidad real				
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 150				
% de Agua inyectada para el espumado: 3,5				
Tipo de ligante: 85-100 convencional				
% de Asfalto	Asfalto tradicional		Asfalto espumado	
	Densidad real	Densidad promedio	Densidad real	Densidad promedio
%	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
5,02	2,40	2,37	2,40	2,40
	2,35		2,40	
	2,37		2,39	
Comparación de densidad real				
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 160				
% de agua inyectada para el espumado: 3				
Tipo de ligante			85-100 convencional	
% de asfalto	Asfalto tradicional		Asfalto espumado	
	Densidad real	Densidad promedio	Densidad real	Densidad promedio
%	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
5,02	2,40	2,37	2,33	2,38
	2,35		2,42	
	2,37		2,39	

Gráfica 4.1 : Comparación de la densidad



Nótese que a mayor porcentaje de agua inyectada y menor temperatura de calentamiento del ligante que se realizó, la densidad va en aumento. Y en comparación con la mezcla tradicional su densidad incrementa notablemente al ejecutar la mezcla con el efecto espumado.

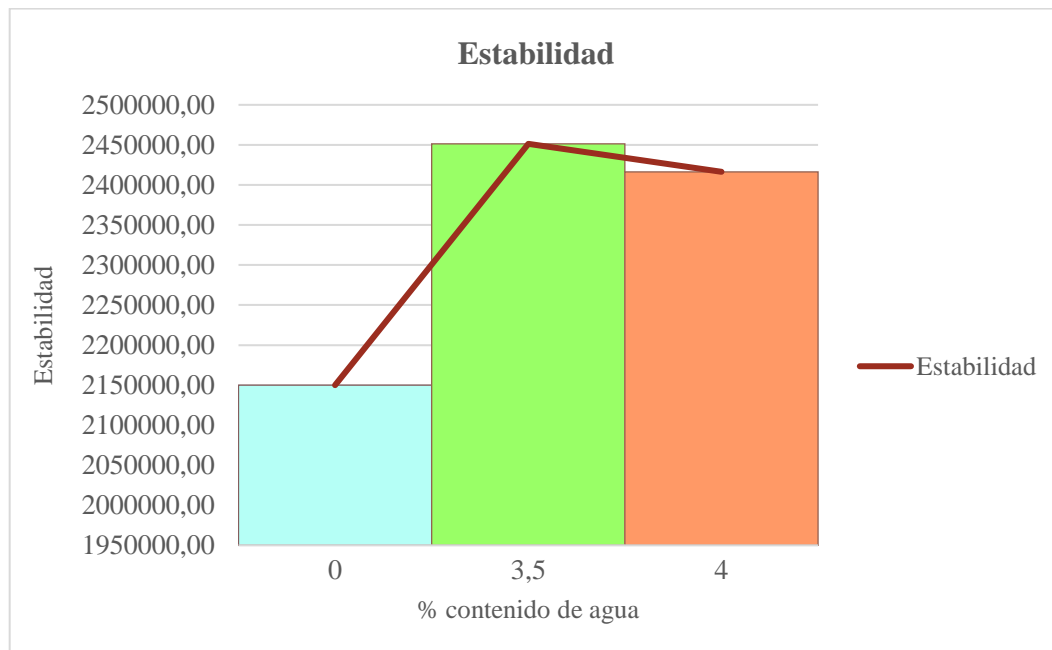
4.1.1.2 Estabilidad

Tabla 4.2 : Comparación de estabilidad

Comparación de estabilidad				
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 150				
% de agua inyectada para el espumado: 3,5				
Tipo de ligante: 85-100 convencional				
% de asfalto	Asfalto tradicional		Asfalto espumado	
	Carga	Estabilidad promedio	Carga	Estabilidad promedio
%	gr	gr	gr	gr
5,02	645007,82	1694411,06	1910606,61	1938697,57
	670408,98		1862970,38	
	581504,94		2042520,24	

Comparación de estabilidad				
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 160				
% de agua inyectada para el espumado: 3				
Tipo de ligante: 85-100 convencional				
% de asfalto	Asfalto tradicional		Asfalto espumado	
	Carga	Estabilidad promedio	Carga	Estabilidad promedio
%	gr	gr	gr	gr
5,02	1728611,90	1694411,06	1959463,01	1930555,59
	1797013,57		1930147,36	
	1557612,25		1902056,41	

Gráfica 4.2: Comparación de la estabilidad



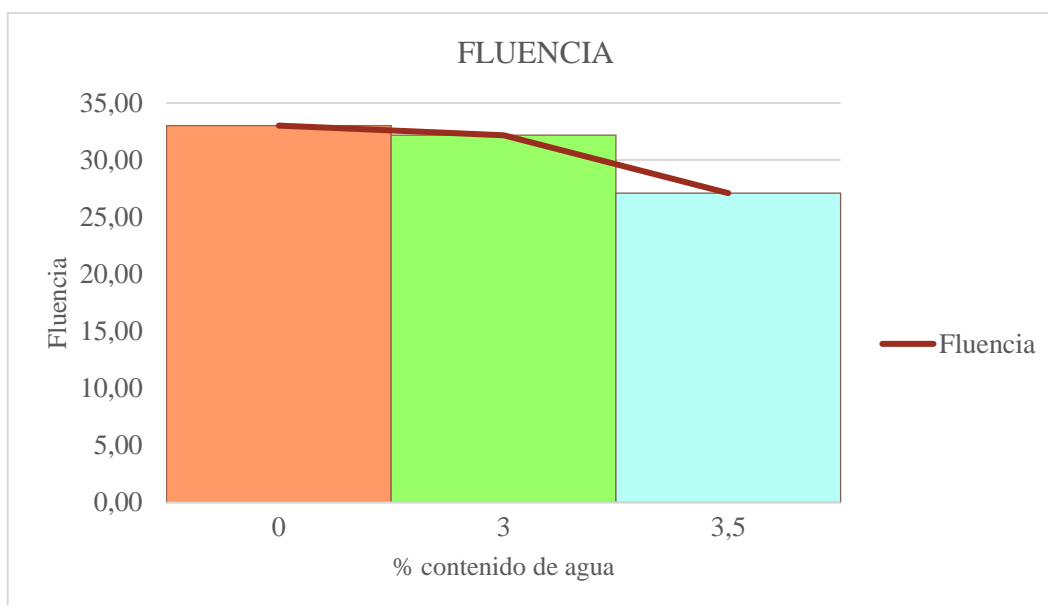
Se observa en la gráfica que la estabilidad en las mezclas con el efecto espumado incrementa a la mayor inyección de agua y menor temperatura de uso del asfalto. No olvidando mencionar que la inyección de agua de 3,5 tiene un mayor tiempo de vida media. Y en comparación con la mezcla tradicional en ambos casos se incrementa notablemente la estabilidad.

4.1.1.3. Fluencia

Tabla 4.3: Comparación de fluencia

Comparación de fluencia				
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 150				
% de agua inyectada para el espumado: 3,5				
Tipo de ligante: 85-100 convencional				
% de asfalto	Asfalto tradicional		Asfalto espumado	
	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio
%	0,01 cm	0,01 cm	0,01 cm	0,01 cm
5,02	40,64	33,02	27,94	27,10
	38,10		25,40	
	20,3		27,94	
Comparación de fluencia				
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 160				
% de agua inyectada para el espumado: 3				
Tipo de ligante: 85-100 convencional				
% de asfalto	Asfalto tradicional		Asfalto espumado	
	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio
%	0,01 cm	0,01 cm	0,01 cm	0,01 cm
5,02	40,64	33,02	38,10	32,18
	38,10		30,48	
	20,3		27,94	

Gráfica 4.3: Comparación de la fluencia



En este caso al apreciar la gráfica se afirma que cuando la mezcla es tradicional ocurre una mayor fluencia. Se observó que mientras la estabilidad sea mayor la fluencia disminuirá.

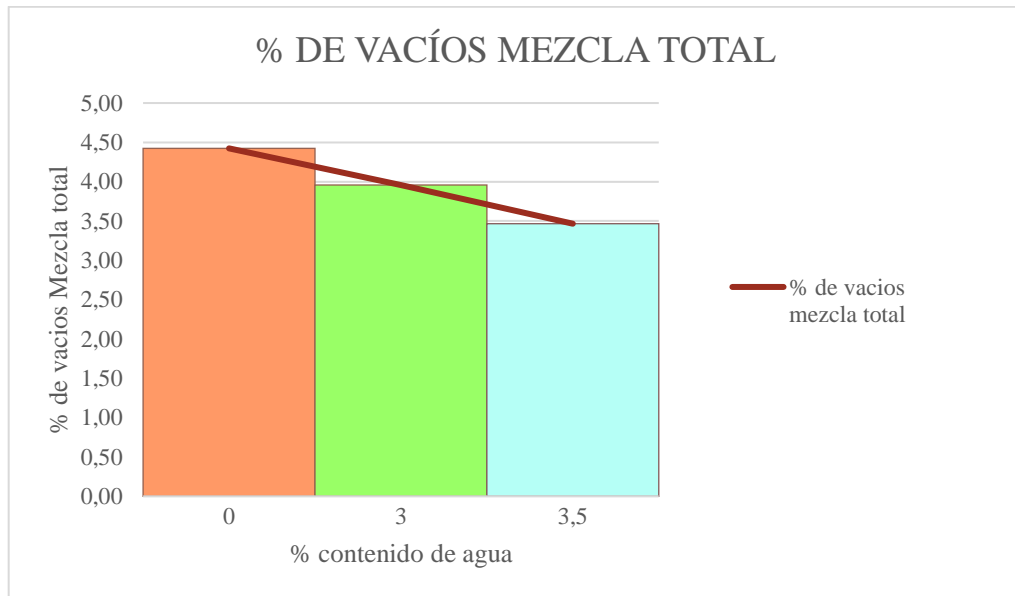
4.1.1.4 % De vacíos de mezcla total

Tabla 4.4: Comparación de % de vacíos mezcla total

Comparación de % de vacíos mezcla total		
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 150		
% de agua inyectada para el espumado: 3,5		
Tipo de ligante: 85-100 convencional		
% de asfalto	Asfalto tradicional	Asfalto espumado
	% de vacíos	% de vacíos
%	%	%
5,02	4,42	3,47

Comparación de % de vacíos mezcla total		
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 160		
% de agua inyectada para el espumado: 3		
Tipo de ligante: 85-100 convencional		
% de asfalto	Asfalto tradicional	Asfalto espumado
	% de vacíos	% de vacíos
%	%	%
5,02	4,42	3,96

Gráfica 4.4: Comparación de % de vacíos mezcla total



La mezcla tradicional tiene un mayor porcentaje de vacíos en comparación con la realizada con asfalto espumado, mencionando además que mientras mayor inyección de agua se tenga la mezcla presentará menor porcentaje de vacíos.

4.1.2. Con el uso del asfalto modificado 60-85

Para el asfalto modificado igual que en el asfalto convencional se muestra a continuación los resultados obtenidos para una misma temperatura y distinto % de inyección de agua:

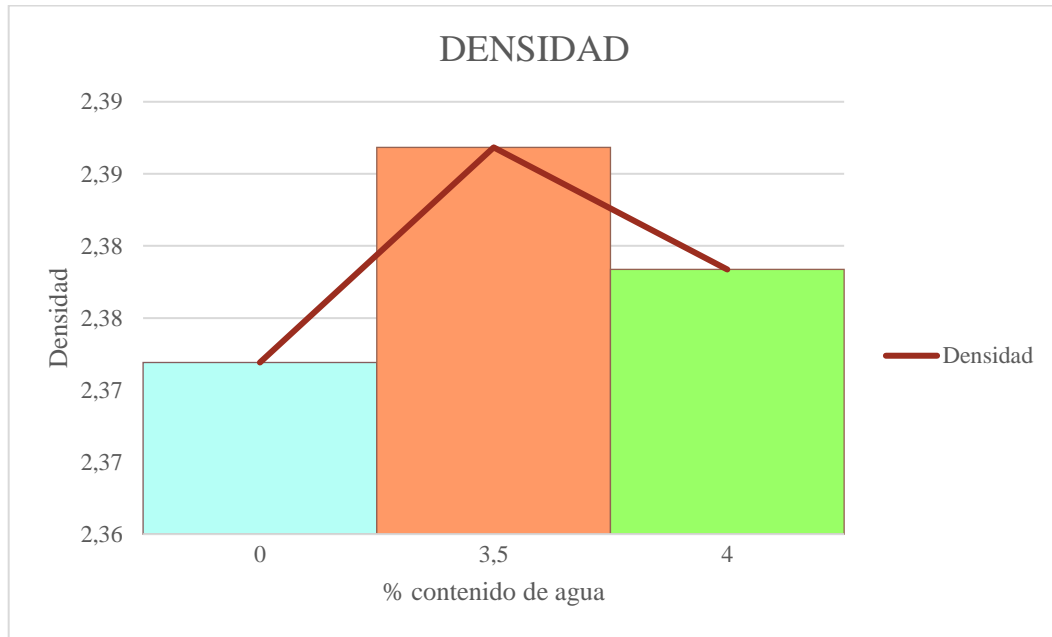
4.1.2.1 Densidad

Tabla 4.5 : Comparación de densidad real

Comparación de densidad real				
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 210				
% de agua inyectada para el espumado: 3,5				
Tipo de ligante:			60-85 modificado	
% de asfalto	Asfalto tradicional		Asfalto espumado	
	Densidad real	Densidad promedio	Densidad real	Densidad promedio
%	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
5,02	2,36	2,37	2,40	2,39
	2,35		2,37	
	2,41		2,38	

Comparación de densidad real				
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 210				
% de agua inyectada para el espumado: 4				
Tipo de ligante: 60-85 modificado				
% de asfalto	Asfalto tradicional		Asfalto espumado	
	Densidad real	Densidad promedio	Densidad real	Densidad promedio
%	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
5,02	2,36	2,37	2,39	2,38
	2,35		2,35	
	2,41		2,39	

Gráfica 4.5: Comparación de la densidad real



Como en la aplicación con el asfalto modificado se trabajó con una sola temperatura se observa que a una menor inyección de agua la densidad incrementa bastante en comparación con la mezcla tradicional.

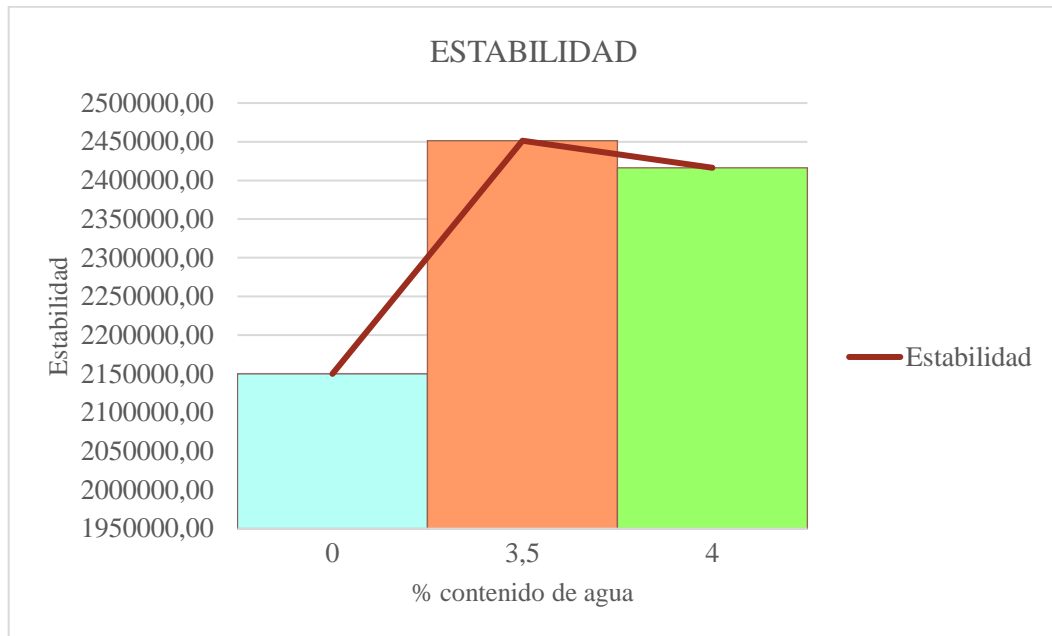
4.1.2.2 Estabilidad

Tabla 4.6 : Comparación de estabilidad

Comparación de estabilidad				
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 210				
% de agua inyectada para el espumado: 3,5				
Tipo de ligante: 60-85 modificado				
% de asfalto	Asfalto tradicional		Asfalto espumado	
	Carga	Estabilidad promedio	Carga	Estabilidad promedio
%	gr	gr	gr	gr
5,02	2081606,26	2150007,94	2512772,67	2451292,81
	2278256,54		2426050,42	
	2090156,47		2415055,35	

Comparación de estabilidad				
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 210				
% de agua inyectada para el espumado: 4				
Tipo de ligante: 60-85 modificado				
% de asfalto	Asfalto tradicional		Asfalto espumado	
	Carga	Estabilidad promedio	Carga	Estabilidad promedio
%	gr	gr	gr	gr
5,02	2081606,26	2150007,94	2407729,84	2416280,05
	2278256,54		2386964,40	
	2090156,47		2454141,37	

Gráfica 4.6: Comparación de la estabilidad



La estabilidad en comparación con la mezcla tradicional en ambos casos de la mezcla con asfalto espumado es mucho mayor. Al igual que en la densidad se observa en esta grafica que la mayor estabilidad se presenta cuando la inyección de agua es menor, resaltando el hecho que el valor de agua 3,5 corresponde al mayor tiempo de vida media presentado.

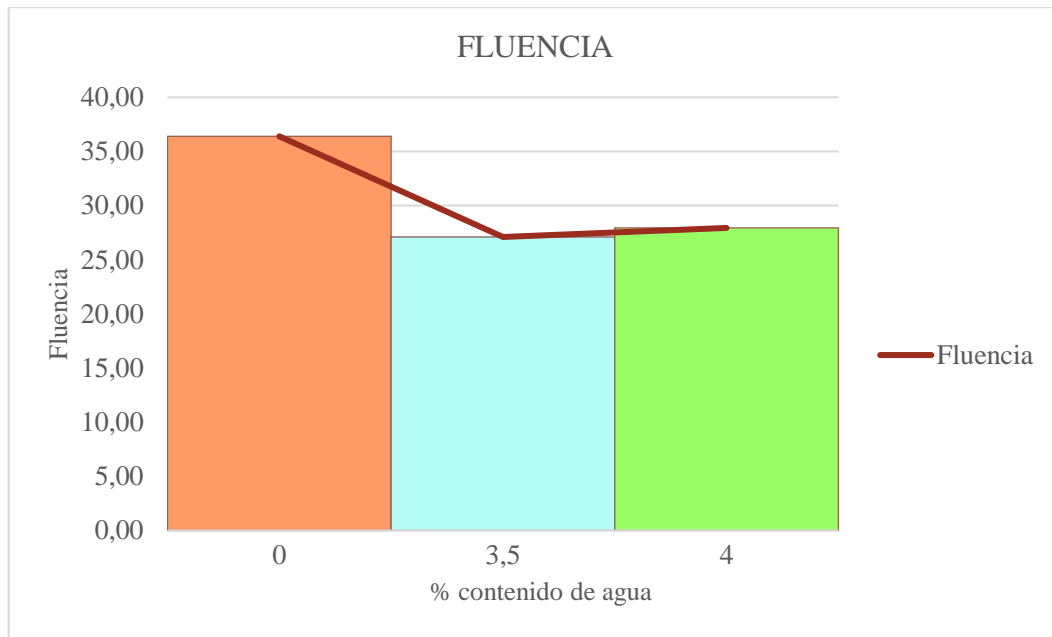
4.1.2.3. Fluencia

Tabla 4.7 : Comparación de fluencia

Comparación de fluencia				
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 210				
% de agua inyectada para el espumado: 3,5				
Tipo de ligante: 60-85 modificado				
% de asfalto	Asfalto tradicional		Asfalto espumado	
	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio
%	0,01 cm	0,01 cm	0,01 cm	0,01 cm
5,02	38,10	36,40	22,86	27,10
	33,02		27,94	
	38,10		30,48	

Comparación de fluencia				
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 210				
% de agua inyectada para el espumado: 4				
Tipo de ligante: 60-85 modificado				
% de asfalto	Asfalto tradicional		Asfalto espumado	
	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio
%	0,01 cm	0,01 cm	0,01 cm	0,01 cm
5,02	38,10	36,40	30,48	27,94
	33,02		27,94	
	38,10		25,40	

Gráfica 4.7: Comparación de fluencia



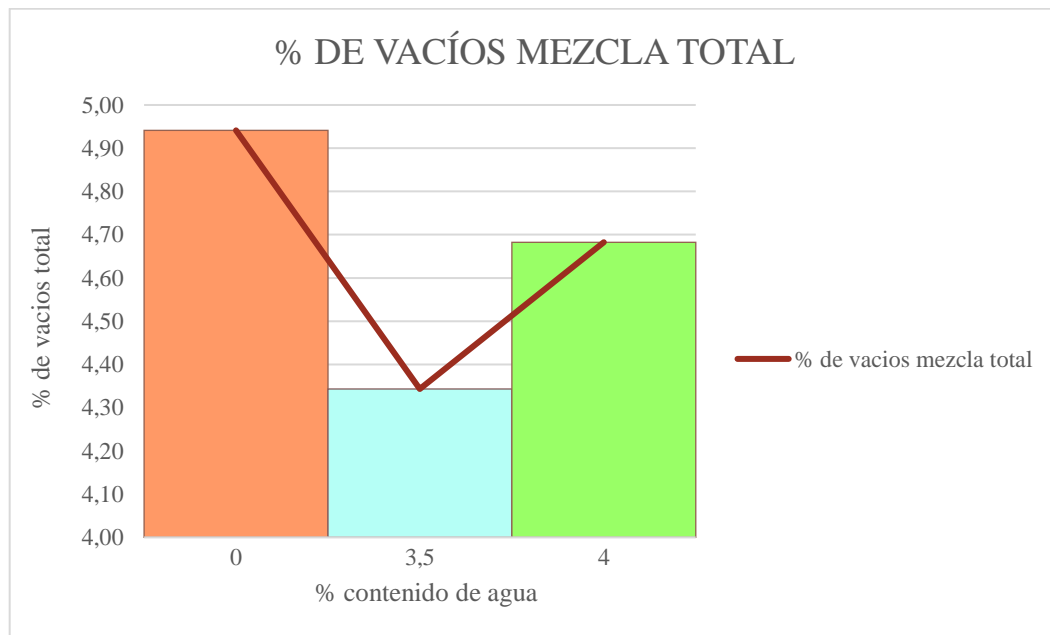
Nótese que en la mezcla tradicional (0% e agua inyectada) se presenta una mayor fluencia que en las mezclas con asfalto espumado siendo estas la columna de 3,5 y 4 % de agua. Mencionando además que en este caso trabajando con la menor inyección se presentó la menor fluencia.

4.1.2.4 % De vacíos de mezcla total

Tabla 4.8: Comparación de % de vacíos mezcla total

Comparación de % de vacíos mezcla total		
Temperatura del ingreso del asfalto ° C: 210		
% de agua inyectada para el espumado: 3,5		
Tipo de ligante: 60-85 modificado		
% de asfalto	Asfalto tradicional	Asfalto espumado
	% de vacíos	% de vacíos
%	%	%
5,02	4,94	4,34
% de agua inyectada para el espumado: 4		
% de asfalto	Asfalto tradicional	Asfalto espumado
	% de vacíos	% de vacíos
5,02	4,94	4,68

Gráfica 4.8: Comparación de % de vacíos mezcla total



Apreciando la gráfica se puede observar que merma bastante el porcentaje de vacíos aplicando el efecto espumado en la mezcla, presentando el menor de los casos cuando se inyecta menor porcentaje de agua para espumar.

4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.2.1 Análisis e interpretación de los resultados de los agregados, cemento asfáltico, y del cemento asfáltico espumado

4.2.1.1 De los agregados

Como actualmente estos agregados están siendo utilizados por SEDECA- TARIJA en la construcción de pavimento flexible en un tramo en el Proyecto Iscayachi final Copacabana, era de esperarse que las muestras tomadas satisficieran nuestras expectativas. Pues habiendo realizado los siguientes ensayos: granulometría, peso específico, desgaste de los ángeles y equivalente de arena. Se observa gratamente que todos los ensayos realizados cumplieron con las especificaciones requeridas para su uso.

En cuanto al desgaste de los ángeles de la grava de 3/4" y gravilla de 3/8", se obtuvo un % de 28,42 y 24,13 respectivamente, que son menores al 35% planteado como máximo por la especificación ASTM. Así también la granulometría y peso específico para el diseño fueron aceptables. Terminando con un equivalente de arena de 61,15 resaltando que presento bastante cantidad de arcilla.

4.2.1.2 Del cemento asfáltico

El asfalto convencional 85-100 Betunel de industria brasilera cumplió con todas las especificaciones establecidas por el fabricante para su uso, habiendo realizado los siguientes ensayos:

Penetración (25°C, 100s. 5seg.)	0,1mm	87
Peso específico (25°C)	grs./cm ³	1,014
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	282
Punto de ablandamiento	°C	44
Ductilidad a 25 °C AASHTO T-51	cm	101
Viscosidad cinemática (a 135 °C)	mm ² /s	258

Referente al asfalto modificado 60-85 Betuflex de industria brasilera se realizaron casi los mismos ensayos que para el convencional a excepción que en este caso no se realizó el ensayo de viscosidad debido a la falta de disponibilidad del equipo necesario. Al observar

los resultados nótese que para su uso cumple con las especificaciones establecidas por el fabricante.

Penetración (25°C, 100s. 5seg.)	0,1 mm	69
Peso específico (25°C)	grs./cm ³	1,037
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	280
Punto de ablandamiento	°C	65
Ductilidad a 25 °C AASHTO T-51	cm	106

4.2.1.3 Del cemento asfáltico espumado

“CON EL USO DE CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL 85-100”

Con el fin de encontrar el % de agua que genere un espumado optimo, sabiendo que las especificaciones mínimas aceptables sugeridas para el diseño (Wirtgen 2004) son RE con valores entre 12 y 20, y la VM mayor a 15 segundos, es que se realizaron los 4 ensayos con 4 T° que fueron de 150°C a 180°C, pues para el asfalto 85-100 el fabricante sugiere un uso máximo de temperatura de 180 °C para que este no pierda las propiedades que lo caracterizan. Cada ensayo fue realizado con 5 porcentajes distintos de agua que iban de 2 a 4 % con incrementos de 0,5 %.

Iniciando con el primer ensayo a una temperatura de 150°C se pudo observar que cumplió con las especificaciones en dos % de agua, eligiendo el valor de 3,5 debido a que este presentaba el mayor tiempo de vida media del espumado.

Continuando con el segundo ensayo a 160°C se notó una reacción favorable de estas especificaciones en la inyección de agua de 3 y 3,5, pero al igual que en el caso anterior por el hecho de haber presentado una mayor vida media se eligió el contenido de 3% de agua para espumar.

En cuanto al tercer y cuarto ensayo en ambos casos todos los porcentajes cumplían con la especificación de vida media, pero a su vez ninguno de ellos cumplía con la razón de expansión sugerida, motivo por el cual fueron descartados para su uso en la generación del asfalto espumado. Analizando esto al parecer se debió porque en estos ensayos se trabajó con temperaturas apegas al valor máximo de calentamiento del asfalto mencionado con anterioridad.

“CON EL USO DE CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO 60-85”

Inicialmente se planteó los ensayos con las mismas temperaturas y porcentajes de agua que se usaron con el asfalto convencional debido a creer que estos valores máximo se encontraría el espumado optimo, al no contar con una sugerencia clara de temperatura de uso para este asfalto. Al analizar estos primeros 4 ensayos encontramos una similitud que el cumplimiento de las especificaciones de la vida media, así como el no cumplimiento de ninguna de las razones de expansión. Descartando de tal manera el uso de estos ensayos. Como consecuencia se realizó 3 ensayos más a una temperatura de 190°C, 200°C y 210°C para un nuevo análisis con objeto de encontrar el porcentaje de agua que nos presentase resultados aceptables.

En el caso de los ensayos quinto y sexto con temperaturas de 190 y 200 °C respectivamente, se notó una mejora considerable de la razón e expansión pero aun estos no se encontraban cumpliendo con la especificación, por lo cual ambos fueron descartados.

Cabe mencionar que la vida media en general cumplió con la especificación, excepto en el punto de 4% de agua con 200°C de calentamiento del asfalto. También se observó que la vida media fue en descenso a comparación de los 4 ensayos realizados en un inicio, respaldando de esta manera la teoría que afirma que a mayor expansión es menor la vida media y viceversa.

Finalmente en el séptimo ensayo con una temperatura de 210 °C (valor muy por debajo de su punto de inflamación, motivo por el que se decidió proceder a trabajar) se encontraron los valores que cumplieron con las especificaciones tanto de la razón de expansión como de la vida media, que fueron de 3,5% y 4% , presentándose la mayor VM en 3,5 de contenido de agua. Con los cuales se realizaron las mezclas con efecto espumado. No se optó por realizar más ensayos debido al incremento de temperatura que esto representaría y por ende dificultando el trabajo y riesgo de accidentes en el laboratorio.

4.2.2 Análisis e interpretación de los resultados de la comparación de la mezcla tradicional y con el cemento asfáltico espumado

“CON EL USO DE CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL 85-100”

Cabe mencionar que tanto para la mezcla tradicional y con cemento asfáltico espumado se trabajó con el mismo porcentaje de asfalto siendo 5,02 en este caso. En base al análisis del cemento asfáltico espumado se trabajó a una temperatura de 150°C con 3,5% de contenido de agua, y a 160 °C con 3% de contenido de agua.

A continuación se realiza la comparación de las propiedades así como características físicas de los resultados con las condiciones expuestas:

Para la densidad se observó que la mezcla tradicional presenta una menor densidad que la misma mezcla pero con cemento asfáltico espumado para ambos porcentajes de contenido de agua adicionado. Teniendo una mayor vida media a 150°C.

En cuanto a la estabilidad resultante, se nota un incremento considerable entre la mezcla tradicional y la aplicada con el cemento asfáltico espumado en ambos porcentajes de agua, siendo el mayor valor nuevamente en el punto donde se presenta la mayor vida media en 150°C.

Nótese en la fluencia que es mayor en la mezcla tradicional, y merma en ambos casos del efecto espumado en la misma. La fluencia más baja se presenta en el máximo porcentaje de agua usado cuyo valor corresponde a una mayor vida media a 150 °C.

A cerca de los porcentajes de vacíos la mezcla tradicional es más porosa que la realizada con el asfalto espumado. Mientras mayor inyección de agua en el asfalto espumado nos resultará en una mezcla menos porosa debido a que el espumado actúa como una masa que adhiere mejor el agregado.

Respecto a las características físicas se observó que la mezcla con el efecto espumado brinda una mayor consistencia a la briqueta, así también como acrecienta su trabajabilidad que la mezcla tradicional.

“CON EL USO DE CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO 60-85”

La mezcla tradicional y con cemento asfáltico espumado se realizaron con un mismo porcentaje de asfalto siendo para este cemento asfáltico 4,68%. En base al análisis del cemento asfáltico espumado se trabajó a una temperatura de 210°C con 3,5 y 4% de contenido de agua.

A continuación se realiza la comparación de las propiedades así como características físicas de los resultados con las condiciones expuestas:

Referente a la densidad es mucho menor en la mezcla tradicional que en la realizada con asfalto espumado. Mostrando un máximo a una menor inyección de agua con una mayor vida media.

En la estabilidad se nota un acrecentamiento insondable en la mezcla con asfalto espumado a comparación de la resultante en la mezcla tradicional. La mayor estabilidad corresponde al menor contenido de agua con una mayor vida media.

La fluencia disminuyó en la mezcla tradicional en consideración de la efectuada con asfalto espumado. Obteniendo el valor menor a la más baja inyección de agua utilizada con mayor vida media.

Haciendo alusión a la porosidad su diferencia de la mezcla tradicional y la materializada con asfalto espumado es de consideración, presentando el valor menor de ésta en el menor porcentaje de agua inyectada.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se comprobó exitosamente que el agregado y los cementos asfálticos seleccionados cumplen con las especificaciones requeridas para el diseño y por ende facilitan su aplicación en las mezclas.
- La dosificación del agregado utilizado para el diseño de la mezcla con base la metodología de área superficial, obteniendo el proporcionamiento siguiente: grava $\frac{3}{4}$ " 27%, gravilla $\frac{3}{8}$ " 25% y arena con limo un 48 %, con el cual se garantiza un empaquetamiento de agregados que ayude a las propiedades de la mezcla asfáltica caliente.
- Referente al asfalto espumado su condición óptima y mejor comportamiento en la mezcla se encontró una razón de expansión de 12 veces y una vida media de 29,5 segundos con una inyección de agua de 3,5 % a una temperatura de 150°C para el asfalto convencional. En el caso del asfalto modificado se encontraba también en un 3,5% de contenido de agua a 210 °C de calentamiento del asfalto con valores de 13,05 y 22,53 de razón de expansión y vida media respectivamente.
- A la menor temperatura que se calienta el asfalto y mayor contenido de agua ocupado se presentan las mejores condiciones de las características del espumado considerándose así óptimo para su uso.
- Usando el asfalto modificado para volverlo un asfalto espumado, la estabilidad y densidad mejoran notablemente, incluso más que haciendo uso del asfalto convencional. Esto se evidencia con 3,5 % de contenido de agua donde se presenta la mayor vida media a 210°C.

- La mejor densidad y estabilidad resultan cuando se presenta el valor mayor de la vida media, con un 3,5 % de contenido de agua a 150°C para el calentamiento del asfalto 85-100 betunel.
- En las muestras realizadas con ambos asfaltos existe una similitud en el % de agua inyectada en cuyos valores se aprecia la máxima vida media de las briquetas. En la mezcla con asfalto espumado existe un incremento considerable en las propiedades de estabilidad y densidad. A medida que se presente una mayor estabilidad la fluencia ira en decadencia.
- Mientras mayor inyección de agua en el asfalto espumado se inyecte nos resultará en una mezcla menos porosa debido a que el espumado actúa como una masa que adhiere mejor el agregado. Sin embargo se debe trabajar con los valores óptimos para lograr un carpeta con los resultados esperados.
- La mezcla con asfalto espumado facilita la trabajabilidad y brinda una mayor consistencia. Por tanto será de gran ayuda en especial para lugares donde se dificulta la trabajabilidad en climas templados y cálidos.
- Los resultados más favorables se presentan en los valores cuya vida media es mayor. Pues con el uso del asfalto modificado espumado en una mezcla las propiedades como estabilidad, densidad y porcentaje de vacíos presenta resultados más favorables.
- Se demuestra en consecuencia con el proyecto de investigación que la aplicación del cemento asfaltico espumado en un mezcla tradicional resulta muy favorable y por las condiciones encontradas para su producción y los resultados a los que se llega en cuento a la mejora en estabilidad y densidad son reproducibles para la construcción de nuevas carpetas de rodadura mejorando significativamente la vida útil de ésta.

- Las mezclas asfálticas con espumado más propensas a sufrir daños por la humedad son las mezclas con asfalto convencional pues presentan menores porcentajes de vacíos totales, generando una disminución en su capacidad de filtración.
- Se encontró valores máximos de uso del cemento espumado tanto para el asfalto convencional y el modificado, con un 3,5 % de contenido máximo de agua, de otro modo sobrepasando este valor la espuma ya no cumple con las especificaciones óptimas.
- Se contempló que las temperaturas de calentamiento de asfalto no deben de exceder los 210 °C referente al asfalto modificado pues de otra forma no cumple con las especificaciones de espumado. Y en cuanto al convencional está restringido por los 150 °C, ya que a temperaturas menores los valores de expansión y vida media no son satisfactorios.
- Se halló que es conveniente hacer uso del asfalto convencional a momento de espumar debido a su temperatura usual de calentamiento del asfalto, pudiendo aplicarlo en zonas templadas y frías.
- La mezcla con asfalto espumado produce una serie de ventajas, como la reducción de costos a largo plazo de los mantenimientos de las carretas, en base a los resultados obtenidos en laboratorio, pues un pavimento realizado con este tipo de mezcla tiene mayor estabilidad, dureza y resistencia a las cargas de tráfico así como a las inclemencias del medio ambiente.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda para posibles investigaciones consecuentes o semejantes a la de este proyecto, traer el material a utilizar contemplando porcentaje de pérdidas, para evitar volver al lugar de extracción por un poco más del mismo, pues generalmente las plantas se encuentran lejos de la ciudad e implica un mayor tiempo y costo.
- Utilizar periódico para evitar ensuciar el laboratorio, debido a que al espumar el asfalto ocurre una explosión que despide gotas de asfalto a su alrededor.
- A momento de realizar los ensayos para la caracterización del cemento asfáltico espumado se debe contar con traje de seguridad pues la réplica de la cámara de expansión adaptada (ya existente en el laboratorio de la UAJMS) es una olla a presión y no se puede observar por fuera en consecuencia esta debe estar abierta en el momento de lecturar, debido a que se debe tomar medidas de altura para conocer el volumen de espuma producida y tiempo de vida media de la misma, cayendo por ende en riesgos al laboratorista de quema con el asfalto.
- Debe considerarse la adquisición en laboratorio del equipo especializado que permita evaluar el desempeño de la mezcla con asfalto espumado.
- Trabajar con el % de agua que presente una mayor vida media del espumado, pues de este modo la mezcla mejorará cuantiosamente, para mayor beneficios en su aplicación en carreteras y calles.
- Tomar la debida atención para realizar los ensayos de Marshall de la manera correcta y evitar posible errores que nos arrojen valores no reales, para investigaciones o aplicaciones en tramos carreteros y calles.
- Para las muestras de laboratorio y la realización de la compactación, la mezcla con asfalto espumado no debe reducir su temperatura por debajo de los 170 °C , pues

se pierden sus propiedades de espumación por tanto no presenta resultados satisfactorios.

- Darle continuidad a esta investigación a través de la realización de tramos de prueba en calles dentro de la ciudad, que permitan medir el desempeño de la mezcla ante las cargas de tránsito y condiciones ambientales presentes.
- Aplicar diseños de mezclas asfálticas calientes con asfalto espumado, considerando diferentes agregados (marginales) para espumar evaluando su comportamiento y así divisar la posibilidad de ampliación de uso en carretas y calles de la ciudad.

5.3 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

DATOS GENERALES					
Proyecto:	DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON CEMENTO ASFALTICO ESPUMADO				
Actividad:	CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE - CON CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL 85-100				
Cantidad:	1				
Unidad:	M3				
Moneda:	Bolivianos	Fecha:	23-jun-21		
1.- MATERIALES					
	DESCRIPCION	UNIDA D	CANTIDA D	PRECIO PRODUCTI	COSTO TOTAL
	ARENA CLASIFICADA	M3	0.4588	125.0000	57.3500
	GRAVILLA 3/8"	M3	0.2820	146.0000	41.1720
	GRAVA 3/4"	M3	0.2949	149.0000	43.9401
	CEMENTO ASEALTICO BETUNEL 85-100	Kg	116.5500	9.9841	1163.6492
	DIESEL	LT	24.8005	3.6888	91.4842
	TOTAL MATERIALES				1397.5954
2.- MANO DE OBRA					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTI VO	COSTO TOTAL
	AYUDANTE	HR	0.0280	18.3674	0.5143
	PEON	HR	0.0720	16.2794	1.1721
	CHOFER	HR	0.0012	20.4485	0.0245
	CAPATAZ	HR	0.0800	39.4493	3.1559
	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	HR	0.8200	35.2315	28.8898
	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	HR	0.0820	33.1366	2.7172
	SUBTOTAL MANO DE OBRA				36.4739
	CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA)			71.18%	25.9621
	IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (%DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES)			14.94%	9.3280
	TOTAL MANO DE OBRA				71.7640
3.- EQUIPO, MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTI	COSTO TOTAL
	CARGADOR FRONTAL 150 HP	HR	0.0001	415.0248	0.0415
	COMPACTADOR DE RODILLO LISO 130 HP	HR	0.0240	306.0312	7.3447
	COMPACTADOR NEUMATICO 20 Ton	HR	0.0840	299.9760	25.1980
	PLANTA DE ASFALTO ESTAC. CMI 120HP	HR	0.0800	962.3400	76.9872
	PLANTA CALIENTE DE ASEALTO	HR	0.0900	141.9840	12.7786
	TERMINADORA DE CONCRETO ASEAL TICO	HR	0.0750	295.0344	22.1276
	GRUPO ELECTROGENO DE 100KVA	HR	0.0800	135.0240	10.8019
	GRUPO ELECTROGENO DE 300KVA	HR	0.0800	244.9920	19.5994
	ESCOBA MECANICA AUTOPROPULSORA	HR	0.0280	57.0024	1.5961
	VOLOQUETA 12 M3	HR	0.0010	239.2848	0.2393
	SUBTOTAL HERRAMIENTAS				176.7142
	HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5.00%	8.8357
	TOTAL EQUIPO, MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS				185.5499
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
					COSTO TOTAL
	GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3 TOTAL GASTOS GENERALES			15.50%	256.5110
	TOTAL GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 +3 TOTAL GASTOS GENERALES				
5.- UTILIDAD					
					COSTO TOTAL
	UTILIDAD = % DE 1+2+3+4			10.00%	191.1420
	TOTAL UTILIDAD				191.1420
6.- IMPUESTOS					
					COSTO TOTAL
	IMPUESTOS IT = % 1+2+3+4+5			3.09%	64.9692
	TOTAL IMPUESTOS				64.9692
	TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)				2167.5316
	TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				2167.53

(*) El proponente debera señalar los porcentajes pertinente a cada rubro NOTA.- El proponente declara que el presente Formulario ha sido llenado de acuerdo con las especificaciones técnicas, aplicando las leyes sociales y tributarias vigentes, y es consistente con el Formulario B-3

DATOS GENERALES					
Proyecto:	DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON CEMENTO ASFALTICO ESPUMADO				
Actividad:	CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE - CON CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO 60-85				
Cantidad:	1				
Unidad:	M3				
Moneda:	Bolivianos	Fecha:	23-jun-21		
1.- MATERIALES					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
	ARENA CLASIFICADA	M3	0,4588	125,0000	57,3500
	GRAVILLA 3/8"	M3	0,2820	146,0000	41,1720
	GRAVA 3/4"	M3	0,2949	149,0000	43,9401
	CEMENTO ASFALTICO BETUFLEX 65-85	Kg	116,5500	11,4819	1338,2168
	DIESEL	LT	24,8005	3,6888	91,4842
	TOTAL MATERIALES				1572,1631
2.- MANO DE OBRA					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
	AYUDANTE	HR	0,0280	18,3674	0,5143
	PEON	HR	0,0720	16,2794	1,1721
	CHOFER	HR	0,0012	20,4485	0,0245
	CAPATAZ	HR	0,0800	39,4493	3,1559
	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	HR	0,8200	35,2315	28,8898
	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	HR	0,0820	33,1366	2,7172
	SUBTOTAL MANO DE OBRA				36,4739
	CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA)			71,18%	25,9621
	IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (%DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES)			14,94%	9,3280
	TOTAL MANO DE OBRA				71,7640
3.- EQUIPO, MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
	CARGADOR FRONTAL 150 HP	HR	0,0001	415,0248	0,0415
	COMPACTADOR DE RODILLO LISO 130 HP	HR	0,0240	306,0312	7,3447
	COMPACTADOR NEUMATICO20 Ton	HR	0,0840	299,9760	25,1980
	PLANTA DE ASFALTO ESTAC. CMI 120HP	HR	0,0800	962,3400	76,9872
	PLANTA CALIENTE DE ASFALTO	HR	0,0900	141,9840	12,7786
	TERMINADORA DE CONCRETO ASFALTICO	HR	0,0750	295,0344	22,1276
	GRUPO ELECTROGENO DE 100KVA	HR	0,0800	135,0240	10,8019
	GRUPO ELECTROGENO DE 300KVA	HR	0,0800	244,9920	19,5994
	ESCOBA MECANICA AUTOPROPULSORA	HR	0,0280	57,0024	1,5961
	VOLQUETA 12 M3	HR	0,0010	239,2848	0,2393
	SUBTOTAL HERRAMIENTAS				176,7142
	HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5,00%	8,8357
	TOTAL EQUIPO, MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS				185,5499
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
					COSTO TOTAL
	GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3 TOTAL GASTOS GENERALES			15,50%	283,5689
	TOTAL GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 +3 TOTAL GASTOS GENERALES				283,5689
5.- UTILIDAD					
					COSTO TOTAL
	UTILIDAD = % DE 1+2+3+4			10,00%	211,3046
	TOTAL UTILIDAD				211,3046
6.- IMPUESTOS					
					COSTO TOTAL
	IMPUESTOS IT = % 1+2+3+4+5			3,09%	71,8224
	TOTAL IMPUESTOS				71,8224
	TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)				2396,1730
	TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				2396,17
(*) El proponente debera señalar los porcentajes pertinente a cada rubro NOTA.- El proponente declara que el presente Formulario ha sido llenado de acuerdo con las especificaciones tecnicas, aplicando las leyes sociales y tributarias vigentes, y es consistente con el Formulario B-3					

DATOS GENERALES					
Proyecto:	DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON CEMENTO ASFALTICO ESPUMADO				
Actividad:	CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE -CON CA CONVENCIONAL 85-100 ESPUMADO				
Cantidad:	1				
Unidad:	M3				
Moneda:	Bolivianos	Fecha:	23-jun-21		
1.-	MATERIALES				
	DESCRIPCION	UNIDA D	CANTIDA D	PRECIO PRODUCTIV	COSTO TOTAL
	ARENA CLASIFICADA	M3	0,4515	125.0000	56,4375
	GRAVILLA 3/8"	M3	0,2776	146.0000	40,5296
	GRAVA 3/4"	M3	0,2902	149.0000	43,2398
	CEMENTO ASFALTICO BETUNEL 85-100 ESPUMA	Kg	146,07518	9,9841	1458,4321
	DIESEL	LT	24,8005	3,6888	91,4842
	TOTAL MATERIALES				1690,1232
2.-	MANO DE OBRA				
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIV	COSTO TOTAL
	AYUDANTE	HR	0,0280	18,3674	0,5143
	PEON	HR	0,0720	16,2794	1,1721
	CHOFER	HR	0,0012	20,4485	0,0245
	CAPATAZ	HR	0,0800	39,4493	3,1559
	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	HR	0,8200	35,2315	28,8898
	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	HR	0,0820	33,1366	2,7172
	SUBTOTAL MANO DE OBRA				36,4739
	CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA)			71,18%	25,9621
	IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (%DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA +C/			14,94%	9,3280
	TOTAL MANO DE OBRA				71,7640
3.-	EQUIPO, MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS				
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIV	COSTO TOTAL
	CARGADOR FRONTAL 150 HP	HR	0,0001	415,0248	0,0415
	COMPACTADOR DE RODILLO LISO 130 HP	HR	0,0240	306,0312	7,3447
	COMPACTADOR NEUMATICO20 Ton	HR	0,0840	299,9760	25,1980
	PLANTA DE ASFALTO ESTAC. CMI 120HP	HR	0,0800	962,3400	76,9872
	PLANTA CALIENTE DE ASFALTO	HR	0,0900	141,9840	12,7786
	TERMINADORA DE CONCRETO ASFALTICO	HR	0,0750	295,0344	22,1276
	GRUPO ELECTROGENO DE 100KVA	HR	0,0800	135,0240	10,8019
	GRUPO ELECTROGENO DE 300KVA	HR	0,0800	244,9920	19,5994
	ESCOBA MECANICA AUTOPROPULSORA	HR	0,0280	57,0024	1,5961
	VOLQUETA 12 M3	HR	0,0010	239,2848	0,2393
	SUBTOTAL HERRAMIENTAS				176,7142
	HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5,00%	8,8357
	TOTAL EQUIPO, MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS				185,5499
4.-	GATOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
	COSTO TOTAL				301,8528
	GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3 TOTAL GASTOS GENERALES			15,50%	
	TOTAL GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 +3 TOTAL GASTOS GENERALES				
5.-	UTILIDAD				
	COSTO TOTAL				224,9290
	UTILIDAD = % DE 1+2+3+4			10,00%	
	TOTAL UTILIDAD				
6.-	IMPUESTOS				
	COSTO TOTAL				76,4534
	IMPUESTOS IT = % 1+2+3+4+5			3,09%	
	TOTAL IMPUESTOS				76,4534
	TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)				2550,6722
	TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				2550,67
(*) El proponente debera señalar los porcentajes pertinente a cada rubro NOTA.- El proponente declara que el presente Formulario ha sido llenado de acuerdo con las especificaciones tecnicas, aplicando las leyes sociales y tributarias vigentes, y es consistente con el Formulario B-3					

DATOS GENERALES					
Proyecto:	DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON CEMENTO ASFALTICO ESPUMADO				
Actividad:	CARPETA DE CONCRETO ASFATICO EN CALIENTE - CON CA MODIFICADO 60-85 ESPUMADO				
Cantidad:	1				
Unidad:	M3				
Moneda:	Bolivianos	Fecha:	23-jun-21		
1.- MATERIALES					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
	ARENA CLASIFICADA	M3	0,4531	125,0000	56,6375
	GRAVILLA 3/8"	M3	0,2785	146,0000	40,6610
	GRAVA 3/4"	M3	0,2912	149,0000	43,3888
	CEMENTO ASFALTICO BETUFLEX 65-85 ESPUMADO	Kg	139,4709	11,4819	1601,3923
	DIESEL	LT	24,8005	3,6888	91,4842
TOTAL MATERIALES					1833,5637
2.- MANO DE OBRA					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
	AYUDANTE	HR	0,0280	18,3674	0,5143
	PEON	HR	0,0720	16,2794	1,1721
	CHOFER	HR	0,0012	20,4485	0,0245
	CAPATAZ	HR	0,0800	39,4493	3,1559
	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	HR	0,8200	35,2315	28,8898
	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	HR	0,0820	33,1366	2,7172
SUBTOTAL MANO DE OBRA					36,4739
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA)				71,18%	25,9621
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (%DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES)				14,94%	9,3280
TOTAL MANO DE OBRA					71,7640
3.- EQUIPO, MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
	CARGADOR FRONTAL 150 HP	HR	0,0001	415,0248	0,0415
	COMPACTADOR DE RODILLO LISO 130 HP	HR	0,0240	306,0312	7,3447
	COMPACTADOR NEUMATICO20 Ton	HR	0,0840	299,9760	25,1980
	PLANTA DE ASFALTO ESTAC. CMI 120HP	HR	0,0800	962,3400	76,9872
	PLANTA CALIENTE DE ASFALTO	HR	0,0900	141,9840	12,7786
	TERMINADORA DE CONCRETO ASFALTICO	HR	0,0750	295,0344	22,1276
	GRUPO ELECTROGENO DE 100KVA	HR	0,0800	135,0240	10,8019
	GRUPO ELECTROGENO DE 300KVA	HR	0,0800	244,9920	19,5994
	ESCOBA MECANICA AUTOPROPULSORA	HR	0,0280	57,0024	1,5961
	VOLQUETA 12 M3	HR	0,0010	239,2848	0,2393
SUBTOTAL HERRAMIENTAS					176,7142
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)				5,00%	8,8357
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS					185,5499
4.- GATOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
					COSTO TOTAL
GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3 TOTAL GASTOS GENERALES				15,50%	324,0860
TOTAL GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 +3 TOTAL GASTOS GENERALES					324,0860
5.- UTILIDAD					
					COSTO TOTAL
UTILIDAD = % DE 1+2+3+4				10,00%	241,4964
TOTAL UTILIDAD					241,4964
6.- IMPUESTOS					
					COSTO TOTAL
IMPUESTOS IT = % 1+2+3+4+5				3,09%	82,0846
TOTAL IMPUESTOS					82,0846
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)					2738,5447
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)					2738,54

(*) El proponente debera señalar los porcentajes pertinente a cada rubro NOTA.- El proponente declara que el presente Formulario ha sido llenado de acuerdo con las especificaciones tecnicas, aplicando las leyes sociales y tributarias vigentes, y es consistente con el Formulario B-3