

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO

CAPÍTULO I

DISEÑO TEORICO

1. Introducción

Teniendo en cuenta las grandes exigencias que demanda los altos flujos vehiculares, se implementan cada vez nuevas tecnologías que permitan el desarrollo y mejor funcionamiento de los pavimentos, es por eso que surge el estudio de la implementación del Grano de Caucho Reciclado a la carpeta asfáltica, como una forma de mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas y dar solución a ciertos inconvenientes que actualmente se presentan en la malla vial de nuestro país.

La implementación del caucho reciclado de llantas ha sido estudiada y aplicada en varios países del mundo como Estados Unidos, Inglaterra, Brasil México, Venezuela, Colombia entre otros, con mucho éxito, en España se viene trabajando con este tipo de asfalto modificado desde el año 1,989.

El propósito de este estudio es determinar el comportamiento resistente de la carpeta asfáltica con la adición de grano de caucho para reducir el daño, agrietamiento, abrasión, etc. Se pretende satisfacer la estabilidad Marshall para el diseño de pavimentos y así mejora sus propiedades físicas y mecánicas al reemplazar en porcentaje el agregado con gránulos de caucho, con algunas modificaciones.

El caucho es obtenido de manera viable y económica usando llantas desechadas las cuales deben ser molidas hasta obtener tamaños apropiados para cumplir con estándares de calidad, este caucho recibe el nombre de grano de caucho reciclado o GCR., Puede ser adicionado a las mezclas asfálticas mediante dos procesos, mezclándolo con el ligante o proceso húmedo, y mezclándolo con los agregados o proceso seco.

El Costo de la construcción del pavimento flexible es alto, También por este motivo se pretende justificar el reemplazo del agregado por el grano de caucho, para reducir el costo final y optimizar los recursos económicos. Además, esta técnica pretende solucionar los problemas prematuros en fallas de los pavimentos flexibles, que en la actualidad es una necesidad muy importante contar con buenas vías, caminos y carreteras, que además de comfortable contribuyen al desarrollo social, económico y ambiental del país.

1.1. Antecedentes

En los últimos años el mundo está cada vez más contaminado y con un deterioro creciente en el medio ambiente, la preservación de los recursos naturales se ha convertido en una preocupación general de todos los sectores productivos del mundo. Las mezclas asfálticas con adición de residuo de caucho fueron y siguen siendo investigadas en su aplicación.

Algunos estudios iniciales en la década de los cincuenta luego de la segunda guerra Mundial, realizaron la construcción de tramos experimentales incorporando caucho triturado con el objeto de aprovechar su flexibilidad y lograr una superficie del pavimento eficiente y duradera, obteniendo resultados que proporciona pequeños o nulos beneficios en un pavimento asfáltico modificado con un menor costo y una vida de servicio más larga.

En años 60 Ingenieros suecos ampliaron este tipo de mezcla para mejorar las condiciones de viabilidad invernal corta que la de un convencional.

Y en la actualidad se realiza un estudio contratado por el instituto de desarrollo Urbano, UDU, con la Universidad de los Andes como parte de un programa de investigación para mejorar el comportamiento de mezclas asfálticas que se colocan en la ciudad de Bogotá.

La posibilidad de reutilizar hoy en día los neumáticos en desuso, como materia prima en la construcción ya no es sólo una idea, prácticamente es una realidad en países como: Estados Unidos, México, Puerto Rico y países sudamericanos están utilizando el caucho como agregado para las mezclas de concreto. Las universidades de Colorado, la universidad del norte de California y la universidad de Arizona junto al departamento de transporte de Arizona desde el año de 1994 hasta la fecha, han llevado a cabo una serie de investigaciones utilizando el caucho como agregado y para qué fines estas pueden ser aprovechadas al máximo dentro de la construcción de obras civiles dentro de un país de gran desarrollo y de primera élite mundial. Asimismo, la concretera mundial mexicana reconocida por el nombre de CEMEX, están realizando investigaciones de cómo utilizar el caucho, estas investigaciones se desarrollan con el único propósito de reutilizar las llantas en desuso y utilizarla como agregados para la elaboración de concretos, con la finalidad de utilizarlos como una alternativa más, en la elaboración de concretos más competitivos en el mercado ingenieril (Núñez, 2016)

1.2. Justificación

La presente investigación pretende dar a conocer la aplicación del Grano de Caucho Reciclado (GCR) de Neumáticos fuera de uso, como un agente modificador en la mezcla asfáltica, que es una gran solución a los problemas de contaminación como son los Neumáticos fuera de uso, así disminuir el impacto sobre el medio ambiente. Como también estableciendo otro parámetro para la construcción de estos pavimentos, los cuales nos dan características de alta resistencia, durabilidad y bajo desgaste a las inclemencias del clima y tráfico. También garantizando una mejor vía de circulación, una mayor vida útil, menores gastos en vías y obteniendo un adelanto económico, social y ambiental.

Es necesaria la realización de nuevos diseños de pavimentos flexibles modificados con la cualidad que sean porosos en nuestro departamento de Tarija, donde se le está brindando al conductor una mayor seguridad al conducir y así evitar los accidentes automovilísticos causados por el hidro planeo durante las lluvias. Cuando la estructura es porosa se proporciona una mayor adherencia llanta pavimento, tanto en estado seco como húmedo, dando a la población una mayor seguridad y confort.

Las mezclas modificadas con grano de caucho reciclado de Neumáticos fuera de uso, son una gran solución a los problemas de contaminación debido a las llantas desechadas, donde se ve el reflejo en una mejor economía utilizando este tipo de mezclas asfálticas, donde sus características físico-mecánicas son mejoradas y también su bajo costo de mezclado; así mismo es parte de la solución a un problema de contaminación ya existente y sin ninguna solución total que se da.

Se conoce la preocupación de sus depósitos de neumáticos de goma en distintos países y la gran demanda de estos a residuos, y la reproducción de enfermedades e insectos que se genera en ellos. Por estos motivos, y aprovechando de las nuevas tecnologías en mecanismo de elaboración de ligantes asfálticos, es que se vió la necesidad de examinar la incorporación del residuo de neumáticos en ligantes asfálticos.

Resulta positivo este estudio, ya que los materiales a sustancia analizados resonancia de fácil carretera, el interés en general es de mejorar el funcionamiento de los pavimentos flexibles y sean seguros pares el cliente, con un buen dominio de aptitud a los materiales de casa a ser utilizados en el entorno.

El principal campo de investigación es puramente experimental con mezclas asfálticas en caliente afectadas por diferentes materiales como piedra triturada, arena natural, cemento asfáltico 85-100 y en este caso goma de llanta usada; donde se evaluaron los resultados obtenidos en el laboratorio.

El propósito de este estudio es formular la hipótesis de que el uso de diferentes porcentajes de caucho de desecho para reemplazar el agregado en las mezclas asfálticas funcionará bien y aumentará la durabilidad a un costo menor que el habitual.

1.2.1. Aporte académico

En el presente trabajo titulado “análisis de los efectos del caucho reciclado en las propiedades de la carpeta asfáltica en su forma granular por el método Marshall” será realizado con fin de determinar, con base en ensayos de laboratorio, si el producto del reemplazo de agregados finos por grano de caucho reciclado en mezcla de la carpeta asfáltica cumple con las normas técnicas para el uso en calles destinadas al tráfico vehicular.

Los porcentajes óptimos de grano de caucho y de cemento asfáltico a utilizar en la mezcla asfáltica modificada están estrechamente relacionados ya que, a mayor porcentaje de un material, se reducía el porcentaje del otro material.

En razón a los porcentajes a aplicar en la mezcla asfáltica Las propiedades de la carpeta asfáltica modificada con caucho reciclado se determinarán mediante los estudios y ensayos de laboratorio de diseño de mezcla asfáltica. En razón a la comparación de las propiedades de la mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado y las propiedades de la mezcla asfáltica convencional.

1.2.2. Aplicación técnica

Con la utilización de la dosificación óptima de grano de caucho reciclado se puede utilizar como material de pavimentación en carreteras de alto tráfico, mediano y ligero, además el caucho reciclado se puede utilizar para diferentes tipos de usos.

Además, los materiales a ser analizados son de fácil acceso, el propósito general es de mejorar el funcionamiento de los pavimentos flexible y sean seguros para el usuario, con

un buen nivel de control de calidad a los materiales de construcción a ser utilizados en el medio.

1.2.3. Importancia social

Las principales ventajas ambientales que se derivan del empleo de grano de caucho reciclado de neumático en los materiales asfálticos son las siguientes: Se reciclan y reduce el volumen de neumáticos fuera de uso depositados en vertederos y en lugares desconocidos o no autorizados reducción de la propagación de enfermedades por la proliferación de insectos o mosquitos. El empleo de residuos permite a su vez ahorros en recursos naturales. Su empleo en mezclas asfálticas permite reducir el nivel sonoro de rodadura. Las reducciones observadas son del orden de 3 a 4 dB respecto a las mezclas asfálticas convencionales. Las mezclas asfálticas fabricadas con grano de caucho pueden reciclarse en el futuro, cuando se agote su capacidad de servicio.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

El grano de caucho reciclado es una alternativa eco-ambiental que se tiene para mejorar las propiedades de los pavimentos flexibles; tales como: La densidad, Estabilidad y fluencia Marshall.

Los efectos del caucho reciclado en forma granular se expresan como incrementos de la densidad estabilidad y fluencia Marshall son adicionados en porcentajes a la carpeta asfáltica.

Al no proceder con esta prueba, no podrá conocerse los porcentajes óptimos y mucho menos cuantificar las mejoras propuestas.

El análisis de la investigación estará desarrollado en etapas bien definidas con pruebas de calidad.

1.3.2. Delimitación del tiempo y espacio

El fenómeno ocurre en el tiempo “presente” y que las referencias del presente trabajo de investigación estarán condicionadas de esa manera, donde el área temática será asfaltos por lo consiguiente los diferentes ensayos, caracterización y pruebas se desarrollaran dentro del laboratorio de asfaltos y laboratorio de Suelos de la UAJMS

1.3.3. Formulación del problema

¿De qué forma los efectos del caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en forma granular adicionado a la carpeta asfáltica producen mejoras en la densidad, estabilidad y fluencia según la prueba de Marshall?

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general

Analizar los efectos del caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en forma granular; considerando las propiedades de las carpetas asfálticas con el método Marshall.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información teórica de la aplicación de residuo de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en forma granular en mezclas asfálticas.
- Determinar las características propias de los componentes para realizar las mezclas asfálticas.
- Diseñar y elaborar la mezcla asfáltica convencional y las mezclas modificadas con caucho reciclado al 1,2 y 3%.
- Establecer los resultados de las propiedades de las mezclas asfálticas en estudio aplicando el método Marshall.
- Realizar un análisis de los efectos del caucho reciclado en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas.
- Establecer conclusiones y recomendaciones acorde a los resultados obtenidos.

1.5. Hipótesis

El caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en su forma granular adicionado a la mezcla asfáltica produce mejoras en las propiedades de la carpeta asfáltica con la prueba Marshall.

1.6. Conceptualización de las variables

1.6.1. Variable independiente.

El porcentaje o cantidad de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en forma granular que se adicionara a las mezclas asfálticas convencionales.

1.6.2. Variable dependiente.

Propiedades de resistencia Marshall:

Se refiere a los parámetros, que definen a la resistencia de una mezcla asfáltica.

1.6.3. Operacionalización de las variables.

Tabla 1. Operación de variables

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor de acción
Variable Independiente Cantidad de caucho en la mezcla asfáltica.	Se refiere a los distinto porcentajes de caucho reciclado en forma granular que se adiciona en las mezclas asfálticas convencionales	producción	Kg.	Triturado, cantidad necesaria.
		Tamaño de partícula	% que pasa	Granulometría
		Variación de caucho en la mezcla	%	1, 2 y 3%
Variable Dependiente Propiedades Marshall	Se Refiere a los parámetros que definen la resistencia de una de una mezcla asfáltica.	Densidad	gr/cm ³	Relación de pesos: seco, Superficialmente seco y sumergido, de los especímenes
		Estabilidad	Lbf.	Rotura de Especímenes
		Fluencia	0,01 pulg.	Deformación durante rotura de los especímenes
		Vacios de la mezcla	%	Relación de pesos: seco, Superficialmente seco y sumergido, de los especímenes
		Vacios del agregado mineral	%	Relación de densidades
		Relación Betún Vacíos	%	Relación densidades vacíos

Fuente: Elaboración propia

1.7. Alcance

Se trata de una investigación de tipo casual explicativo debido a la manipulación de los porcentajes de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en grano denominada variable independiente por otro lado la variable dependiente es la obtención de las propiedades de la mezcla asfáltica: densidad, estabilidad y fluencia por el método Marshall todo esto deduce que el diseño es preexperimental ya que se manipularán variables.

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

CAPÍTULO II ESTADO DE CONOCIMIENTO.

2.1. Marco conceptual

En los últimos años, la construcción de asfalto modificado se ha extendido por todo el mundo para cumplir con condiciones severas como la vida útil del pavimento y para mejorar el rendimiento y lograr una vida más larga.

Durante muchos años los estudiosos han ido mejorando el asfalto implementando fibras vegetales, otros que son reciclados como polímeros de plástico, caucho de neumáticos (llantas), en la búsqueda de más confiabilidad en propiedades mecánicas, logrando mayor resistencia en deformación por agentes medioambientales, la finalidad que se busca al incorporar caucho al asfalto se asocia a la resistentes de altas temperaturas, disminuyendo en el futuro ahuellamientos, esto no debe implicar mayor costo, consideramos vital: (Angulo Rodríguez, 2008).

- Sumamente fácil
- Excelente mixtura con el asfalto
- Resistente a la flexibilidad
- Costo Bajo

2.1.1. Pavimento

El pavimento físicamente está constituido por varios espesores o capas conocidas, materiales de características mecánicas que funcionan a base de respuestas, cuando es activado por funciones de excitación, sencillamente el Pavimento está caracterizado por la cantidad y calidad de materiales y su detallada construcción, para soportar cuando es sometido a cargas producidas por el tránsito vehicular tales como esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones.

La vida útil de un pavimento se define el tiempo que transcurre hasta que este falle, donde muestra sus características de desgaste y así reflejar su tiempo de servicio que proporciona al usuario, por este motivo al momento de presentar un proyecto de pavimentación se debe tener en cuenta las causas que pueden llevar a su desgaste prematuro como lo es el mal manejo de la disposición de materiales, el volumen vehicular, los agentes ambientales, el

proceso constructivo y su conservación, que a su vez trae importantes implicaciones de tipo benéfico costo.

El mal diseño de un pavimento puede ocasionar el colapso de la estructura del pavimento o de alguno de sus componentes, de tal manera que el pavimento es incapaz de soportar las cargas, a lo que llamamos falla estructural o el no cumplir con su función primordial, provocando incomodidad e inseguridad en el usuario, así como esfuerzos imprevistos en los vehículos

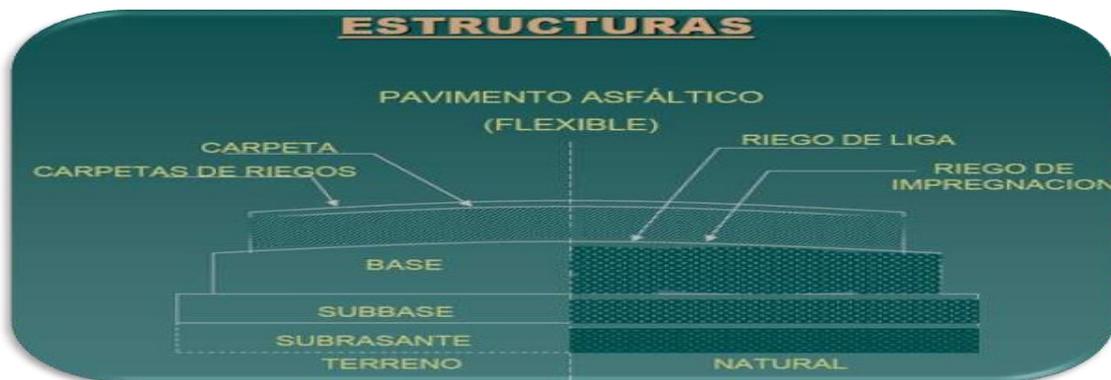
2.1.2. Funcionalidades de un pavimento.

- Capacidad para soportar las cargas.
- Resistencia adecuada al derrapamiento.
- Regularidad superficial longitudinal y transversal.
- Rápida eliminación del agua superficial.
- Bajo nivel de ruido.
- Bajo nivel de desgaste de las llantas.
- Adecuadas propiedades de reflexión luminosa y apariencia agradable.

2.1.3. Estructuras de un pavimento flexible.

- Carpeta asfáltica o capa de rodadura
- Base granular
- Subbase granular
- Subrasante

Figura 1. Estructura de un pavimento asfalto flexible



Fuente: Sánchez González, Ángel. Asfaltos Modificados. Mexico, 2011; pag 9

2.1.4. Carpeta asfáltica

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación. Según la granulometría del material pétreo que se utilice, pueden ser de granulometría densa, abierta o discontinua, tipo SMA. Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente se construyen para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Cuando son de un espesor igual a cuatro (4) centímetros o mayor, las carpetas de granulometría densa tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento. Las carpetas de granulometría abierta y de granulometría discontinua, tipo SMA, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de permitir que el agua proveniente de la lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. (Mur-Meter, 2008, pág. 1)

2.1.5. Tipos de mezclas asfálticas

2.1.5.1. Mezclas asfálticas en caliente.

Esta Especificación fija las condiciones y procedimientos a ser adoptados en la ejecución y control de las capas de concreto asfáltico a ser ejecutadas como revestimiento de pavimentos flexibles, como capa de refuerzo en restauración de pavimentos, capa intermedia (binder) o capa de impermeabilización de conformidad con alineamientos y cotas definidos en el proyecto.

- **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.
- **Capa de Rodadura** – capa superficial que servirá de superficie de rodadura y sufrirá las acciones del tráfico, impermeabilizará y mejorará las condiciones de

rodadura.

- **Capa de base (binder) o capa intermedia** – capa ejecutada debajo de la capa de rodadura, tiene la función de ligar la capa subyacente.
- **Capa nivelante** – ejecutada en la restauración del pavimento, sobre el pavimento antiguo degradado, con el objetivo de impermeabilizar la superficie, sellar las aberturas existentes, sellar las fisuras existentes difiriendo su reflejo en las capas superiores de refuerzo. Puede ser aplicado con la finalidad de regularizar o nivelarla superficie deformada, generalmente es ejecutada en concreto asfáltico de granulometría fina.

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

No será permitida la ejecución de los servicios, objeto de esta Especificación, en días de lluvia. El concreto asfáltico solamente deberá ser fabricado, transportado y aplicado cuando la temperatura ambiente sea superior a 10°C en ascenso.

2.1.6. Cemento asfáltico. -

La ASTM define al asfalto o cemento asfáltico como “un material ligante de color marrón oscuro a negro en el que sus componentes predominantes de hidrocarburos de alto peso molecular, como los asfaltos, alquitranes, breas.

En pocas palabras, el asfalto refinado es el residuo de la refinación del petróleo crudo, en otras palabras, es el último de los componentes obtenidos en el proceso de refinación del mismo. Sin embargo, de acuerdo con el Manual del Instituto del Asfalto, el total existente de asfalto refinado en el mundo no está compuesto únicamente por asfalto ya que de igual manera se encuentran variaciones de acuerdo con el contenido del mismo, por lo que éstos se clasifican en:

- a) Petróleos crudos de base asfáltica.
- b) Petróleos crudos de base parafínica.
- c) Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El asfalto se vuelve importante por sus composiciones químicas físicas y mecánicas las cuales permiten la cohesión y la adherencia con agregados granulares haciéndola más

sólida y al calentarse se ablanda y a altas temperaturas se vuelve líquida, lo que permite a la hora del mezclado con los agregados granulares una reducción de vacíos y una mayor compactación, por esta razón se debe tener en cuenta la temperatura a la hora de aplicación de este, es más sólido en climas de bajas temperaturas y más blando en climas de alta temperatura. (Cazon, 2004)

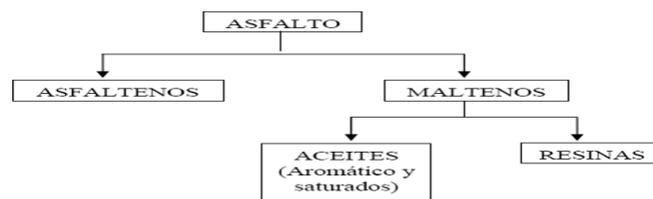
El asfalto es un material altamente impermeable y por sus propiedades de adherencia y cohesión, es capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Como aplicación de estas propiedades el asfalto puede cumplir, en la construcción de pavimentos, las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una eficaz unión y cohesión entre agregados granulares, capaz de resistir la acción mecánica a la separación de sus agregados producida por las cargas vehiculares. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

2.1.6.1. Composición del asfalto.

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la dispersa. Las primeras experiencias para describir su estructura, fueron desarrolladas por Nellensteyn en 1924, cuyo modelo fue mejorado más tarde por Pfeiffer y Saal en 1940, en base a limitados procedimientos analíticos disponibles en aquellos años. (prisma, 2007)

Figura 2. Composición del asfalto



Fuente: Revista Técnica Asfáltica N.8, enero 2007, pág. 48

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos

fases; una discontinua (aromática) formada por dos asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada máltenos. Las resinas contenidas en los máltenos son intermediarias

en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los de otra manera insolubles asfáltenos. Los máltenos y asfáltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.

Figura 3. Composición del asfalto

Asfaltenos	Maltenos
>Compuestos Polares >Hidrocarburos Aromáticos >Peso molecular mayor 1.000 Precipitan como sustancias oscuras por dilución con parafinas de bajo punto de ebullición (pentano-heptano)	>No polares >Hidrocarburos Alifáticos más Nafénicos y Aromáticos >Peso molecular hasta 1.000 Medio continuo

Fuente: www.ecosasfaltos.com

2.1.6.2. Propiedades físicas:

El asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se le combina usualmente. Su color varía entre el café oscuro y el negro; de consistencia sólida, semisólida o líquida, dependiendo de la temperatura a la que se exponga o por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

2.1.6.3. Composición química:

Es de mucha utilidad, un amplio conocimiento de la constitución y composición química de los asfaltos, para el control de sus propiedades físicas y así obtener un mejor funcionamiento en la pavimentación. Al igual que el petróleo crudo, el asfalto, es una mezcla de numerosos hidrocarburos parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos que contienen azufre, nitrógeno y oxígeno; casi en su totalidad solubles en sulfuro de carbono. En la Fotografía 3 muestran los porcentajes de hidrocarburos y heteroátomos en diferentes muestras de asfaltos.

Tabla 2. Composición química del asfalto

Elemento	Concentración (%)
Carbono	82-88%
Hidrogeno	8-11%
Azufre %	0 - 6%
Oxigeno %	0,77
Nitrógeno %	0 - 1%

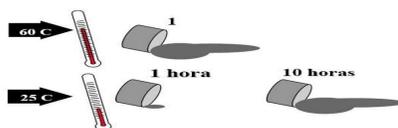
Fuente: conferencia: introducción a la química del asfalto por: Ing. German Cazón, costa Rica,2004

Estas moléculas que conforman el asfalto poseen una cadena lineal de estructura alifática, compuestos por unos anillos insaturados y saturados, que son estructurados por grandes proporciones de hidrogeno-carbón. Las moléculas de asfalto no solo poseen en su composición hidrocarburos, aparte de estos componentes el asfalto posee nitrógeno, azufre, oxígeno y metales como el níquel el vanadio, y el hierro estos metales depende de la fuente de obtención del petróleo, los elementos anteriormente mencionados se denominan heteroátomos y existen en pequeños porcentajes para influir entre la interacción de las moléculas y las propiedades del asfalto de esta manera las moléculas se mantienen unidas por la composición de los enlaces covalentes.

2.1.6.4. Comportamiento físico-mecánico del asfalto

La naturaleza visco-elástica del cemento asfaltico está basado en la función de carga y temperatura y el comportamiento que este tiene al envejecimiento por esta razón las altas temperaturas en un lapso de tiempo corto son directamente proporcional a lo que ocurre a bajas temperaturas en lapso de tiempo largo.

Figura 4. Conducta visco-elástica



Fuente: El asfalto, Capítulo 1.

Véase: www.catarina.edulap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/de_1_a/capitulo1

2.1.6.5. Ensayos para caracterizar el cemento asfáltico

- Ensayo de viscosidad
- Ensayos de penetración
- Ensayo punto de inflamación
- Ensayo de ductilidad

2.1.7. Agregados para uso en mezclas asfálticas

Ya que la calidad y gradación de los agregados tiene efecto importante en las propiedades de la mezcla, el tipo de agregado debe ser considerado cuidadosamente, pues las propiedades varían según el lugar de producción. Calidad y gradación del agregado obtenida en ensayos de laboratorio indican los niveles recomendables de su uso. Así, la selección apropiada del agregado depende esencialmente del propósito de su aplicación, tomando en cuenta los factores económicos.

2.1.8. Tipos de Agregados utilizados en mezclas asfálticas

2.1.8.1. Agregado Grueso

Los agregados gruesos son partículas grandes, mayores aproximadamente a 2,5 mm (0,1 plg). Normalmente son obtenidos de gravas naturales de lechos de ríos, rocas trituradas o de gravas trituradas y zarandeadas. El agregado grueso estará constituido de fragmentos sanos, duros, durables, libre de terrones de arcilla y sustancias nocivas, debe presentar las siguientes características:

- 1) El porcentaje de desgaste Los Ángeles de los agregados gruesos no será mayor que 40% a 500 revoluciones, 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%.

2.1.8.2. Piedra triturada (Grava)

El material bruto para piedra triturada debe provenir de roca dura, como la arenisca, basalto, piedra caliza u otra piedra de calidad equivalente, o piedra de canto rodado con un tamaño de partícula de por lo menos tres veces más grande que el tamaño máximo requerido para el producto final.

El producto requerido triturado puede ser tamizado para obtener el tamaño del 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 agregado “triturado sin cribar”, en muchas oportunidades pueden utilizarse en la construcción de pavimentos asfálticos.

La piedra triturada debe tener uniformidad, limpieza dureza y durabilidad suficiente y estar libres de una cantidad perjudicial de partículas planas o alargadas, sucias con barro o con materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

2.1.8.3. Grava triturada (Gravilla)

Grava triturada son piezas trituradas de canto rodado o grava para hacerlo más apropiado para su uso en mezcla 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. Las proporciones de las partículas que tiene una o más caras fracturadas, tiene que ser mayor al 75% del peso total de partículas retenidas en el tamiz de 4,75 mm sin otro procesamiento, este producto de grava triturada o chancada se llama “triturado sin cribar”

2.1.8.4. Agregado Fino (Arena)

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 una combinación de las mismas.

Solamente se podrá utilizar cernidura de piedra calcárea cuando se emplee una cantidad igual de arena natural. (Administradora Boliviana de Carreteras, 2011)

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

- 1) El ensayo de equivalente de arena, de acuerdo al Método AASHTO T-176 deberá dar mayor que 45%.
- 2) Estos materiales no deberán acusar un hinchamiento mayor que 1,5% determinado por el método AASHTO T-101.

- 3) Cuando se utilice grava o cantos rodados triturados no menos del 90% en peso de las partículas retenidos por el tamiz N° 4, deberá presentar por lo menos una cara fracturada.

2.1.8.5. 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 siguientes exigencias granulométricas. (Administradora Boliviana de Carreteras, 2011)

Tabla 3. Requisitos de graduación para el material de relleno (Filler)

Tamiz	Porcentaje de peso que pasa por los tamices (AASHTO T-27)
N° 30	100
N° 80	95 – 100
N° 200	65 - 100

Fuente: Manual de especificaciones técnicas Administradora Boliviana de carreteras

En el momento de aplicación el Filler deberá estar seco y exento de grumos.

El material que pasa por el tamiz N° 200, o sea el polvo mineral, deberá cumplir con la siguiente regla: más del 50% deberá hacerlo por tamizado seco con relación a la vía húmeda.

El polvo mineral será no plástico al ser ensayado por el método AASHTO T-91.

2.1.9. Materiales Bituminosos

Todo cargamento de material bituminoso al llegar a la obra deberá presentar certificado de análisis y comprobante clara de su procedencia, tipo de cemento cantidad de su contenido y distancia de transporte entre la refinera y los depósitos para material bituminoso. Los materiales cumplirán con los requerimientos de las siguientes Especificaciones:

- Cemento asfáltico AASHTO M-20
- Alquitrán AASHTO M-52
- Material asfáltico líquido de curado lento AASHTO M141
- Asfaltos diluidos de curado medio AASHTO M82

- Asfaltos diluidos de curado rápido AASHTO M81

Los tipos de materiales serán los siguientes:

- Cementos asfálticos de penetración 60 - 70, 85 - 100 y 120 - 150.
- Alquitranes tipo RT-11 y RT-122,2

Los tipos de material a emplear en la imprimación podrán ser los siguientes:

- Material asfáltico líquido curado lento SC70, SC250
- Asfaltos diluidos de curado medio MC30, MC70
- Asfaltos diluidos de curado rápido RC250
- Emulsiones asfálticas catiónicas de quiebre lento CSS-1, CSS-1h

El régimen de aplicación será tal que permita en 24 horas la absorción del material bituminoso por la base granular. La característica de absorción será determinada experimentalmente en la Obra. La cantidad del material que se aplica está entre 0,4 y 1,00 l/m², en función del tipo y textura de la base, la imprimación y del material bituminoso elegido, de tal forma que el espesor de la superficie impregnada resulte no menor de 0,005 m (5 mm) (Administradora Boliviana de Carreteras, 2011).

Los materiales bituminosos para distintas aplicaciones serán empleados dentro de los límites de temperatura que se indican a continuación, cuidando no exceder el punto de inflamación que en cada caso necesariamente será determinado:

Tabla 4. Temperaturas de aplicación material bituminoso

Tipo y calidad del material	Límites de temperaturas	
	Min. (C°)	Max (C°)
MC - 30	21,11	62,78
RC - MC - SC - 70	40,56	85,00
RC - MC - SC - 250	60,00	105,50
RC - MC - SC - 800	79,44	130,00
RC - MC- SC - 3,000	101,11	154,40
Todas las calidades de cemento asfáltico	-	176,70

Fuente: Manual de especificaciones técnicas Administradora Boliviana de carreteras

2.1.10. Caucho reciclado

Es la industria de las llantas la que emplea más polibutadieno (caucho sintético); sólo el 23% de la producción mundial se utiliza en otros productos. En las llantas, especialmente

en la banda de rodadura, el polibutadieno tiene un lugar importante, ya que provee alta resistencia al desgaste y menos resistencia a la rodada que cualquier otro elastómero.

Su principal inconveniente se presenta cuando el piso está mojado. Para eliminar este obstáculo, se suele mezclar el polibutadieno con SBR (Hule butadieno- estireno) o con hule natural en cantidades variables dependiendo de la aplicación.

Así, por ejemplo, las llantas de los automóviles de pasajeros se fabrican con una mezcla de butadieno con SBR, mientras que las llantas de los camiones por lo general están constituidas por mezclas de polibutadieno con hule natural.

El CRLR es obtenido de las llantas en desuso de los automotores, las cuales, de otra manera, no tendrían un destino diferente al de los sitios dispuestos como rellenos municipales o simplemente basureros a cielo abierto, cumpliendo un importante y peligroso papel en la creciente contaminación ambiental que nos afecta actualmente.

Existen industrias especializadas en el reciclaje de caucho, como por ejemplo aquellas que fabrican pavimentos anticáidas de caucho reciclado. Estas empresas de reciclaje separan los elementos que componen el neumático: el caucho vulcanizado, el acero y las fibras.

Los cespedes artificiales, los pavimentos deportivos, las pistas de atletismo y el aislamiento acústico, son algunos usos que se han dado al caucho reciclado

Esto se debe a que aproximadamente el 70% de las llantas son incineradas como combustible en hornos de producción panelera y de cemento entre otros, afectando el medio ambiente y la salud pública a causa de las emisiones de contaminantes carcinogénicos y muta génicos como lo son los compuestos orgánicos volátiles (COV's) y los hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP's), además de otros elementos que causan afecciones al Sistema respiratorio y circulatorio. (Carrizales, 2015)

El reciclaje de llantas en Bolivia no llega al 5%, y el mercado solo aprovecha el 50% de los productos generados. Si en Bolivia se usan tres millones de llantas por año y si cada llanta se degrada en mil años ¿a dónde van a ir a parar tantas llantas?; son pocas las empresas que reciclan y transforman en productos con valor agregado.

La mayoría de la gente no sabe cómo se hace una llanta, de dónde viene, que recursos de la naturaleza se usaron para fabricarla y, sobre todo, una vez que ya no se usa qué pasa. En el mundo se producen más de ocho millones de unidades diarias, en Bolivia se usan casi 3 millones por año; Santa Cruz ocupa el 40%. Es un hecho que a medida que crece el parque automotor, crecerá una demanda que se multiplica cada día.

La carga medioambiental que conlleva la producción de una llanta incluye una fuerte presión sobre la biodiversidad. Un neumático se hace con caucho natural y sintético. La materia prima de este último es el petróleo, mientras que el caucho natural procede del líquido lechoso (látex) de diversos árboles tropicales, sumado a esto, tiene aros de acero que se extraen de la tierra y tela de Nylon que utiliza bastante agua para su fabricación.

La vida útil de una llanta oscila entre los 10 a 40 mil km recorridos, dependiendo de la calidad del neumático.

En Bolivia, aún se desconoce el porcentaje exacto de llantas recicladas. Según un estudio sobre la gestión de residuos del sector transporte en Bolivia realizado por Swisscontact del 2018 para el proyecto Mercados para el Reciclaje, solo en el eje troncal, se calcula que un 4,3% del total generado de llantas es reciclado. En Cochabamba hay empresas que reciclan y cuentan con plantas que trituradoras y que convierte las llantas en desuso en caucho granulado. La maquinaria tritura dos toneladas de llantas por hora. (swisscontact, 2020). Plantas como:

- **INGOQUI** ubicada en el departamento de Cochabamba (Vinto camino a ORURO)
- **TERRACYCLE** ubicada en el departamento de Cochabamba (Tiquipaya Av. 4 esquinas y c/Cabrera).

2.1.10.1. Proceso pasa a paso de reciclaje y producción de caucho

El proceso producción de nuestro producto (trituración de neumáticos en desuso), se realiza en varias etapas y a temperatura ambiente. A grandes rasgos, consta de una trituración primaria y una secundaria, incluyendo la separación de la parte metálica y de la parte textil.

Los neumáticos ingresan a la planta y en la primera fase del proceso se les extrae el cordón de alambre del talón -anillo de acero- antes de ingresar a la trituración primaria. Esto es necesario para evitar daños y un excesivo desgaste de las cuchillas de los equipos de trituración. Luego ingresan a través de cintas transportadoras al triturador primario donde se reduce el tamaño del neumático a trozos más pequeños.

La trituración se lleva a cabo en molinos que están formados por dos rodillos, que poseen ranuras con bordes afilados que rompen el caucho vulcanizado, incluyendo los restos metálicos y la parte textil. Estos trozos son transportados al triturador secundario o granulador que consiste en una prensa extrusora con cribas y etapas de separación magnéticas para recuperar el acero restante. En cada etapa, por un sistema de transporte neumático, se separa el material textil por diferencia de densidad. Finalmente, el gránulo de caucho reciclado se clasifica en diferentes tamaños para ser embolsado según su espesor.

El proceso de producción, se puede describir en las siguientes etapas:

Paso 1: Recolección de caucho

El primer paso es la recolección de los neumáticos en desuso de vehículos. En algunos casos estos materiales provienen de vertederos en algunos casos, las personas los depositan y lo envían al centro de reciclaje.

Figura 5. Vertedero de llantas en desuso



Fuente: elaboración propia

Etapas 2: Remoción de Laterales

Para los neumáticos de camiones normales y camiones mineros, es necesaria esta etapa, para neumáticos pequeños (vehículos livianos), se pasa directamente al Triturador

Primario y en el caso de neumáticos mineros los pedazos resultantes se dirigen al triturador portátil para una pre-trituración, luego los trozos resultantes pasan al triturador primario, en vez de transportar neumáticos enteros.

El removedor de laterales raspa la cara de los neumáticos hasta el metal, resultandoun menor tamaño, después de esto, el neumático resultante se corta en 12 pedazos.

Figura 6. Removido de laterales de los neumáticos



Fuente: swisscontact

Etapas 3: Triturador Primario

Dos cargadores se encargan de depositar los neumáticos a correas transportadoras que los llevan hacia el triturador primario.

En esta etapa, entran todos los neumáticos y los pedazos resultantes de la remoción de laterales. El triturador primario es montado sobre el triturador secundario para cortar los neumáticos en trozos adecuados para este último.

Figura 7. Trituradora de neumáticos

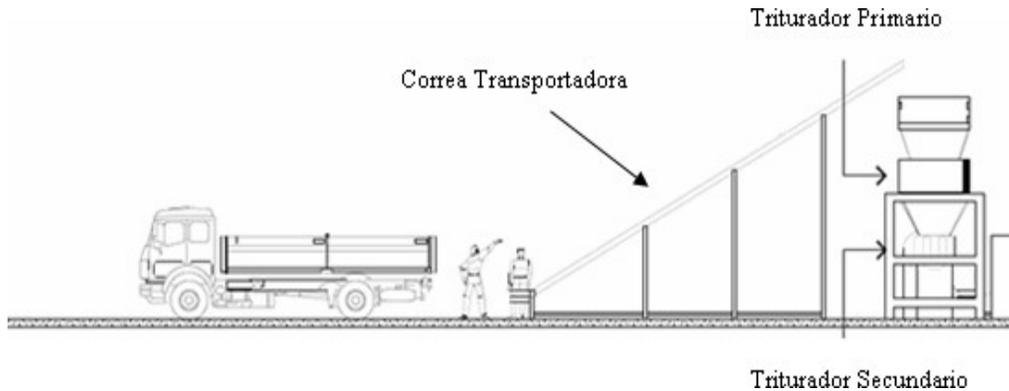


Fuente: uno reciclaje

Etapa 4: Triturador Secundario:

Los chips resultantes de la primera trituración, caen por gravedad al triturador secundario. Este triturador reduce el producto a un tamaño suficientemente pequeño (50x 50 mm.), para ser trabajado en el granulador.

Figura 8. Triturador Secundario

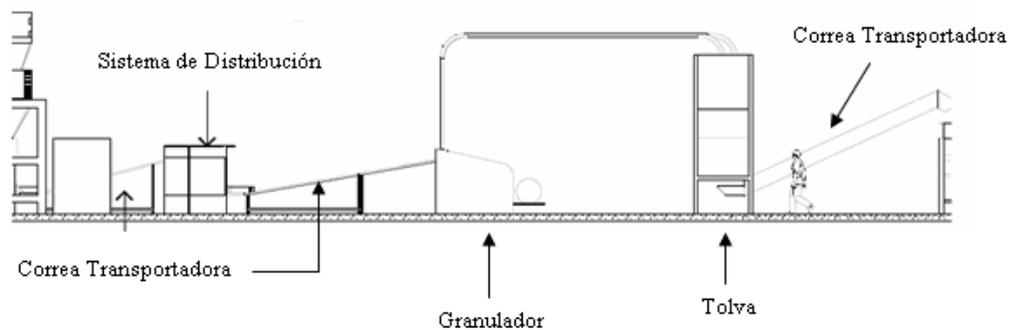


Fuente: uno reciclaje

Etapa 5: Granulación

El granulador es una máquina procesadora de dos etapas. La primera consiste en un martillo doble y la segunda en un sistema de cuchillas cortadoras que permite entregara los fragmentos de caucho la forma de gránulo. Los tamaños mayores a 8 mm., se devuelven a la prensa granuladora y repiten el proceso y los menores pasan a la etapa deseparación del acero y continúan con el proceso. En el granulador además se cumple la primera etapa de remoción del acero y la fibra. Los gránulos obtenidos se depositan en una tolva que alimenta la correa que lleva el producto a la siguiente etapa del proceso.

Figura 9. Proceso de granulación.



Fuente: uno reciclaje

Etapa 6: Separación del acero

Con imanes y cribas, la fracción de acero se separa en compuestos de acero/goma y alambres libres de acero. El acero separado pasa a la etapa de clasificación.

Separación y clasificación

Los gránulos de caucho obtenidos de la etapa anterior ingresan al clasificador, el cuales una combinación de máquinas que clasifican y limpian el producto procesado. Aquí ocurre la remoción final del acero y la fibra. El sistema clasifica el producto molido y envía una parte al sistema de empaque y otra al molino de polvo fino.

Molienda Fina

El molino de polvo fino convierte los gránulos en polvo.

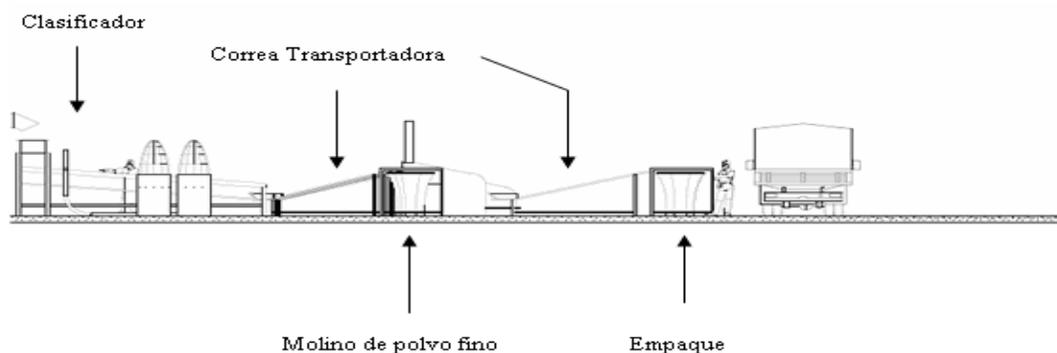
Distribución

El resultado de la clasificación tiene como productos metal, fibra, y 4 tamaños Polvo Caucho La producción tiene una distribución promedio de:

- polvo
- grano

La distribución del producto puede ser a granel mediante transportadores tipo sin-finse va almacenando en una tolva o puede ser envasada en bolsas de distintos tamaños (dependiendo del cliente)

Figura 10. Proceso de distribución.



Fuente: uno reciclaje

2.1.11. Diseño de Mezclas Asfálticas

El diseño de una mezcla asfáltica, consiste en seleccionar la calidad de los agregados y granulometría de la mezcla empleada, así como el tipo y calidad de asfalto de acuerdo al clima y las cargas que estarán presentes durante la vida útil del pavimento. En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas; Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente el desempeño de la misma como pavimento terminado.

Los métodos existentes para este objetivo son los siguientes:

- Método Marshall
- Método Hveem
- Método Superpave
- Método California
- Método Ramcodes
- Método Hubbad-Field

Métodos de diseño que son ampliamente usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. La selección y uso de cualquiera de estos métodos de diseño de mezclas es, principalmente, asuntos de gustos en ingeniería, debido a que cada método contiene características y ventajas singulares. Cualquier método puede ser usado con resultados satisfactorios.

2.1.12. Método Marshall

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrolló un criterio de diseño de mezclas. El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor. El método modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38 mm (1,5”). Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente

con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64mm (2 ½”) y 102 mm (4”) de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la **densidad-análisis** de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. **La estabilidad** del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado. **El valor de flujo** es el movimiento total o deformación, en unidades de 0,25 mm (1/100”) que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad. (Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gomez Lopez, & Romero, 2004).

2.1.12.1. Prueba mediante el método de Marshall

Este método es utilizado tanto en el diseño como en el control de las mezclas asfálticas elaboradas en planta estacionaria, en caliente, empleando cemento asfáltico. Su función primordial es determinar una mezcla asfáltica que se encuentre dentro de las especificaciones técnicas más óptimas respecto a la estabilidad, fluencia, peso volumétrico, porcentaje de vacíos y porcentaje de huecos ocupados por el cemento asfáltico.

Con la prueba de Marshall, se determinan los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente con un sistema determinado y probados a 60° C. El valor de estabilidad se determina midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen, aplicada en sentido normal a su eje. La deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga será el vapor del flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectado principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado. Principalmente el valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. El valor del flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir la

fractura. Este valor es una indicación de la tendencia de la mezcla para alcanzar una condición plástica, y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos.

2.1.12.2. Equipo necesario mínimo

El equipo necesario para la elaboración de los especímenes es el siguiente:

- Un molde de compactación provisto de un collarín y de una placa de base, un sostén de molde de compactación para sujetar firmemente el mismo
- Un pisón de compactación con superficie circular de apisonado de 9,84 cm (1.7/8") de diámetro, equipado con una pesa deslizante de 4,536 kilogramos (10 lbs.) cuya altura es de 45,7 cm (18").
- Una máquina de compresión Marshall accionada con motor eléctrico que permite aplicar cargas por medio de una cabeza de prueba con forma de anillo seccionado a una velocidad de 5,08 cm/min=2 min. Está equipada con un anillo calibrado para determinar el valor de las cargas y un extensómetro para medir las deformaciones del anillo.
- Un medidor de flujo, un tanque de saturación con dispositivo eléctrico para mantener constante la temperatura del agua.
- Hornilla eléctrica para calentar los agregados.
- Un termómetro blindado para registrar temperaturas entre 10 y 200° C.
- Una balanza con capacidad de 20 kg y sensibilidad de 1 gramo.
- Una cuchara de albañil, un baño de agua para calentar el pisón de compactación y el molde.
- Una espátula y charolas.

2.1.12.3. Elaboración de los especímenes

Para la elaboración de los especímenes se sigue el procedimiento de la siguiente manera:

Fijada la granulometría de la mezcla asfáltica, se determina el porcentaje en peso de los siguientes tamaños que ha sido separado previamente el material pétreo:

- Material retenido en la malla de 1/2"
- Material que pasa la malla de 1/2" y se retiene en la malla de 1/4"

- Material que pasa la malla 1/4" y se retiene en la malla N° 10
- Material que pasa la malla N° 10 y se retiene en la malla N° 40
- Material que pasa la malla N° 40

Para cada contenido de cemento asfáltico se fabrican tres especímenes cada uno de los cuales requieren 1200 gramos de agregado pétreo. Se toma de cada uno de los tamaños mencionados la cantidad de muestra que resulta de multiplicar el porcentaje en peso de cada fracción por el peso total de la muestra. Las fracciones ya pesadas se mezclan previamente a la adición del cemento asfáltico. La cantidad de cemento asfáltico que deberá agregarse a cada muestra se calcula sobre la base de contenido mínimo de Cemento Asfáltico.

Las cantidades de Cemento Asfáltico deberán corresponder a los siguientes porcentajes de cemento asfáltico.

- Contenido calculado -1,0 %
- Contenido calculado neto
- Contenido calculado + 0,5 %
- Contenido calculado + 1,0 %
- Contenido calculado + 1,5 %
- Contenido calculado + 2,0 %

Se mezclan los agregados y el cemento asfáltico, calentados previamente a las temperaturas de 165° C y 120° C, respectivamente, hasta obtener una distribución uniforme del cemento asfáltico. La temperatura de la mezcla no debe ser menor de 100° C al momento de elaborar el espécimen. En ningún caso la mezcla deberá ser recalentada.

2.1.12.4. Compactación de los especímenes

Para compactar los especímenes se procede de la siguiente manera:

El pisón de compactación y el molde se calentarán en un baño de agua hirviendo. Una vez caliente se sacará el equipo del baño y se colocará un papel filtro en el fondo del molde y se llenará este con la mezcla caliente. Se apoyará el pisón sobre la mezcla y se aplican 50 golpes con la pesa deslizante. La cara del pisón será mantenida paralela a la base del molde durante el proceso de compactación. Se

quitará el collarín y se invertirá la posición del molde; se colocará el collarín y se aplicarán otros 50 golpes en el espécimen. El proceso de compactación anteriormente descrito se aplicará al estudio de mezclas proyectadas para recibir presiones de contacto que no excedan de 7 kg/cm^2 (100 lbs/pulg^2). El número de golpes en cada cara del espécimen deberá aumentarse a 75 cuando las mezclas se proyecten para recibir presiones de contacto comprendidas entre 7 y 14 kg/cm^2 (100 a 200 lb/pulg^2). Se removerá el collarín y la placa de base, y el molde con su contenido se sumergirá en agua fría por un tiempo mínimo de 2 minutos. Se extraerá el espécimen del molde, se identificará y se dejará enfriar a la temperatura ambiente 12 a 24 horas. Los especímenes compactados deberán tener una altura de $6,35 \text{ cm}$ ($2 - \frac{1}{2}''$), con una tolerancia de $3,2 \text{ mm}$ ($\frac{1}{8}''$), y en caso contrario deberán repetirse el proceso. (Apuntes de diseño de pavimentos, 2010).

2.1.12.5. Prueba a compresión de los especímenes

La prueba de los especímenes comprende la determinación del peso volumétrico y la determinación de la estabilidad y flujo de los mismos. La determinación del peso volumétrico del espécimen ya compactado se realizará dividiendo el peso entre el volumen. Los valores de estabilidad y flujo se determinarán ensayando los especímenes en el aparato Marshall, siguiendo el procedimiento siguiente:

Se sumerge el espécimen en el tanque con agua a la temperatura de 60° C con medio grado de tolerancia y se mantendrá ahí 20 a 30 minutos. Mientras los especímenes se encuentran en el tanque de agua, se limpia la superficie del anillo seccionado y se lubrica los postes guía de tal manera que la sección superior del anillo seccionado se deslice libremente, se ajustará a cero el extensómetro del anillo de carga. Terminando el periodo de inmersión en agua caliente se sacará el espécimen del agua y se secará su superficie. Se colocará el espécimen entre las dos secciones de cabeza de prueba y se centrará el conjunto en la máquina de compresión. Se colocará el medidor de flujo en el poste guía y se ajustará a cero su carátula. Se aplicará la carga del espécimen a una velocidad constante de 5 cm/min . hasta que la falla del espécimen ocurra. La carga máxima aplicada para producir la falla del espécimen a la temperatura de 60° C se debe registrar como el valor de la estabilidad Marshall. Mientras la prueba se lleve a cabo se debe sostener firmemente el medidor de flujo

sobre el poste guía y se removerá tan pronto se haya aplicado la carga máxima, anotándose la deformación sufrida por el espécimen. Esta lectura en milímetros expresa el valor del flujo. Se promedian los valores de estabilidad y de flujo de los tres especímenes con el mismo contenido de cemento asfáltico, debiendo desecharse para el cálculo el valor que discrepe notablemente.

La prueba anteriormente descrita debe completarse dentro de un periodo de 30 segundos contados a partir del momento en que los especímenes sean sacados del tanque de agua caliente.

La deformación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico se efectuará de acuerdo con el criterio siguiente:

- Se calculará el promedio del peso volumétrico de los especímenes de prueba elaborados con un mismo porcentaje de cemento asfáltico.
- Por el procedimiento se determinan las densidades teóricas máxima y el porcentaje de vacíos para cada contenido de cemento asfáltico.
- Se calcula la relación entre volumen ocupado por el cemento asfáltico y el volumen total de huecos que existirá si el material pétreo del espécimen no contuviera cemento asfáltico. Para este último se utilizará la siguiente fórmula:

$$Vo = \frac{Dr * Pa * \gamma}{100 * Dr * Da - (100 - Pa)Da * \gamma} = \frac{\text{Volumen de C. A.}}{\text{Volumen total de Huecos}}$$

$$\%Vo = \frac{Dr * Pa * \gamma}{100 * Dr * Da - (100 - Pa)Da * \gamma} * 100 = \frac{\text{Volumen de C. A.}}{\text{Volumen total de Huecos}}$$

Donde:

Dr = Densidad relativa aparente del material pétreo.

γ = Peso volumétrico del espécimen en gr/cm³.

Da = Densidad relativa del C.A. (1,3 aproximadamente).

Pa = Porcentaje de C.A. con relación al peso de la mezcla.

- Se corregirán los valores de estabilidad de los especímenes que no tengan la altura especificada de 63,5 cm multiplicando los valores obtenidos por los

valores de corrección que siguen:

Tabla 5. Factores de corrección.

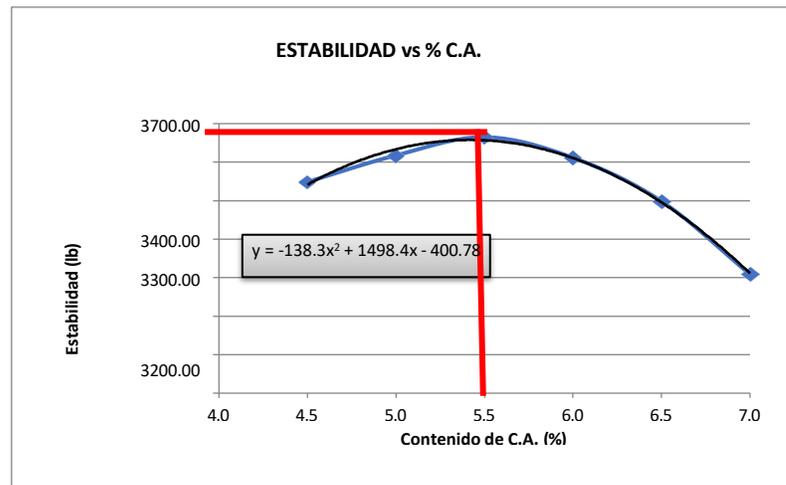
Altura del espécimen (mm)	Factor de corrección	Altura del espécimen (mm)	Factor de corrección
55	1,27	63,50	1,00
56	1,23	64,00	0,98
57	1,20	65,00	0,96
58	1,16	66,00	0,94
59	1,13	67,00	0,92
60	1,10	68,00	0,90
61	1,07	69,00	0,88
62	1,04	70,00	0,86
63	1,01	71,00	0,84

Fuente: Elaboración propia.

Se dibujan las gráficas siguientes:

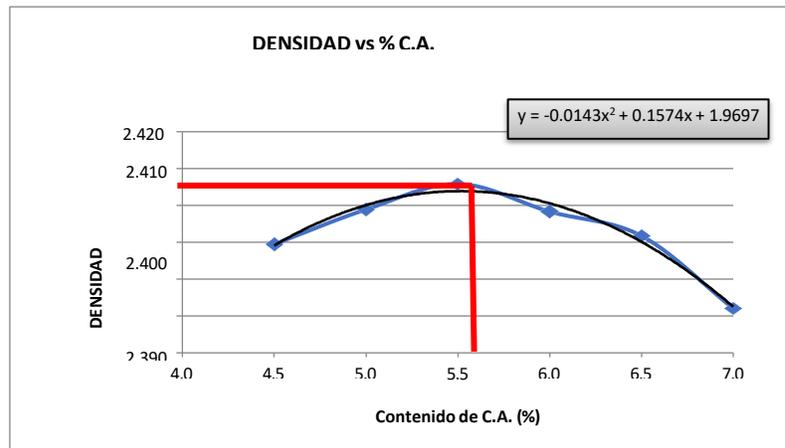
- Densidad Vs. Contenido de cemento asfáltico.
- Estabilidad Vs. Contenido de cemento asfáltico.
- Flujo Vs. Contenido de cemento asfáltico.
- Porcentaje de vacíos Vs. Contenido de cemento asfáltico.
- Huecos ocupados por el asfalto Vs. Contenido de cemento asfáltico.

Gráfico 1. Estabilidad de método Marshall.



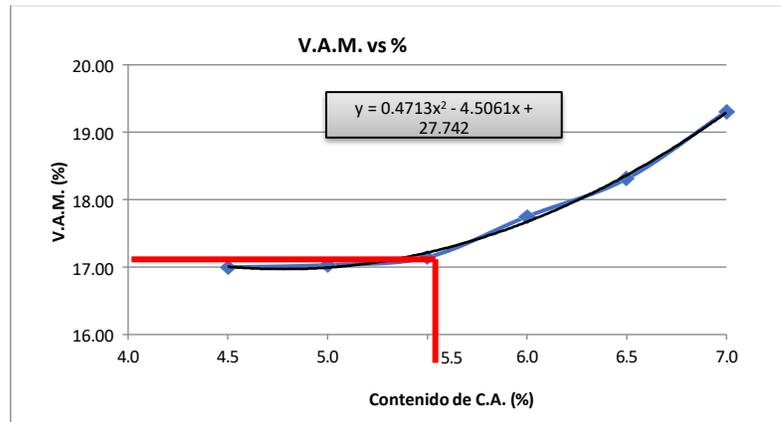
Fuente: Guías de laboratorio.

Gráfico 2. Densidad de método Marshall.



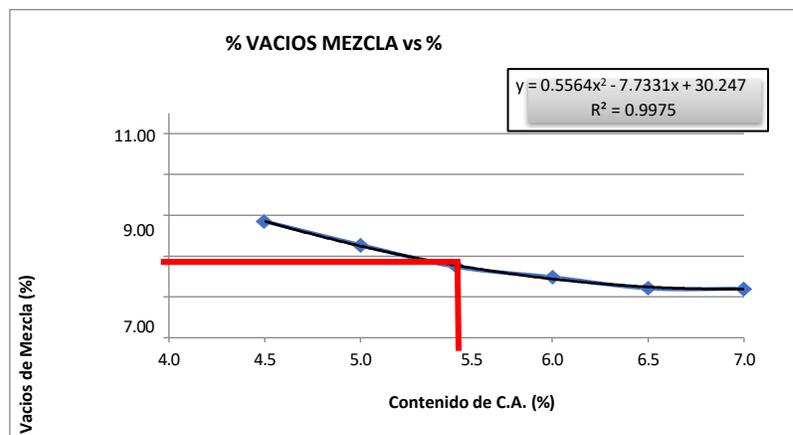
Fuente: Guías de laboratorio.

Gráfico 3. % de vacíos ocupados vs C.A. de método Marshall.



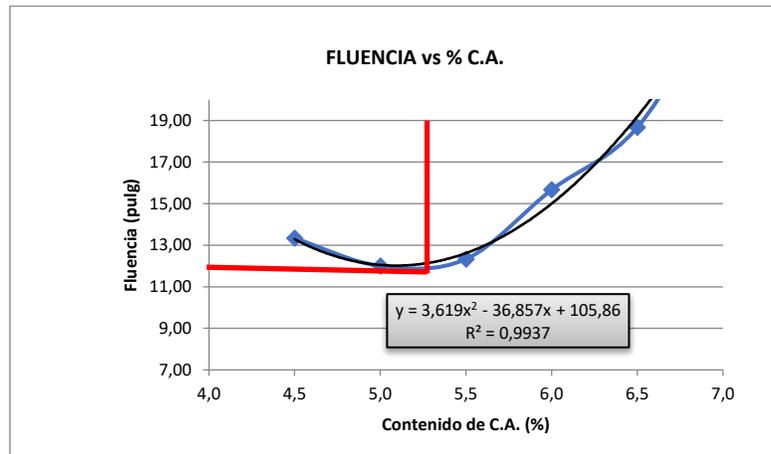
Fuente: Guías de laboratorio.

Gráfico 4. % de vacíos vs C.A. de método Marshall.



Fuente: Guías de laboratorio.

Gráfico 5. Fluencia Vs C.A. de método Marshall



Fuente: Guías de laboratorio.

- De los datos obtenidos de las gráficas indicadas, se calculará el contenido óptimo de C.A, promediando los siguientes valores.
- El contenido de C.A. correspondiente al mayor peso volumétrico.
- El contenido de C.A. correspondiente a la máxima estabilidad.
- El contenido de C.A. correspondiente al valor medio del porcentaje de vacíos señalados en la tabla.

2.2. Marco normativo.

- Normas ASTM y AASHTO
- Granulometría (AASHTO T-27)
- Peso específico (AASHTO T-84)
- Desgaste de los ángeles (AASHTO T-96)
- Equivalente de Arena (AASHTO T-176)
- Durabilidad Método de los Sulfatos (AASHTO T-104)
- Límites de Atterberg (AASHTO T-89)
- Viscosidad Saybolt Furol (AASHTO T-72)
- Punto de Inflamación (AASHTO-48)
- Penetración (AASHTO T-49)
- Ductilidad (AASHTO T-51)

- Peso Específico (AASHTO T-228)
- Granulometría (AASHTO T-27) caucho
- Instituto nacional de vías (INVIAS)

2.3. Marco referencial.

- Hugo Alexander Rondón Quintana, mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho de llanta (gcr): estado del conocimiento y análisis de utilización en Colombia, 2015.

El objetivo más perseguido por los diferentes grupos de investigación ha sido medir cómo influye en la resistencia obtenida por medio del ensayo de estabilidad Marshall, la adición de polímeros al asfalto.

Con respecto con adiciones de asfalto - caucho en mezclas drenantes producen una disminución del porcentaje óptimo de asfalto de 5.1% (asfalto convencional) a un 4.6% (asfalto modificado). Además, eleva la estabilidad en un 25%, sin presentar diferencias considerables en las otras propiedades. Se puede afirmar que la adición de caucho mediante el proceso por vía húmeda permite mejorar la resistencia a las cargas producidas por el tráfico, utilizando una menor proporción de ligante.

La utilización de este tipo de materiales general mente reciclados para modificar o mejorar algunas de las propiedades del asfalto o mezclas. contribuirá al ambiente reduciendo el impacto negativo que producen los mismos.

- Universidad de los Andes, segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de las mezclas asfálticas con desechos de llantas- pista de prueba, contrato idu-306- 003, Bogotá d.c.2005.

El presente trabajo describe cada una de las diferentes etapas que ha abordado el IDU para una adecuada y acertada aplicación de las mezclas mejoradas con GCR. Una primera etapa de investigación en laboratorio que incluyó una exhaustiva evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas de acuerdo con la tipología de las mezclas asfálticas utilizadas en Colombia. Además de una breve aplicación en un carrusel de fatiga para evaluar el deterioro de este tipo de mezclas de una manera acelerada. Una

segunda etapa de evaluación y comparación del desempeño con otros tipos de mezclas asfálticas modificadas con polímeros disponibles en el mercado colombiano. Esta etapa involucró la construcción de un tramo de prueba escala real con diferentes secciones considerando asfalto modificado con polímeros (SBS, SBR) y dos secciones con asfalto caucho, una por vía seca y otra por vía húmeda. Como resultado de estas fases una especificación técnica fue desarrollada para dar lineamientos sobre la producción y evaluación de las mezclas con GCR. Se describen de la misma manera las ventajas ambientales de la aplicación de esta tecnología dentro del entorno colombiano. La implementación y adaptación de esta tecnología eco-sostenible al entorno colombiano se está dando solución a la disposición de un residuo sólido de difícil disposición, contribuyendo a la conservación del medio ambiente, al mismo tiempo que se está produciendo un material de alto desempeño que redundará en ahorros significativos en costos de mantenimiento y conservación. Desde el punto de vista social, se ha abierto un nuevo sector de producción y de generación de empleo, por ejemplo: la cadena de recolección de llantas y la creación de la industria de la trituración de llantas que hace algunos años eran inexistentes en Colombia.

- Hoyos Diaz, Luz Magali; Puicon Herrera, Katyuska del Carmen and Munoz Perez, Sócrates Pedro. Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas: una revisión literaria. *infraestructura vial* [online]. 2021, vol.23, n.41, pp.1119. issn22153705. <http://dx.doi.org/10.15517/iv.v23i41.44410>

El objetivo principal en la investigación y recopilación literaria se analizaron diferentes artículos con el objetivo de descifrar los procesos y métodos que se emplean con el uso del Caucho Reciclado, identificar los porcentajes óptimos y la mejora que éste proporciona en las mezclas asfálticas. Se halló que los porcentajes óptimos de Caucho reciclado en las mezclas asfálticas varían en un rango de 1%-20% en peso de la mezcla total. Asimismo, utilizar el Caucho reciclado aporta diferentes beneficios a la mezcla tales como: resistencia a la tracción indirecta, a la susceptibilidad, a la humedad, a la formación de surcos, a la permeabilidad

y al envejecimiento; aumenta la vida útil de las mezclas a la fatiga y disminuye el ruido.

Se realizó pruebas de laboratorio con tres tipos de mezclas asfálticas con adición de Caucho Reciclado en diferentes contenidos de (1%, 2% y 3% en peso de la mezcla total) y una mezcla convencional sin caucho, denominada mezcla-control, las muestras fueron comprimidas por 75 golpes por cara con el martillo Marshall estándar. A partir de los ensayos de Marshall y tracción indirecta realizados por el autor, determinó que el contenido óptimo de Caucho Reciclado en la mezcla asfáltica de 3% tiene el mejor rendimiento tanto a alta temperatura (60°C), como a baja temperatura (10°C).

En cuanto al porcentaje óptimo de Caucho Reciclado en las mezclas asfálticas varían de acuerdo con la forma como se añade el Caucho Reciclado a las mezclas asfálticas, cuando es agregado al asfalto es recomendado reemplazar un 20% del peso del asfalto, cuando se agrega al agregado usar 1% a 3% del peso total del agregado y cuando se agrega a la mezcla usar 1% del total de la mezcla, asegurando una resistencia y vida útil duradera.

2.4. Análisis del aporte teórico.

El continuo desarrollo de la infraestructura vial en Bolivia, especialmente en Tarija, requiere de más actividades de investigación, principalmente encaminadas a nuevas tecnologías para mejorar los materiales, con el fin de solucionar muchos problemas ambientales y asegurara el normal funcionamiento de las vías, indica que se debe presentar atención. Los beneficios derivados de la modificación de pavimento con gránulos de caucho reciclado incluyen una menor sensibilidad al calor, un mejor comportamiento relacionado con la fatiga y una mayor resistencia al envejecimiento, entre otras.

CAPÍTULO III
CRITERIOS DE
RELEVAMIENTO DE
INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACION.

3.1. Criterios del diseño metodológico.

3.1.1. Unidad de estudio.

Mezcla asfáltica.

3.1.2. Población.

Mezclas asfálticas convencionales y modificadas.

3.1.3. Muestra.

Mezcla asfáltica convencional y modificada con caucho reciclado.

3.1.4. Tamaño de muestra.

Para obtener el tamaño de la muestra se tomará en cuenta la ecuación muestreo estratificado con población finita:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n Ni * \sigma^2}{N * \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n Ni * \sigma^2}{N}}$$

Donde se tomará en cuenta un nivel de confianza de 95% y de acuerdo al nivel de confianza $Z=1,96$, con un margen de error $e=0,05\%$ que es deducido del nivel de confianza. Y por el otro tiempo establecido se asuma una varianza de $\sigma^2= 0,10$

Reemplazando se tiene:

$$n = \frac{138 * 0,10}{138 * \left(\frac{0,05}{1,96}\right)^2 + \frac{138 * 0,10}{138}}$$

Tamaño de la muestra:

$$n = 72,70$$

Tabla 6. Determinación de la muestra

Etapas	Ensayos	ni	g2	ni*g2	fi	ni
Asfalto convencional	Penetración	3	0,1	0,3	0,022	2
	Ductilidad	3	0,1	0,3	0,022	2
	Viscosidad	3	0,1	0,3	0,022	2
	Punto de Ablandamiento	3	0,1	0,3	0,022	2
	Punto de Inflamación	3	0,1	0,3	0,022	2
	Peso específico	3	0,1	0,3	0,022	2
Agregados (Grava, gravilla, arena y Filler)	Granulometría	9	0,1	0,9	0,065	5
	Porcentaje de caras fragmentadas	6	0,1	0,6	0,043	3
	Equivalente de arena	3	0,1	0,3	0,065	2
	Desgaste de los ángeles	6	0,1	0,6	0,043	3
	Peso unitario	9	0,1	0,9	0,065	5
	Peso Especifico	9	0,1	0,9	0,065	5
Residuo de caucho	Granulometría	3	0,1	0,3	0,022	2
	Densidad	3	0,1	0,3	0,022	2
pruebas preliminares	Marshall convencional	18	0,1	1,8	0,13	9
pruebas finales	Marshall más porcentajes (1%,2%,3%) de caucho reciclado de neumáticos en des uso en forma granular	54	0,1	5,4	0,39	28
Totales		138		13,8		73

Fuente: Elaboración propia.

Ensayos previos a realizar

Los agregados de aportación se obtendrán del acopio de la planta de asfaltos de la Alcaldía de la ciudad de Tarija, ubicada en la comunidad de portillo que son procedentes de la chancadora de la comunidad de San mateo.

El betún tiene procedencia del país de Brasil y será proporcionado por la planta de asfaltos de la alcaldía de la ciudad de Tarija.

El caucho reciclado de llantas defuera de uso fue adquirido de la planta recicladora de TERRECYCLE (industria recicladora de caucho). De la ciudad de Cochabamba.

Con los agregados y el cemento asfaltico se utilizará la técnica experimental con ensayos de laboratorio que caracterizaran dichos materiales, se procede diseñar la mezcla asfáltica con cemento asfaltico (85-100), con la granulometría de los agregados y haciendo varios porcentajes de caucho reciclado de llantas en des usos, obteniendo así la mezcla asfáltica.

Tabla 7. Cantidad de ensayos de caracterización

Asfalto convencional	Penetración	Ductilidad	Viscosidad	Punto de Ablandamiento	Punto de Inflamación	Peso Especifico
	✘	✘	✘	✘	✘	✘
Agregados	Granulometría	Porcentaje de caras fracturadas	Equivalente de arena	Desgaste de los angles	Peso Unitario	Peso Especifico
	✘	✘	✘	✘	✘	✘

Fuente: Elaboración propia.

Caucho reciclado	Granulometría	Densidad
	✘	✘

El mínimo de briquetas que se necesitara para realizar los ensayos de resistencia de la estabilidad Marshall, con la adición de diferentes porcentajes de caucho reciclado de llantas en des uso son los siguientes como se muestra en la tabla

Tabla 8. Cantidad de ensayos de resistencia de la estabilidad de Marshall

% de caucho reciclado	18 briquetas por cada porcentaje para la resistencia de la estabilidad Marshall
1	✘
2	✘
3	✘

Fuente: Elaboración propia.

Dichos porcentajes se adoptaron debido al volumen de cacho y a la trabajabilidad del mismo para poder realizar las briquetas.

Para los ensayos de la resistencia de la estabilidad de Marshall se realizarán en total de 54 briquetas con porcentajes de caucho reciclado, más 18 briquetas convencionales serán un total de 72 Briquetas.

3.2. Caracterización de materiales.

3.2.1. Introducción.

En los capítulos anteriores se trataron sobre el método Marshall, los aspectos para el Diseño de mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas con residuo de caucho en seco, así como las normas aplicables al diseño de la misma.

En el presente Capítulo se desarrollarán las pruebas de laboratorio necesarias para llevar a cabo el diseño de la mezcla propuesta en el estudio, estos se realizarán a las muestras de material pétreo obtenidos en la comunidad de San Mateo de igual manera se realizará los ensayos de laboratorio de suelos y asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, por tal motivo, se describen dichos ensayos con la respectiva norma que los ampara.

El capítulo está dividido principalmente en tres partes: la primera que constituye la descripción detallada del procedimiento para caracterización de materiales pétreos (grava ¾”, gravilla 3/8”, arena, Filler), la segunda parte constituye al análisis del cemento asfáltico y finalmente se abordara la caracterización del residuo de caucho.

El procedimiento para el diseño esta propuesto por el manual de carreteras de la ABC

3.2.2. Selección de materiales

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes; Además de tener una disponibilidad.

El material pétreo, se encuentra ubicado en una chancadora situada en la comunidad San Mateo, después llevado a un banco de muestra en la comunidad de la pintada, donde

se encuentra ubicada para la provisión de material para la Institución de la secretaria de obras públicas de la alcaldía de Tarija de la Provincia Cercado.

Tabla 9. Coordenadas geograficas y UTM

Zona UTM	20 k
Coordenadas Este	317.905,37 m E
Coordenadas Norte	7.623.487,45 m S
Latitud	-21,481965°
Longitud	-64,757611°

Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Ubicación banco de agregados la pintada



Fuente: Google eearth

Figura 12. Banco de agregados la pintada



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Material bituminoso



Fuente: elaboración propia

3.3. Ensayos de caracterización de agregados

Para realizar la caracterización de los agregados utilizados en la elaboración de las mezclas asfálticas, se asistió al Laboratorio de Hormigón y Materiales de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho donde se realizaron los ensayos de Granulometría, Peso Específico, Peso Unitario, Caras Fracturadas, Desgaste de los Ángeles y Equivalente de Arena.

3.3.1. Granulometría (AASHTOT-27)

Tomamos la muestra, se coloca sobre los tamices de 1", 3/4", 1 1/2", 3/8", N° 4, N° 10, N° 40, N° 80, N° 200, inmediatamente con movimientos circulares facilitamos que el agregado pueda retenerse o pasar en cada uno de los tamices. Los resultados del ensayo se dan en porcentajes del peso total del agregado que pasa cada tamiz de dimensiones conocidas, para lo cual se pesan las respectivas cantidades retenidas y sumadas en forma acumulativa a las anteriores de tamaño mayor, estos pesos acumulados se dividen para el peso total de la muestra ensayada y se multiplica por 100. La diferencia a 100 de cada uno de estos porcentajes acumulados nos da porcentaje que deja pasar el tamiz correspondiente.

Figura 14. Granulometría de los agregados (Grava (3/4"), gravilla (3/8") y arena).



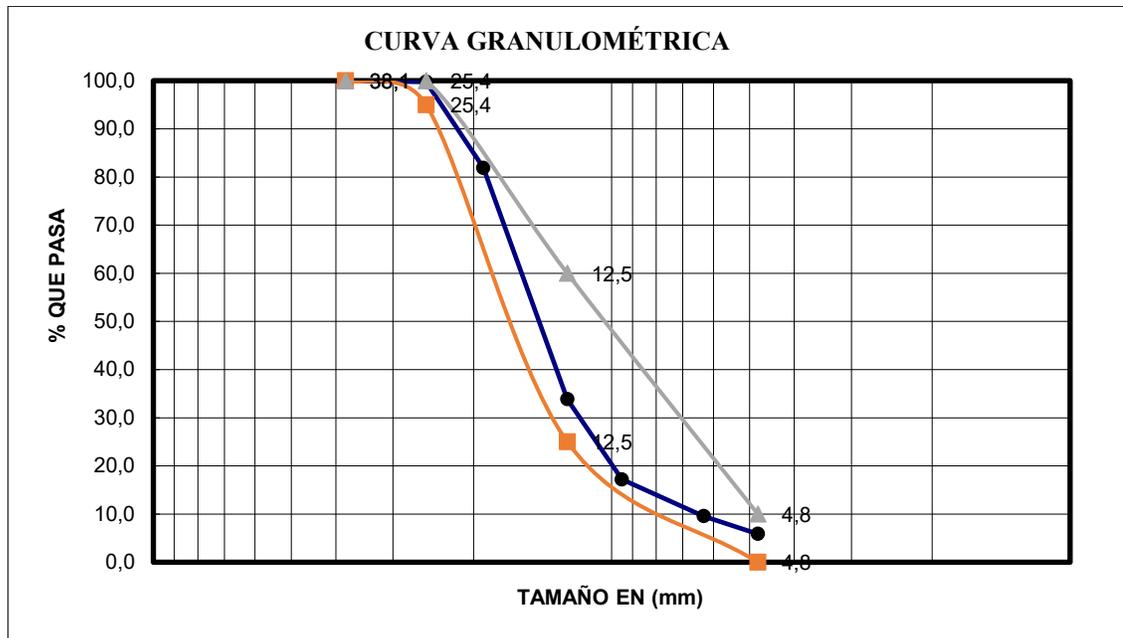
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Granulometría agregado grueso- Grava

Peso Total (gr.)		9454,2									
Tamices	Tamaño (mm)	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Promedio		Especificación NB-698	
		Peso Ret.	% Que pasa del total	Peso Ret.	% Que pasa del total	Peso Ret.	% Que pasa del total	Peso Ret.	% Que pasa del total		
1"	25,4	23,10	99,76	23,70	99,75	23,10	99,76	23,30	99,75	100	100
3/4"	19,0	1781,40	80,91	1779,30	80,93	1779,60	80,93	1780,10	80,92	95	100
1/2"	12,5	4782,40	30,33	4784,60	30,32	4784,40	30,33	4783,80	30,33	-	-
3/8"	9,50	1358,80	15,96	1357,10	15,97	1357,20	15,97	1357,70	15,96	25	60
N°4	4,75	1427,50	0,86	1427,80	0,86	1429,30	0,85	1428,20	0,86	-	-
N°8	2,36	0,00	0,86	0,00	0,86	0,00	0,85	0,00	0,86	-	-
N°16	1,18	0,00	0,86	0,00	0,86	0,00	0,85	0,00	0,86	0	10
N°30	0,60	0,00	0,86	0,00	0,86	0,00	0,85	0,00	0,86	-	-
N°50	0,30	0,00	0,86	0,00	0,86	0,00	0,85	0,00	0,86	-	-
N°100	0,15	0,00	0,86	0,00	0,86	0,00	0,85	0,00	0,86	-	-
N°200	0,075	0,00	0,86	0,00	0,86	0,00	0,85	0,00	0,86	-	-
BASE	-	81,00	0,00	81,70	0,00	80,60	0,00	81,10	0,00	-	-
Suma		9454,2		9454,2		9454,20		9454,20			
Pérdidas		0,0		0,0		0,0		0,00			

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6. Curva granulométrica promedio del Agregado Grueso- grava



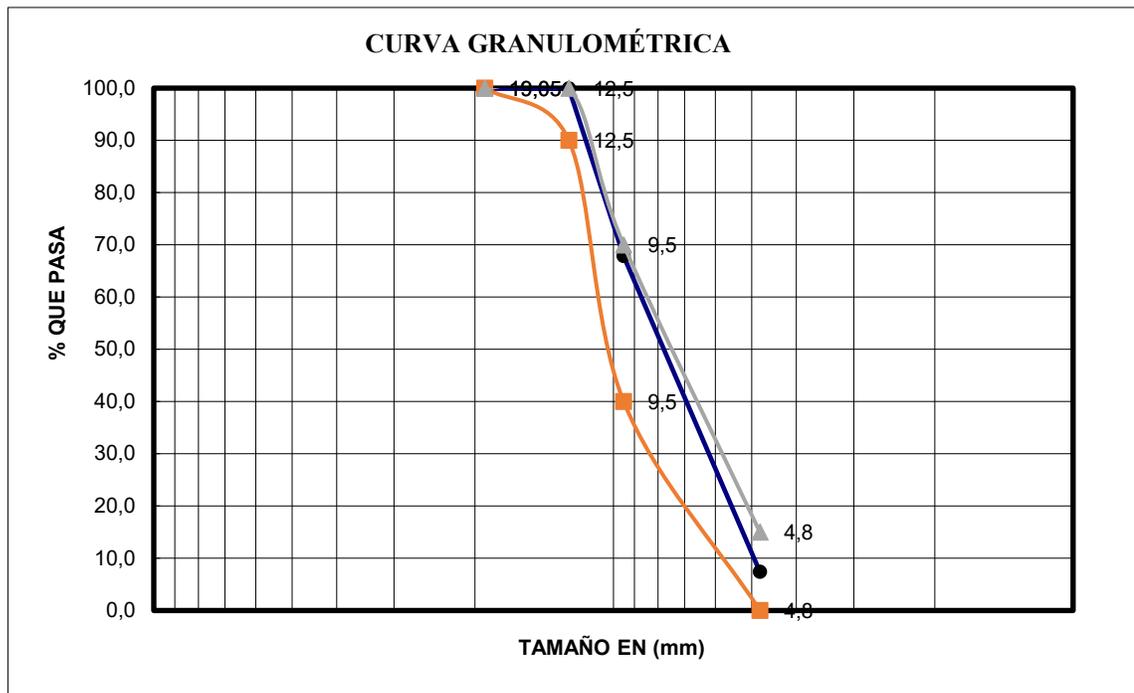
Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Granulometría - Agregado grueso gravilla

Peso Total (gr.)		7600		Ensayo 2		Ensayo 3		Promedio		Especificación NB-698	
		Ensayo 1									
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	% Que pasa del total	Peso Ret.	% Que pasa del total	Peso Ret.	% Que pasa del total	Peso Ret.	% Que pasa del total		
1"	25,4	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	-	-
3/4"	19,0	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	100	100
1/2"	12,5	106,90	98,59	106,70	98,60	106,20	98,60	106,60	98,60	90	100
3/8"	9,50	2437,70	66,52	2442,70	66,46	2441,10	66,48	2440,50	66,49	40	70
Nº4	4,75	4603,80	5,94	4602,10	5,90	4603,40	5,91	4603,10	5,92	0	15
Nº8	2,36	0,00	5,94	0,00	5,90	0,00	5,91	0,00	5,92	-	-
Nº16	1,18	0,00	5,94	0,00	5,90	0,00	5,91	0,00	5,92	-	-
Nº30	0,60	0,00	5,94	0,00	5,90	0,00	5,91	0,00	5,92	-	-
Nº50	0,30	0,00	5,94	0,00	5,90	0,00	5,91	0,00	5,92	-	-
Nº100	0,15	0,00	5,94	0,00	5,90	0,00	5,91	0,00	5,92	-	-
Nº200	0,075	0,00	5,94	0,00	5,90	0,00	5,91	0,00	5,92	-	-
BASE	-	451,60	0,00	448,50	0,00	449,30	0,00	449,80	0,00	-	-
	Suma	7600,0		7600,0		7600,00		7600,00			
	Pérdidas	0,0		0,0		0,00		0,00			

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7. Curva granulométrica promedio del Agregado Grueso- gravilla



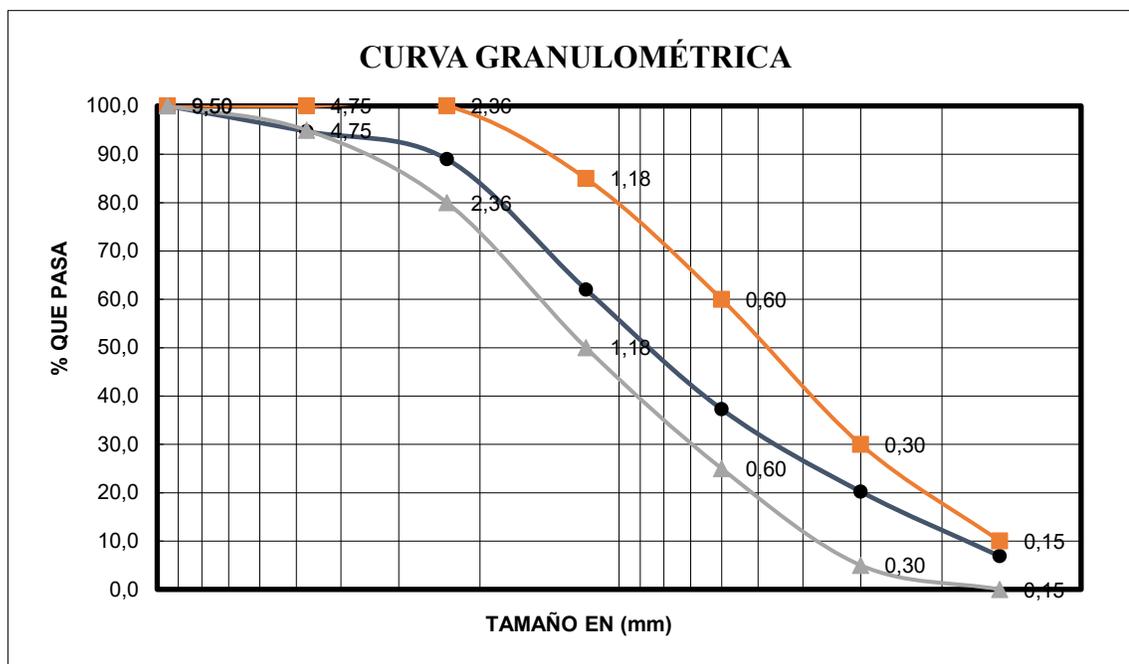
Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Granulometría - agregado fino arena

Peso Total (gr.)		800								Especificación NB-698	
		Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Promedio			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	% Que pasa del total	Peso Ret.	% Que pasa del total	Peso Ret.	% Que pasa del total	Peso Ret.	% Que pasa del total		
1/2"	12,5	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	-	-
3/8"	9,50	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	100	100
N°4	4,75	22,70	97,16	21,10	97,36	22,50	97,19	22,10	97,24	95	100
N°8	2,36	47,00	91,29	44,00	91,86	47,00	91,31	46,00	91,49	80	100
N°16	1,18	216,90	64,18	215,60	64,91	214,30	64,53	215,60	64,54	50	85
N°30	0,60	197,50	39,49	198,20	40,14	198,60	39,70	198,10	39,78	25	60
N°50	0,30	155,50	20,05	158,20	20,36	159,40	19,78	157,70	20,06	5	30
N°100	0,15	107,50	6,61	105,30	7,20	107,60	6,33	106,80	6,71	0	10
N°200	0,075	24,50	3,55	25,30	4,04	27,60	2,88	25,80	3,49	-	-
BASE	-	28,40	0,00	32,30	0,00	23,00	0,00	27,90	0,00	-	-
Suma		800,0		800,0		800,00		800,00			
Pérdidas		0,0		0,0		0,00		0,00			

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8. Curva granulométrica promedio del Agregado Fino - Arena



Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Peso específico del agregado grueso (ASTM E 127, AASHTO T85-91)

Se comienza por mezclar completamente el agregado, cuarteándolo a continuación, hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo, en este caso al tener un tamaño nominal de 3/4 plg, la muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas; se seca a continuación en un horno a 100° - 110° C y se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante, y se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante 24 ± 4 horas. Después del período de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores. se tomarán las precauciones necesarias para evitar cualquier evaporación de la superficie de los agregados. A continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturada con superficie seca (PEBS.S.S.) A continuación, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergido en el agua, a la temperatura de 25° C, La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante la pesada y el hilo de suspensión será lo más delgado posible para que su inmersión no afecte a las pesadas. Se seca entonces la muestra en horno a 100° - 110° C, se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su peso seco hasta peso constante.

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Figura 15. Peso sumergido más material.



Fuente: elaboración propia

Figura 16. Pesado del material



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Calibración de la balanza.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso específico (Grava)

Tabla 13. Peso específico de la grava.

Muestra N°	Peso Específico a Granel (gr/cm ³)	Peso Específico Saturado con Sup. Seca (gr/cm ³)	Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	% de Absorción
1	2,59	2,62	2,67	1,23
2	2,59	2,62	2,67	1,25
3	2,58	2,62	2,67	1,27
PROMEDIO	2,59	2,62	2,67	1,25

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso específico (Gravilla)

Tabla 14. Peso específico de la gravilla

Muestra N°	Peso Específico a Granel (gr/cm ³)	Peso Específico Saturado con Sup. Seca (gr/cm ³)	Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	% de Absorción
1	2,57	2,62	2,70	1,95
2	2,57	2,62	2,70	1,96
3	2,56	2,60	2,66	1,44
PROMEDIO	2,56	2,61	2,69	1,78

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Peso específico del agregado fino (ASTM E 128, AASHTO T84-00)

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad

neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Es aplicable a los áridos finos de densidad neta entre 2,000 y 3,000 kg/m³, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

Se selecciona una muestra de 1 kg. Que puede ser obtenida por cuarteo; luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 hrs.

- Se saca la muestra del recipiente y se seca de manera uniforme.
- Con el fin de inspeccionar que tan seca está a muestra, se coloca primero en el molde cónico y luego se retira este. Si la muestra tiene todavía alguna humedad de la superficie ha sido eliminada, la arena rodara libremente cuando se levante el cono.
- Por lo general si la rena rueda libremente la primera vez que se coloca el cono, esto es una indicación de que la muestra ha sido secada más de lo necesario y que ha perdido su condición de saturada; por consiguiente, se deberá rociar con agua y dejarla reposar por 30 minutos antes de volver a colocarla en el cono.
- Se colocan 500 gr. De la muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el topo. Con el fin de eliminar burbujas de aire presente en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y luego se coloca en un baño a temperatura constante de 20°C, se deberán hacer las correcciones del secado siguiendo la curva de calibración. Luego se obtiene el peso del matraz lleno.
- Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante (105°C) y se pesara.

Figura 18. Secado superficial



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Molde Compactado con el pisón



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Peso de la arena humedad óptima, peso del matraz +Agua



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso específico (Arena)

Tabla 15. Peso específico

Muestra N°	Peso Específico a Granel (gr/cm ³)	Peso Específico Saturado con Sup. Seca (gr/cm ³)	Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	% de Absorción
1	2,38	2,42	2,48	1,68
2	2,69	2,73	2,80	1,38
3	2,98	3,02	3,11	1,38
PROMEDIO	2,68	2,72	2,79	1,48

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso específico (Filler)

Tabla 16. Resultado del ensayo peso específico (Filler)

Muestra N°	Peso Específico a Granel (gr/cm ³)	Peso Específico Saturado con Sup. Seca (gr/cm ³)	Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	% de Absorción
1	2,59	2,63	2,68	1,28
2	2,58	2,62	2,67	1,30
3	2,59	2,62	2,68	1,26
PROMEDIO	2,59	2,62	2,68	1,28

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Peso unitario agregado grueso (Grava, Gravilla) y agregado fino (Arena) Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Figura 21. Peso unitario Suelto.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Peso unitario Compactado



Figura 23. Peso del volumen del molde



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso unitario suelto y compactado (Grava).

Tabla 17. Peso unitario Suelto y compactado (Grava).

Muestra N°	Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	1,508	1,623
2	1,515	1,621
3	1,517	1,627
Promedio	1,513	1,6244

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso unitario suelto y compactado (Gravilla)

Tabla 18. Peso unitario Suelto y compactado (Gravilla).

Muestra N°	Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	1,506	1,619
2	1,501	1,620
3	1,514	1,621
Promedio	1,507	1,620

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso unitario suelto y compactado (Arena)

Tabla 19. Peso unitario Suelto y compactado (Arena).

Muestra N°	Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	1,333	1,669
2	1,310	1,695
3	1,334	1,670
Promedio	1,326	1,678

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5. Caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL 358)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de áridos.

La muestra para ensayo deberá ser representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida. Hágase el análisis granulométrico de la muestra cuarteada.

Sepárese por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 37,5 mm y 9,5 mm (1." y 3/8"). Descártese el resto.

Figura 24. % De caras fracturadas (grava). **Figura 25.** % De caras fracturadas (gravilla).



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del Porcentaje de caras fracturadas (Gravas)

Tabla 20. Porcentaje de caras fracturadas (Gravas).

Ensayo	Lecturas	Lecturas	Lecturas	Lecturas
Ensayo N.º	1	2	3	Promedio
Peso total (grs.) (a)	10,000	10,000	10,000	10,000
Peso retenido tamiz N°8 (grs.) (b)	9.444,30	9.324,20	9.239,90	9.336,13
Caras no fracturadas (grs.) (a-b)	555,70	675,80	760,10	663,87
% Caras Fracturadas = (b/a) *100	94,44	93,24	92,40	93,36

Resultado	93,40	>	75
-----------	-------	---	----

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del Porcentaje de caras fracturadas (Gravillas)

Tabla 21. Porcentaje de caras fracturadas (Gravillas).

Ensayo	Lecturas	Lecturas	Lecturas	Lecturas
Ensayo N.º	1	2	3	Promedio
Peso total (grs.) (a)	5,000	5,000	5,000	5,000
Peso retenido tamiz N°8 (grs.) (b)	4.612,60	4.468,70	4.587,60	4.556,30
Caras no fracturadas (grs.) (a-b)	387,40	531,30	412,40	443,70
% Caras Fracturadas = (b/a) *100	92,25	89,37	91,75	91,13

Resultado	91,10	>	75
-----------	-------	---	----

Fuente: Elaboración propia.

El resultado del ensayo fue satisfactorio y el agregado es apto para la elaboración de la mezcla asfáltica según las especificaciones.

3.3.6. Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTME 131 AASHTO T96-99)

El ensayo de Desgaste de Los Ángeles determina el desgaste de los agregados para determinar su aplicabilidad en mezclas asfálticas, cuando son sometidos a los efectos del tráfico de vehículos.

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo con material mayor en el tamiz retenido, A, B, C o D, según se indica en la Tabla.

Tabla 22. Carga abrasiva.

Granulometría de ensayo	Numero de esferas	Peso total (gr)
A	12	5,000 ± 25
B	11	4,584 ± 25
C	8	3,330 ± 20
D	6	2,500 ± 15

Fuente: Manual de ensayo de materiales (EM 2000).

El procedimiento que se siguió para el desarrollo del ensayo fue el siguiente:

Para el agregado grueso “grava y gravilla”:

- Se determinó en base a la granulometría, que el material correspondía a al tipo "C". En base a estos resultados, se siguió el procedimiento del ensayo:
- Se pesó 2500 kg. de material retenido en el tamiz de 1/4" y pasante el de 3/4".
- Se pesó 2500 kg. de material retenido en el tamiz #4 y pasante el de 1/2".
- Introducir el material combinado dentro del tambor con 8 bolas, y someter el material a 500 revoluciones.
- Tamizar el material en el tamiz Nro. 12 y pesar el retenido.

Figura 26. Peso del material (grava).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Peso del material (gravilla).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Máquina de desgaste de los ángeles



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 23. % De desgaste Máquina de los ángeles Agregado grueso.

GRADACIÓN	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
C	5000	3893,9	22,12	35% MAX
C	5000	3818,1	23,64	35% MAX
C	5000	3810,6	23,79	35% MAX
Promedio			23,18	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

El resultado del ensayo fue satisfactorio y el agregado es apto para la elaboración de la mezcla asfáltica según las especificaciones.

3.3.7. Equivalente de arena (AASHTOT-176)

Con el ensayo de equivalente de arena se pretende determinar las proporciones de arena y arcilla presentes en el agregado fino para la elaboración de mezclas asfálticas u hormigones, para la realización del ensayo se ejecutó el siguiente procedimiento:

- Se tamizó el material, separando las partículas que quedan retenidas en el

tamiz #4 y trabajando solamente con el material pasante.

- En una probeta, se vierten 4 pulgadas de solución (Cloruro de calcio combinado con agua destilada).
- Se vertió una tara con una cantidad determinada de arena (aproximadamente 350 gr.) tamizada en el #4.
- Se dejó reposar 5 minutos, y posteriormente se agito vigorosamente durante 30 segundos, con la finalidad de que las partículas de arcilla sean suspendidas completamente en la solución.
- Se agregó solución hasta completar las 15 pulgadas, haciendo que toda la arena pegada en las paredes y el corcho de goma, caigan hasta el fondo, se dejó reposar durante 20 minutos.
- Después de observar una evidente separación entre el material fino y la arena, se leyeron los resultados en la escala graduada de la probeta en pulgadas y se repitió el mismo procedimiento 3 veces.

Figura 29. Enrasado fino hasta la línea de referencia



Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Eliminación de aire de la probeta.



Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Llenado de agua destilada más reactivo mezclado



Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Enrasado de Agua destilada hasta la línea de referencia.



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 24. Equivalente de arena

N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de Arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	8,60	9,00	95,56
2	8,80	9,20	95,65
3	8,80	9,30	94,62
		Promedio	95,28
Equivalente de Arena (%)			NORMA
95,28			> 90%

Fuente: Elaboración propia

El resultado del ensayo fue satisfactorio y el agregado es apto para la elaboración de la mezcla asfáltica según las especificaciones

3.4. Ensayo de caracterización del cemento asfáltico.

El resultado del ensayo fue satisfactorio y el agregado es apto para la elaboración de la mezcla asfáltica según las especificaciones

3.4.1. Ensayo de viscosidad, método para determinar la viscosidad Saybolt furol (ASTM D 244)

Para la realización del ensayo de viscosidad se realizó el siguiente procedimiento:

- Se obtuvo un valor estable de temperatura para el vacío, de 135 °C.
- Paralelamente, se calentó el cemento asfáltico, sobre una plancha eléctrica, y no con llama directa, para preservarlo de la oxidación o envejecimiento prematuro, a una temperatura entre 80 y 100 °C, de manera que una vez colocado el asfalto en el viscosímetro se caliente rápidamente y no demore mucho tiempo en alcanzar la temperatura de ensayo (135°C). El calentado previo no debe exceder los 1,7°C (3°F) por encima de la temperatura de ensayo.
- Se agitó la muestra y posteriormente filtró con un tamiz #100, para cuidar el viscosímetro de cualquier obstrucción posible a causa de impurezas en el asfalto.
- Se insertó un tapón de corcho en el agujero inferior del viscosímetro, con

la finalidad mantener el asfalto dentro hasta que alcance la temperatura adecuada.

- Se vertió el cemento asfáltico dentro del viscosímetro, hasta que el nivel quede por encima del borde de reboco, es decir, que rebalse un poco de asfalto por encima del vaso que lo contiene.
- Se agitó la muestra dentro del viscosímetro con el termómetro de viscosidad, empleando un movimiento circular y cuidando de no votar el asfalto fuera del vaso. Cuando la temperatura de la mezcla permaneció constante a la temperatura del ensayo ($\pm 0,05^{\circ}\text{C}$) durante un minuto de agitación continua se retiró el termómetro.
- Se verificó que el matraz se encontraba en la posición adecuada; se retiró el corcho de la parte inferior del viscosímetro y en el mismo instante se puso a funcionar el cronómetro. Se detuvo en el instante en que el fondo del menisco del cemento alcanzó la marca de graduación de 60 ml del frasco receptor.
- Se anotó el tiempo del flujo en segundos.

Figura 33. Viscosidad Saybolt



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Temperatura a 135°C para realizar el ensayo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Verificación de la temperatura



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 25. Viscosidad Saybolt.

	1	2	3
s	90	105	96
Promedio (seg.):	97		

Fuente: Elaboración Propia

El asfalto cumple con las especificaciones mínimas requeridas.

3.4.2. Punto de inflamación (AASHTO T -48)

Para la realización de este ensayo se siguió el siguiente procedimiento:

- Se preparó el equipo, colocándolo sobre un mesón firme y a nivel. Se cerraron momentáneamente las ventanas y la puerta para eliminar corrientes de aire.
- Se lavó la copa de ensayo con gasolina para remover cualquier aceite o residuo de asfalto de un ensayo anterior.
- Se colocó el termómetro en posición vertical, cuidando de que el extremo inferior esté a 6,4 mm (1/4") del fondo de la copa y localizado en un punto medio entre el centro y la pared de la misma.
- Se llenó la copa con el cemento asfáltico, cuidando que la temperatura no excediera de 100°C, precisamente a la temperatura necesaria para que el asfalto pueda verterse. Hasta el punto en el que la parte superior del menisco quede en la línea de llenado.
- La copa se llenó lejos del resto del equipo, que ya se encontraba previamente montado.

- Se colocó la copa en posición, cuidando el espacio entre el extremo inferior del termómetro y el fondo de la copa.
- Se encendió la llama del mechero, aplicando calor inicialmente de manera que la tasa de incremento de temperatura de la muestra sea de 14° a 17°C por minuto,
- cuando la temperatura se aproximó a los 160°C se disminuyó el calor de manera que el incremento se redujo a un rango constante entre 5° a 6°C por minuto hasta que se alcanzó el punto de inflamación.
- Cuando la temperatura se aproximó a los 210°C, se aplicó la llama de ensayo, una vez por cada aumento de 2°C, en un tiempo de barrido a través de la copa de aproximadamente 1 segundo.
- Cuando la temperatura se aproximó a los 230°C, se tuvo la precaución de no aproximarse bruscamente, o respirar cerca de la copa puesto que cualquier movimiento de aire, dispersa los gases que se acumulan en la parte superior.
- Se registró como punto de inflamación, la lectura de temperatura del termómetro cuando apareció una llama sobre la superficie de la copa producto de la combustión de los gases emitidos por el calentamiento del asfalto.

Figura 36. Cocinilla especial para calentar el C.A.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 37. Punto de inflamación y combustión



Fuente: Elaboración Propia

Se anotaron los siguientes resultados:

Tabla 26. Resultados del Punto de Inflación

	1	2	3
Lectura °C:	265	267	266
Promedio Punto de inflamación °C:	266		

Fuente: Elaboración Propia

El asfalto cumple con las especificaciones mínimas requeridas.

3.4.3. Ensayo de penetración (AASHTOT-49)

El ensayo de penetración se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se calentó el asfalto homogéneamente para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar la fluidez del material para verterlo en los moldes. Se cuidó que la temperatura de calentamiento previo no exceda en 100°C al punto de ablandamiento, también con el objeto que, colocado el asfalto en los moldes, el tiempo que demore hasta enfriarse a una temperatura estable no sea demasiado.
- Se llenaron los moldes, teniendo cuidado de que la profundidad de llenado sea por lo menos 10 mm mayor al rango de penetración esperada. Se prepararon dos moldes con las mismas dimensiones y características de la misma muestra.
- Se dejaron enfriar a temperatura ambiente hasta alcanzar entre 20° y 30°

C durante un periodo aproximado de 2 horas, cubiertos para protegerlos del polvo.

- Se puso los moldes en un baño de agua a una temperatura de 25 ° C manteniendo esta temperatura constante durante un periodo de tiempo similar al anterior.
- Se montó el equipo de penetración y se comprobó que el vástago que soporta la aguja esté completamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre la guía. La aguja de penetración se limpió con gasolina y se secó con un trozo de papel higiénico, se la fijó firmemente en su soporte.
- La penetración se realizó en un baño pequeño auxiliar, en el que se colocó la muestra de asfalto, completamente sumergido, hasta un nivel de 3 mm sobre la cara superior del asfalto.
- Una vez montado todo el equipo para la realización del ensayo, se aproximó la aguja del penetrómetro hasta que la punta tocó justamente la superficie de la muestra, sin que penetre.
- Se verificó que el penetrómetro se encuentre en cero, y se soltó la aguja, iniciando en el mismo instante el cronometro para medir un tiempo de 5 segundos.
- Finalmente, se leyó y anotó la distancia expresada en decimas de milímetro.

Figura 38. 25° C cemento asfaltico sumergido.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 39. Aparató para la medición Punto de penetración



Fuente: Elaboración Propia

Figura 40. Medición punto de penetración



Fuente: Elaboración Propia

Se anotaron los siguientes resultados:

Tabla 27. Resultados Ensayo de Penetración

Ensayo		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
							Mínimo	Máximo
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1		90	90	86			
	Lectura N°2		91	89	87			
	Lectura N°3		89	88	88			
	Promedio	mm.	90	89	87	88,67	85	100

Fuente: Elaboración propia

El asfalto cumple con las especificaciones mínimas requeridas y concuerda con los datos proporcionados por el fabricante.

3.4.4. Ensayo para determinar la Ductilidad (AASHTO T -51)

El ensayo de penetración se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se hizo calentar el cemento asfáltico hasta un punto que este manejable.
- Se preparó las probetas para colocar el asfalto
- Las probetas se recubrieron con una vaselina y maicena para evitar que el cemento se prenda en las paredes.
- Se llenó los moldes con mucho cuidado sin hacer rebalsar, evitando la inclusión de burbujas.
- Se dejó enfriar las probetas a temperatura ambiente durante 30 min. Y a continuación se introdujo los moldes ya preparados en el baño de agua a temperatura de 25°C durante 90 min.
- Se quita los moldes y se deja al descubierto las probetas y se da inicio al ensayo.

El material asfáltico es estirado por las pinzas hasta formar un hilo produciendo la ruptura.

Figura 41. Moldes para el ensayo de ductilidad



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Llenado de moldes con cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Medición de la ductilidad del cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo de Ductilidad.

Tabla 28. Resultado del ensayo de ductilidad

		1	2	3
Elongación (cm):		105,0	104,5	104,0
Promedio (cm):		104,5		

Fuente: Elaboración propia.

3.4.5. Ensayo peso específico del asfalto (AASHTO T-43) (ASTM-709)

Se limpia perfectamente el picnómetro y su tapón con el líquido de limpieza, enjuagándolo a continuación con agua destilada y secándolo finalmente. Esta operación de limpieza debe realizarse antes de cada calibración, o bien cuando se observe cualquier falla en el escurrimiento uniforme de los líquidos, en las paredes interiores del picnómetro o en el capilar del tapón.

Después de secado, se deja que el picnómetro alcance la temperatura ambiente y se pesa. El peso del picnómetro vacío. Se seca el vaso del baño y se llena el picnómetro con agua destilada, colocando suavemente el tapón, sin apretarlo. Se sumerge completamente el picnómetro en el vaso y se aprieta entonces el tapón, no debiendo quedar burbujas de aire ocluidas en el picnómetro en esta operación. El vaso con el picnómetro se vuelve a colocar en el baño de agua a 25 C. Se deja el picnómetro en el interior del vaso por un mínimo de 30 minutos, se saca del agua e inmediatamente se seca la superficie superior del tapón pasando suavemente y una sola vez un paño seco por la misma; a continuación, se seca rápidamente el resto del picnómetro y se pesa con aproximación de 0.1 mg. El peso del picnómetro lleno de agua.

Picnómetro por encima del nivel final y para evitar la inclusión de burbujas de aire. Dejar enfriar el picnómetro con su contenido hasta la temperatura ambiente durante un período no menor de 40 minutos y pesar con el tapón con aproximación a 1 mg. El peso del picnómetro con la muestra.

Llenar el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada, colocando firmemente el tapón en el picnómetro. No deben permitirse burbujas de aire en el picnómetro- Colocar el picnómetro en el vaso y apretar firmemente el tapón.

Retornar el vaso al baño de agua a 25 °C.

Figura 44. Peso del envase



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Envase con cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46. Llenado de agua



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47. Muestra a 25°C



Fuente: Elaboración propia.

Resultados de Ensayo de Peso Específico

Tabla 29. Peso específico del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso picnómetro	gr	33,9	33,6	35,6	
Peso picnómetro + agua (25°)	gr	87,2	85,9	89,5	
Pesopicnómetro + muestra	gr	67,0	64,6	69,2	
Peso picnómetro + agua + muestra	gr	88,7	85,4	90,6	
Peso específico	gr/cm ³	1,054	0,984	1,034	1,024

Fuente: Elaboración propia.

3.4.6. Ensayo punto de ablandamiento (AASTHO T-53) (ASTM-36)

Este método describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola.

El punto de ablandamiento observado deberá corresponder a la media de las temperaturas a las que los dos discos se ablandan suficientemente para permitir que cada bola, envuelta en aglutinante bituminoso, descienda una altura de $25 \pm 0,4$ mm.

Figura 48. Accesorios, anillo para el punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 49. Llenado de los anillos con cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 50. Proceso de enfriado y calentado del agua



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo punto de ablandamiento.

Tabla 30. Punto de ablandamiento

	1	2	3
Temperatura °C:	46	45,1	47
Promedio (°C):	46,03		

Fuente: Elaboración propia

3.5. Ensayo de Caracterización del Caucho Reciclado

Para la caracterización del residuo de caucho solo se realizaron 3 ensayos

- Granulometría
- Densidad

3.5.1. Granulometría (AASHTO T-27)

Primeramente, se efectúa un muestreo para el residuo de caucho mediante el cuarteo que consiste en colocar a la muestra en el separador para obtener una muestra representativa que abarque el mayor tamaño de partículas.

La muestra escogida de residuo de caucho se coloca en una bandeja para determinar la masa de la bandeja y la muestra.

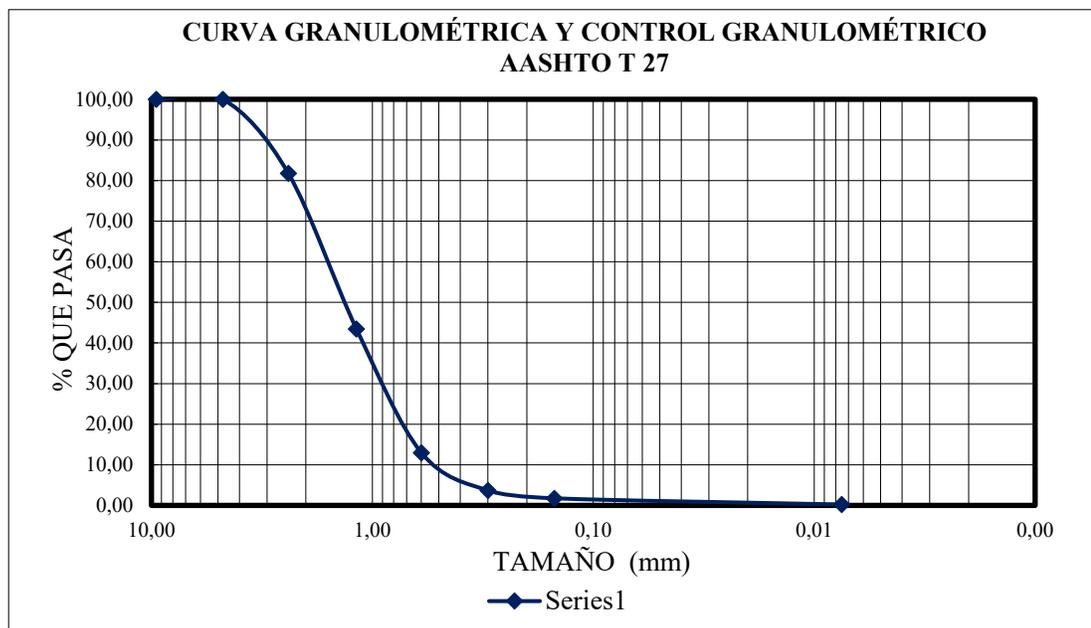
Tomamos la muestra, se coloca sobre los tamices de 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 10, N° 40, N° 80, N° 200, inmediatamente con movimientos circulares facilitamos que el agregado pueda retenerse o pasar en cada uno de los tamices. Los resultados del ensayo se dan en porcentajes del peso total del agregado que pasa cada tamiz de dimensiones conocidas, para lo cual se pesan las respectivas cantidades retenidas y sumadas en forma acumulativa a las anteriores de tamaño mayor, estos pesos acumulados se dividen para el peso total de la muestra ensayada y se multiplica por 100. La diferencia a 100 de cada uno de estos porcentajes acumulados nos da porcentaje que deja pasar el tamiz correspondiente, los resultados de este ensayo se pueden ver

Tabla 31. Granulometría caucho reciclado

Peso Total (gr.)		800							
		Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Promedio	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	% Que pasa del total	Peso Ret.	% Que pasa del total	Peso Ret.	% Que pasa del total	Peso Ret.	% Que pasa del total
1/2"	12,5	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
N°4	4,75	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
N°8	2,36	146,00	81,75	145,60	81,80	146,10	81,74	145,90	81,76
N°16	1,18	306,10	43,49	306,90	43,44	306,50	43,43	306,50	43,45
N°30	0,60	243,90	13,00	243,80	12,96	243,40	13,00	243,70	12,99
N°50	0,30	74,20	3,72	74,30	3,68	74,70	3,66	74,40	3,69
N°100	0,15	15,40	1,80	15,60	1,73	15,50	1,72	15,50	1,75
N°200	0,075	12,50	0,24	12,30	0,19	12,10	0,21	12,30	0,21
BASE	-	1,51	0,05	1,50	0,00	1,50	0,02	1,50	0,02
Suma		799,6		800,0		799,80		799,80	
Pérdidas		0,4		0,0		0,20		0,20	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 9. Curva granulométrica caucho reciclado



Fuente: Elaboración Propia

3.5.2. Densidad del caucho reciclado.

La densidad relativa de un cuerpo es un número adimensional que viene dado por la relación del peso del cuerpo al peso de un volumen igual de una sustancia que se toma Como referencia. Los sólidos y los líquidos se refieren al agua (a 20°C).

Tabla 32. Resultados de la densidad del caucho.

Peso. Específico. Aparente granel (gr/cm ³)	Peso Específico. saturado con sup. seca (gr/cm ³)	Peso Específico aparente (gr/cm ³)
1,09	1,15	1,16

Fuente: Elaboración propia

3.6. Procedimiento Marshall.

Para poder realizar nuestra mezcla asfáltica utilizamos las siguientes dosificaciones de la cual pudimos determinar los pesos que se necesitaran para las mezclas asfálticas convencional, con 1%, 2% y 3% con residuo de caucho en reemplazo del agregado.

3.6.1. Diseño granulométrico (ASTMD 3515).

3.6.1.1. Diseño granulométrico método Marshall (ASTM D 3515) estándar

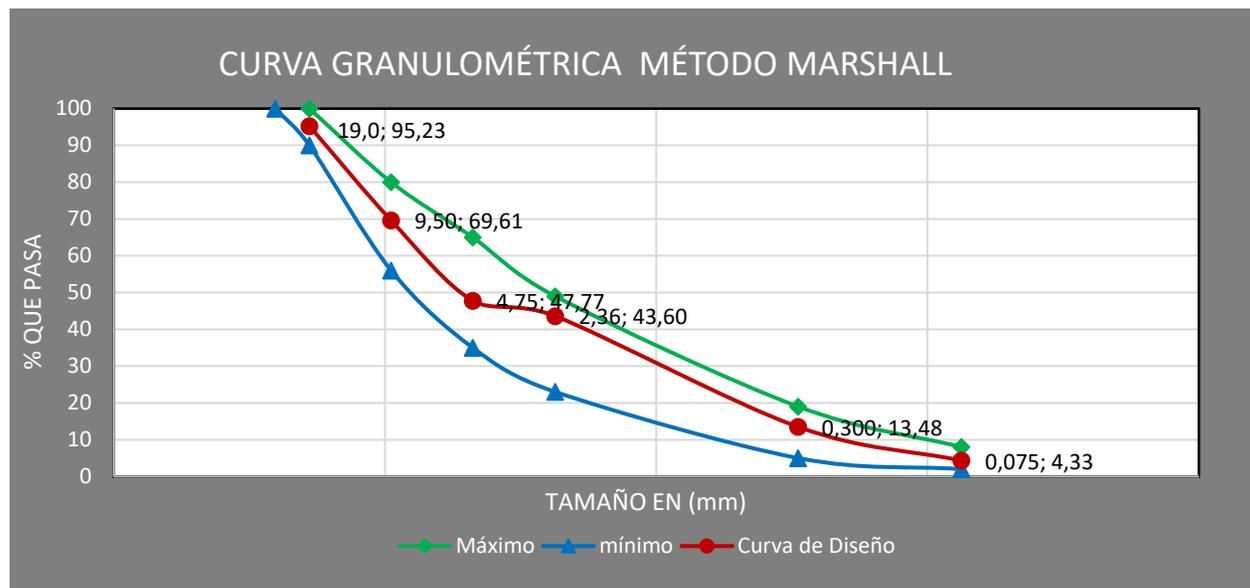
Tabla 33. diseño granulométrico - Marshall (ASTMD 3515) estándar.

Tamices	Tamaño (mm)	Dosificación				Curva de dosificación				Especificaciones					
		Grava*	Gravilla*	Arena*	Filler *	Grava	Gravilla	Arena	Filler	Peso Ret.	Ret. Acum.	% Ret	% que pasa del total	ASTM D3515	
		Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)	(%) 25,00	(%) 28,00	(%) 40,00	(%) 7,00	100,00				Mínimo	Máximo
1"	25,4	12,32	0,00	0,00	0,00	3,08	0,00	0,00	0,00	3,08	3,08	0,06	99,94	100	100
3/4"	19,0	941,43	0,00	0,00	0,00	235,36	0,00	0,00	0,00	235,36	238,44	4,77	95,23	90	100
1/2"	12,5	2529,99	70,13	0,00	0,00	632,50	19,64	0,00	0,00	652,13	890,57	17,81	82,19	-	-
3/8"	9,50	718,04	1605,59	0,00	0,00	179,51	449,57	0,00	0,00	629,08	1519,65	30,39	69,61	56	80
Nº4	4,75	755,33	3028,36	138,13	0,00	188,83	847,94	55,25	0,00	1092,02	2611,67	52,23	47,77	35	65
Nº8	2,36	42,89	295,92	287,50	0,00	10,72	82,86	115,00	0,00	208,58	2820,25	56,41	43,60	23	49
Nº16	1,18	0,00	0,00	1347,50	340,67	0,00	0,00	539,00	23,85	562,85	3383,10	67,66	32,34	-	-
Nº30	0,60	0,00	0,00	1238,13	453,67	0,00	0,00	495,25	31,76	527,01	3910,10	78,20	21,80	-	-
Nº50	0,30	0,00	0,00	985,63	312,33	0,00	0,00	394,25	21,86	416,11	4326,22	86,52	13,48	5	19
Nº100	0,15	0,00	0,00	667,50	476,00	0,00	0,00	267,00	33,32	300,32	4626,54	92,53	7,47	-	-
Nº200	0,075	0,00	0,00	161,25	1321,67	0,00	0,00	64,50	92,52	157,02	4783,55	95,67	4,33	2	8
Base	-	0,00	0,00	174,38	2095,67	0,00	0,00	69,75	146,70	216,45	5000,00	100,00	0,00	-	-
Peso Total		5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	1250,00	1400,00	2000,00	350,00	5000,00					

(*) = Pesos retenidos que se obtienen de las curvas granulométricas de cada tipo de agregado, referidas a un peso total de 5,000 gramos.

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10. Curva de diseño granulométrico método Marshall (ASTMD 3515) estándar.



Fuente: Elaboración propia

3.6.1.2. Diseño granulométrico método Marshall (ASTM D 3515) con 1% de caucho reciclado.

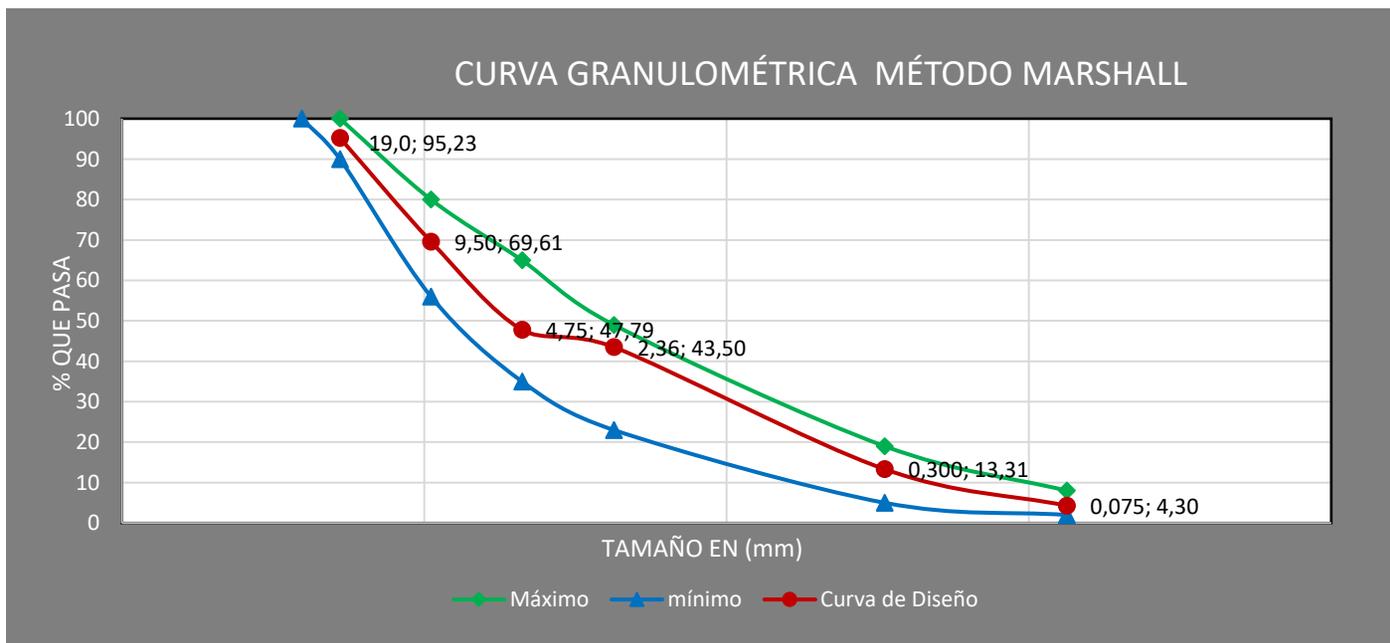
Tabla 34. Diseño granulométrico Marshall (ASTM D3515) con 1% de caucho reciclado

Tamices	Tamaño (mm)	Dosificación										Curva de dosificación				Especificaciones	
		Grava *	Gravilla*	Arena *	Filler *	Caucho*	Grava	Gravilla	Arena	Filler	Caucho	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% Que pasa del total	ASTM D3515	
		Peso Ret. (gr)	(%) 25,00	(%) 28,00	(%) 39,00	(%) 7,00	(%) 1,00	100,00				Mínimo	Máximo				
1"	25,4	12,32	0,00	0,00	0,00	0,00	3,08	0,00	0,00	0,00	0,00	3,08	3,08	0,06	99,94	100	100
3/4"	19,0	941,43	0,00	0,00	0,00	0,00	235,36	0,00	0,00	0,00	0,00	235,36	238,44	4,77	95,23	90	100
1/2"	12,5	2529,99	70,13	0,00	0,00	0,00	632,50	19,64	0,00	0,00	0,00	652,13	890,57	17,81	82,19	-	-
3/8"	9,50	718,04	1605,59	0,00	0,00	0,00	179,51	449,57	0,00	0,00	0,00	629,08	1519,65	30,39	69,61	56	80
Nº4	4,75	755,33	3028,36	138,13	0,00	0,00	188,83	847,94	53,87	0,00	0,00	1090,64	2610,29	52,21	47,79	35	65
Nº8	2,36	42,89	295,92	287,50	0,00	912,10	10,72	82,86	112,13	0,00	9,12	214,83	2825,11	56,50	43,50	23	49
Nº16	1,18	0,00	0,00	1347,50	340,67	1916,10	0,00	0,00	525,53	23,85	19,16	568,53	3393,65	67,87	32,13	-	-
Nº30	0,60	0,00	0,00	1238,13	453,67	1523,51	0,00	0,00	482,87	31,76	15,24	529,86	3923,51	78,47	21,53	-	-
Nº50	0,30	0,00	0,00	985,63	312,33	465,12	0,00	0,00	384,39	21,86	4,65	410,91	4334,42	86,69	13,31	5	19
Nº100	0,15	0,00	0,00	667,50	476,00	96,90	0,00	0,00	260,33	33,32	0,97	294,61	4629,03	92,58	7,42	-	-
Nº200	0,075	0,00	0,00	161,25	1321,67	76,89	0,00	0,00	62,89	92,52	0,77	156,17	4785,20	95,70	4,30	2	8
BASE	-	0,00	0,00	174,38	2095,67	9,38	0,00	0,00	68,01	146,70	0,09	214,80	5000,00	100,00	0,00	-	-
	Peso Total	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	1250,00	1400,00	1950,00	350,00	50,00	5000,00					

(*) = Pesos retenidos que se obtienen de las curvas granulométricas de cada tipo de agregado, referidas a un peso total de 5,000 gramos.

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11. Curva de diseño granulométrico método Marshall (ASTMD 3515) con 1 % de caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.3. Diseño granulométrico método Marshall (ASTM D 3515) con 2% de caucho reciclado.

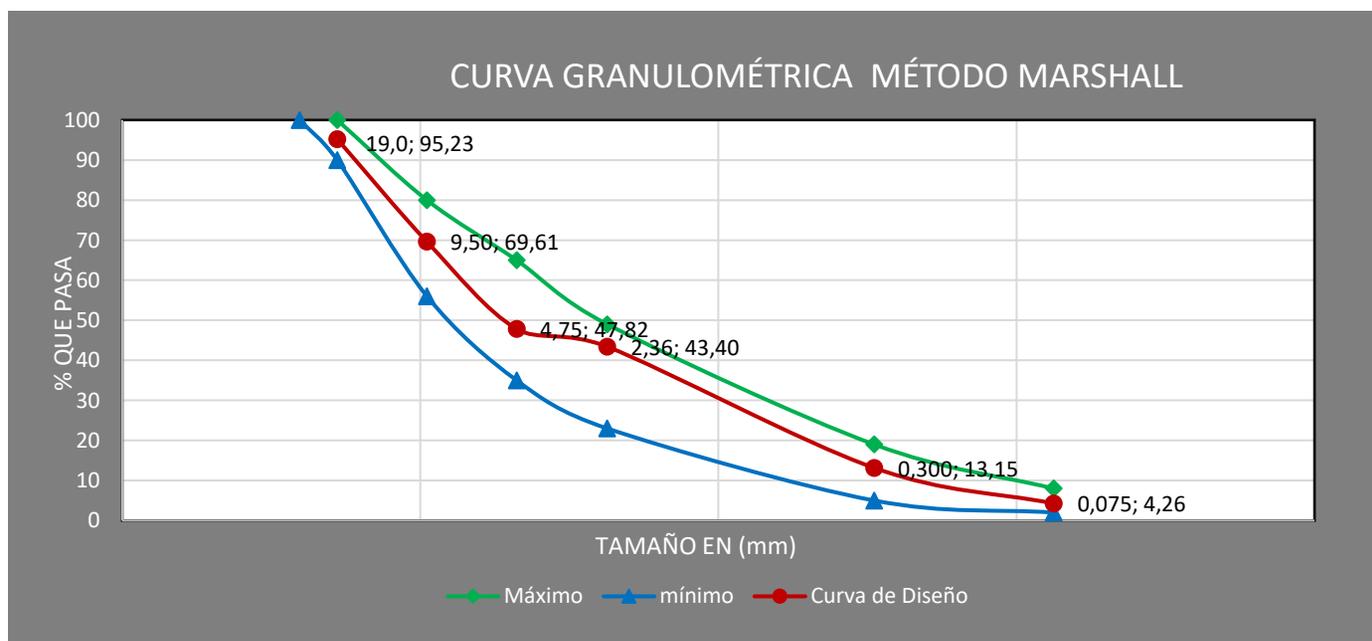
Tabla 35. Diseño granulométrico método Marshall (ASTM D 3515) con 2% de caucho reciclado.

Tamices	Tamaño (mm)	Dosificación										Curva de dosificación				Especificaciones	
		Grava*	Gravilla*	Arena*	Filler *	Caucho*	Grava	Gravilla	Arena	Filler	Caucho	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	ASTM D3515	
		Peso Ret. (gr)	(%) 25,00	(%) 28,00	(%) 38,00	(%) 7,00	(%) 2,00	100,00				Mínimo	Máximo				
1"	25,4	12,32	0,00	0,00	0,00	0,00	3,08	0,00	0,00	0,00	0,00	3,08	3,08	0,06	99,94	100	100
3/4"	19,0	941,43	0,00	0,00	0,00	0,00	235,36	0,00	0,00	0,00	0,00	235,36	238,44	4,77	95,23	90	100
1/2"	12,5	2529,99	70,13	0,00	0,00	0,00	632,50	19,64	0,00	0,00	0,00	652,13	890,57	17,81	82,19	-	-
3/8"	9,50	718,04	1605,59	0,00	0,00	0,00	179,51	449,57	0,00	0,00	0,00	629,08	1519,65	30,39	69,61	56	80
Nº4	4,75	755,33	3028,36	138,13	0,00	0,00	188,83	847,94	52,49	0,00	0,00	1089,26	2608,91	52,18	47,82	35	65
Nº8	2,36	42,89	295,92	287,50	0,00	912,10	10,72	82,86	109,25	0,00	18,24	221,07	2829,98	56,60	43,40	23	49
Nº16	1,18	0,00	0,00	1347,50	340,67	1916,10	0,00	0,00	512,05	23,85	38,32	574,22	3404,20	68,08	31,92	-	-
Nº30	0,60	0,00	0,00	1238,13	453,67	1523,51	0,00	0,00	470,49	31,76	30,47	532,71	3936,91	78,74	21,26	-	-
Nº50	0,30	0,00	0,00	985,63	312,33	465,12	0,00	0,00	374,54	21,86	9,30	405,70	4342,62	86,85	13,15	5	19
Nº100	0,15	0,00	0,00	667,50	476,00	96,90	0,00	0,00	253,65	33,32	1,94	288,91	4631,52	92,63	7,37	-	-
Nº200	0,075	0,00	0,00	161,25	1321,67	76,89	0,00	0,00	61,28	92,52	1,54	155,33	4786,85	95,74	4,26	2	8
BASE	-	0,00	0,00	174,38	2095,67	9,38	0,00	0,00	66,26	146,70	0,19	213,15	5000,00	100,00	0,00	-	-
Peso Total		5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	1250,00	1400,00	1900,00	350,00	100,00	5000,00					

(*) = Pesos retenidos que se obtienen de las curvas granulométricas de cada tipo de agregado, referidas a un peso total de 5,000 gramos.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12. Curva de diseño granulométrico método Marshall (ASTMD 3515) con 2 % de caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.4. Diseño granulométrico método Marshall (ASTM D 3515) con 3% de caucho reciclado.

Tabla 36. Diseño granulométrico método Marshall (ASTM D 3515) con 3 % de caucho reciclado.

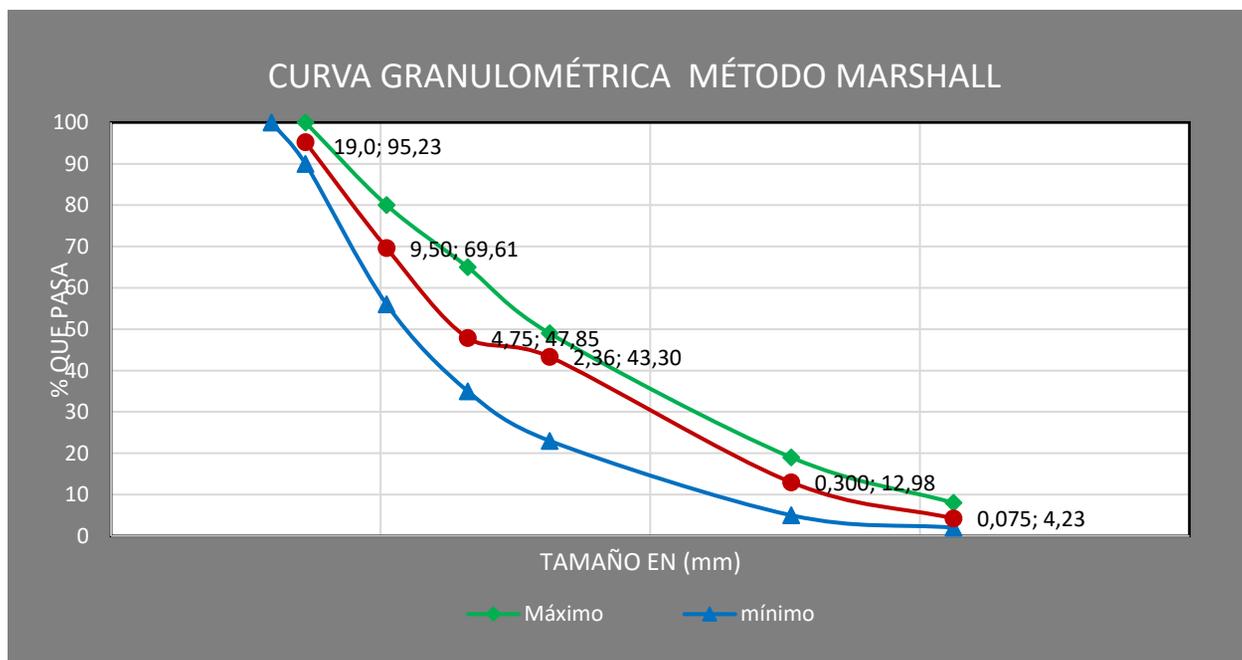
Dosificación

Tamices	tamaño (mm)	Grava*	Gravilla*	Arena*	Filler *	Caucho*	Grava	Gravilla	Arena	Filler	Caucho	Curva de dosificación				Especificaciones	
		Peso Ret. (gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Mínimo	Máximo				
1"	25,4	12,32	0,00	0,00	0,00	0,00	3,08	0,00	0,00	0,00	0,00	3,08	3,08	0,06	99,94	100	100
3/4"	19,0	941,43	0,00	0,00	0,00	0,00	235,36	0,00	0,00	0,00	0,00	235,36	238,44	4,77	95,23	90	100
1/2"	12,5	2529,99	70,13	0,00	0,00	0,00	632,50	19,64	0,00	0,00	0,00	652,13	890,57	17,81	82,19	-	-
3/8"	9,50	718,04	1605,59	0,00	0,00	0,00	179,51	449,57	0,00	0,00	0,00	629,08	1519,65	30,39	69,61	56	80
Nº4	4,75	755,33	3028,36	138,13	0,00	0,00	188,83	847,94	51,11	0,00	0,00	1087,88	2607,53	52,15	47,85	35	65
Nº8	2,36	42,89	295,92	287,50	0,00	912,10	10,72	82,86	106,38	0,00	27,36	227,32	2834,84	56,70	43,30	23	49
Nº16	1,18	0,00	0,00	1347,50	340,67	1916,10	0,00	0,00	498,58	23,85	57,48	579,90	3414,75	68,29	31,71	-	-
Nº30	0,60	0,00	0,00	1238,13	453,67	1523,51	0,00	0,00	458,11	31,76	45,71	535,57	3950,32	79,01	20,99	-	-
Nº50	0,30	0,00	0,00	985,63	312,33	465,12	0,00	0,00	364,68	21,86	13,95	400,50	4350,82	87,02	12,98	5	19
Nº100	0,15	0,00	0,00	667,50	476,00	96,90	0,00	0,00	246,98	33,32	2,91	283,20	4634,02	92,68	7,32	-	-
Nº200	0,075	0,00	0,00	161,25	1321,67	76,89	0,00	0,00	59,66	92,52	2,31	154,49	4788,50	95,77	4,23	2	8
BASE	-	0,00	0,00	174,38	2095,67	9,38	0,00	0,00	64,52	146,70	0,28	211,50	5000,00	100,00	0,00	-	-
PESO TOTAL		5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	1250,00	1400,00	1850,00	350,00	150,00	5000,00					

(*) = Pesos retenidos que se obtienen de las curvas granulométricas de cada tipo de agregado, referidas a un peso total de 5,000 gramos.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 13. Curva de diseño granulométrico método Marshall (ASTMD 3515) con 3 % de caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Contenido Mínimo de cemento asfáltico.

3.6.2.1. Método basado en la distribución de tamaño de partículas

$$p = 0,020 * a + 0,045 * b + c * d$$

Donde:

a = porcentaje de material retenido en la malla N°10

b = porcentaje que pasa malla N°10 y se retiene en N°200

c = porcentaje que pasa la malla N°200

d = coeficiente asfáltico según tipo de material (gravas trituradas de alta absorción)

$$P = 0,020*65,80+0,045*29,87+4,33*0,35$$

$$P = 4,38$$

Es así que contempla como 4,4% como contenido mínimo de cemento asfáltico para nuestros ensayos Marshall y aumentando de 0,5 % hasta completar las 6 muestras.

3.6.3. Dosificación Diseño Marshall.

3.6.3.1. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales estándar

Tabla 37. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales estándar

Peso Total de Briqueta (gr)	1200	Porcentaje de Briqueta	100%
Ponderación de Grava (%)	25	Porcentaje de Cemento Asfáltico	X%
Ponderación de Gravilla (%)	28	Porcentaje de Agregado	Y=100 - X
Ponderación de Arena (%)	40		
Ponderación de Filler (%)	7		

Porcentaje de Cemento asfáltico (%)	4,4%	4,9%	5,4%	5,9%	6,4%	6,9%
Porcentaje de Agregado (%)	95,60%	95,10%	94,60%	94,10%	93,60%	93,10%
Peso del Cemento Asfáltico (gr)*	52,80	58,80	64,80	70,80	76,80	82,80
Peso de Grava (gr) *	286,80	285,30	283,80	282,30	280,80	279,30
Peso de Gravilla (gr) *	321,22	319,54	317,86	316,18	314,50	312,82
Peso de Arena (gr) *	458,88	456,48	454,08	451,68	449,28	446,88
Peso de Filler (gr) *	80,30	79,88	79,46	79,04	78,62	78,20
Peso total de la briqueta (gr)*	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

(*) Valores para una briqueta, que varían según los porcentajes de ligante asfáltico y agregado.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.2. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 1% de caucho reciclado.

Tabla 38. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 1% de caucho

Peso Total de Briqueta (gr)	1200	Porcentaje de Briqueta	100%
Ponderación de Grava (%)	25	Porcentaje de Cemento Asfáltico	X%
Ponderación de Gravilla (%)	28	Porcentaje de Agregado	Y=100 - X
Ponderación de Arena (%)	39		
Ponderación de Filler (%)	7		
Ponderación de Caucho (%)	1		

Porcentaje de Cemento asfáltico (%)	4,4%	4,9%	5,4%	5,9%	6,4%	6,9%
Porcentaje de Agregado (%)	95,60%	95,10%	94,60%	94,10%	93,60%	93,10%
Peso del Cemento Asfáltico (gr) *	52,80	58,80	64,80	70,80	76,80	82,80
Peso de Grava (gr) *	286,80	285,30	283,80	282,30	280,80	279,30
Peso de Gravilla (gr) *	321,22	319,54	317,86	316,18	314,50	312,82
Peso de Arena (gr) *	447,41	445,07	442,73	440,39	438,05	435,71
Peso de Filler (gr) *	80,30	79,88	79,46	79,04	78,62	78,20
Peso de Caucho (gr) *	11,47	11,41	11,35	11,29	11,23	11,17
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

(*) Valores para una briqueta, que varían según los porcentajes de ligante asfáltico y agregado.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.3. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 2% de caucho reciclado.

Tabla 39. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 2% de caucho

Peso Total de Briqueta (gr)	1200	Porcentaje de Briqueta	100%
Ponderación de Grava (%)	25	Porcentaje de Cemento Asfáltico	X%
Ponderación de Gravilla (%)	28	Porcentaje de Agregado	Y=100 - X
Ponderación de Arena (%)	38		
Ponderación de Filler (%)	7		
Ponderación de Caucho (%)	2		

Porcentaje de Cemento asfáltico (%)	4,4%	4,9%	5,4%	5,9%	6,4%	6,9%
Porcentaje de Agregado (%)	95,60%	95,10%	94,60%	94,10%	93,60%	93,10%
Peso del Cemento Asfáltico (gr)*	52,80	58,80	64,80	70,80	76,80	82,80
Peso de Grava (gr) *	286,80	285,30	283,80	282,30	280,80	279,30
Peso de Gravilla (gr) *	321,22	319,54	317,86	316,18	314,50	312,82
Peso de Arena (gr) *	435,94	433,66	431,38	429,10	426,82	424,54
Peso de Filler (gr) *	80,30	79,88	79,46	79,04	78,62	78,20
Peso de Caucho (gr) *	22,94	22,82	22,70	22,58	22,46	22,34
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

(*) Valores para una briqueta, que varían según los porcentajes de ligante asfáltico y agregado.

3.6.3.4. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 3% de caucho reciclado.

Tabla 40. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 3% de caucho

Peso Total de Briqueta (gr)	1200	Porcentaje de Briqueta	100%
Ponderación de Grava (%)	25	Porcentaje de Cemento Asfáltico	X%
Ponderación de Gravilla (%)	28	Porcentaje de Agregado	Y=100 - X
Ponderación de Arena (%)	37		
Ponderación de Filler (%)	7		
Ponderación de Caucho (%)	3		

Porcentaje de Cemento asfáltico (%)	4,4%	4,9%	5,4%	5,9%	6,4%	6,9%
Porcentaje de Agregado (%)	95,60%	95,10%	94,60%	94,10%	93,60%	93,10%
Peso del Cemento Asfáltico (gr)*	52,80	58,80	64,80	70,80	76,80	82,80
Peso de Grava (gr) *	286,80	285,30	283,80	282,30	280,80	279,30
Peso de Gravilla (gr) *	321,22	319,54	317,86	316,18	314,50	312,82
Peso de Arena (gr) *	424,46	422,24	420,02	417,80	415,58	413,36
Peso de Filler (gr) *	80,30	79,88	79,46	79,04	78,62	78,20
Peso de Caucho (gr) *	34,42	34,24	34,06	33,88	33,70	33,52
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

(*) Valores para una briqueta, que varían según los porcentajes de ligante asfáltico y agregado.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4. Procedimiento de mezcla asfáltica (elaboración de briquetas)

A continuación, se detalla el diseño de la mezcla asfáltica con residuo de caucho y el proceso completo del ensayo hasta la prensa Marshall:

Paso 1: Para realizar nuestra mezcla asfáltica lo primero que debemos hacer es pesar el agregado (grava, gravilla, arena y Filler) de acuerdo a nuestra dosificación por cada tamiz y porcentaje de cemento asfáltico que se empleara en nuestras muestras.

El residuo de caucho reciclado también se debe pesar de acuerdo el porcentaje (1%,2% y 3%) que se empleara en la mezcla asfáltica.

Figura 51. Pesado de los agregados (grava, gravilla, arena, Filler y caucho reciclado)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 52. Pesado de agregados más caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. Muestras preparadas y dosificadas



Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Una vez listo el material se debe alistar los equipos e instrumentos que se emplearan, en este caso se necesita los anillos y el martillo estén limpios y preparados para la compactación de las briquetas.

Paso 3: Teniendo el material y equipo listo se debe proceder a la dosificación y calentado de la mezcla.

En un recipiente añadir los agregados (grava, gravilla, arena, Filler y caucho reciclado), ponerlo a fuego lento para que adquiera temperatura, paralelamente se vierte el cemento asfáltico a la muestra. Se debe mezclar con ayuda de una cuchara hasta que obtenga una buena adherencia en la mezcla, controlando que la temperatura no suba de 170°C.

Figura 54. Pesado del cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 55. Calentamiento de la muestra



Fuente: Elaboración propia.

Figura 56. Mezclado y control de temperatura de la muestra



Fuente: Elaboración propia.

Paso N°4: Una vez se obtenga la mezcla se lo debe introducir en el anillo el cual debe ser cubierto con papel filtro y aceite para que la mezcla no se adhiera al anillo, luego introducir al Martillo eléctrico, para proceder a darle 75 golpes por cara.

Figura 57. Lubricando de los anillos con papel y aceite



Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. Llenando de los anillos con la muestra



Fuente: Elaboración propia.

Figura 59. Introducido la muestra al Martillo eléctrico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. Controlando de los 75 golpes



Fuente: Elaboración propia.

Paso 5: Para el desmoldado de las briquetas se lo realiza con la ayuda de la prensa tipo gata y se debe esperar que este repose 2 horas mínimo.

Figura 61. Desmoldado de briquetas después del reposo



Fuente: Elaboración propia.

Paso 6: A las 24 horas de haber sido compactadas las briquetas y antes de introducir las briquetas al equipo Marshall estas deben ser procesadas.

Las briquetas se las debe medir y pesar, posteriormente se las debe introducir en un recipiente con agua a 25°C durante 10 minutos.

Figura 62. Tomado de medidas de las briquetas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 63. Pesado de las briquetas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 64. Sumergido en agua a 25°C



Fuente: Elaboración propia.

Pasado los 10 min las briquetas se las debe pesar sumergidas y secas superficialmente, realizando estos pasos se lo introduce nuevamente las briquetas en agua de 60°C durante media hora para ser llevadas al equipo Marshall.

Figura 65. Colocado de briquetas a la mordaza Marshall



Fuente: Elaboración propia.

Figura 66. Lectura del dial de estabilidad (dentro del anillo Marshall) y el dial de deformación para el flujo



Fuente: Elaboración propia.

3.6.5. Obtención de resultados y el contenido óptimo de cemento asfáltico

Se precede al llenado de datos como ser:

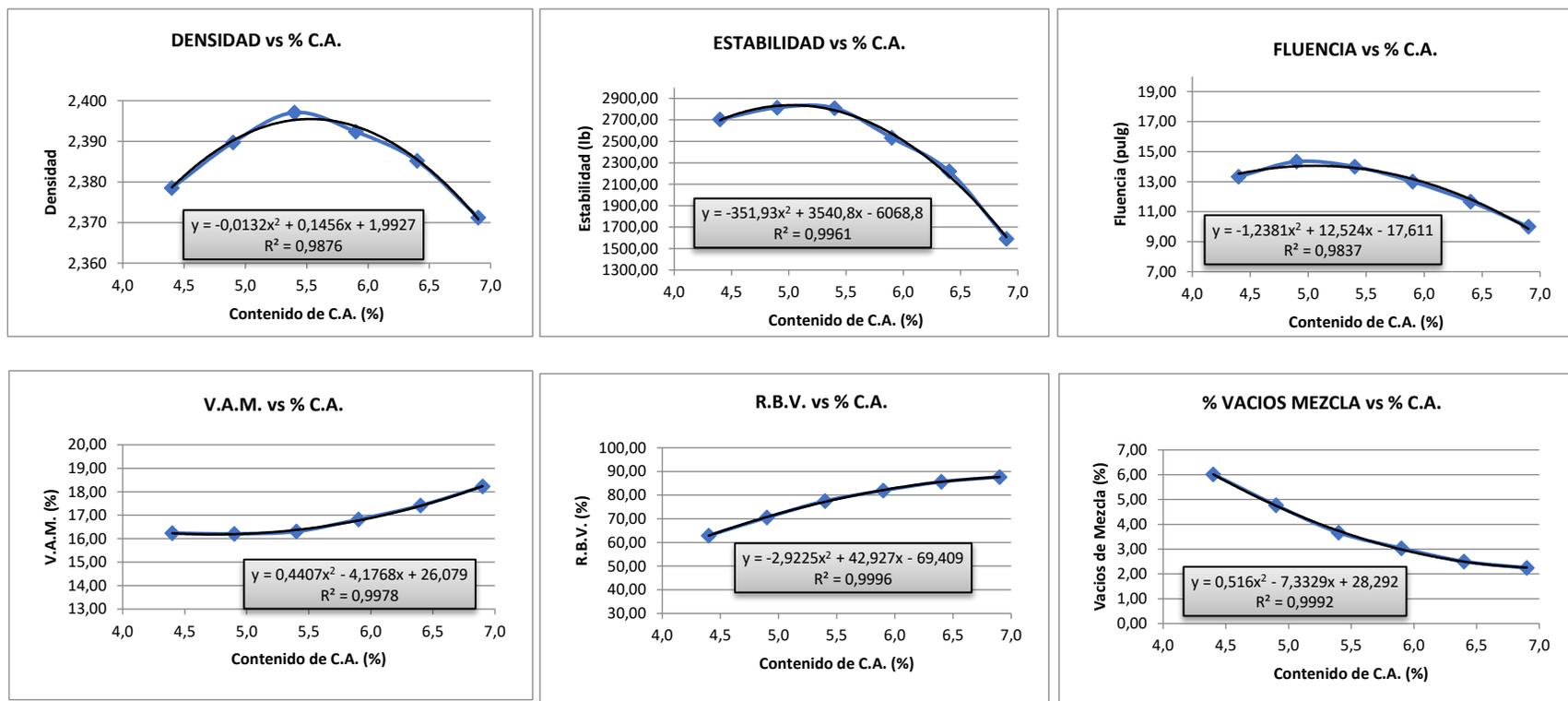
Tipo de cemento asfáltico, número de golpes por cara, temperatura de mezclado peso específico del ligante, pesos específicos de la grava, gravilla, arena Filler y caucho en la planilla Marshall.

Tabla 41. Planilla método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico convencional

Granulometría Formada			P. Especifico	% agregado		TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: CONVENCIONAL		85/100		Agregado		P.E.	%								
Mat. Retenido Tamiz N° 4			2,68	52,23		NÚMERO DE GOLPES POR CARA		75		Grava		2,67	25								
Mat. Pasa Tamiz N° 4			2,77	47,77		TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)		160		Gravilla		2,69	28								
Peso Especifico Total			2,72	100		PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm3)		1,0240		Arena		2,79	40								
										Filler		2,68	7								
N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia		
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado minera)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm3	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,40	4,60	6,360	1181,1	1182,1	685	497,1	2,38	2,38	2,53	6,02	16,24	62,94	950	2539,94	1,00	2533,59	2704,76	13	13,33	
2			6,270	1180,8	1182,6	693	489,6	2,41						1074	2873,85	1,02	2934,20		15		
3			6,380	1169,3	1175,0	677	498,0	2,35						997	2666,5	0,99	2646,50		12		
4	4,90	5,15	6,320	1178,0	1178,1	679	499,1	2,36	2,39	2,51	4,77	16,21	70,55	1050	2809,22	1,01	2831,69	2814,53	14	14,33	
5			6,360	1173,6	1173,3	680	493,3	2,38						1013	2709,59	1,00	2702,81		16		
6			6,390	1157,0	1157,1	681	476,1	2,43						1098	2938,47	0,99	2909,09		13		
7	5,40	5,71	6,110	1144,0	1145,7	663	482,7	2,37	2,40	2,49	3,67	16,31	77,51	1023	2736,51	1,07	2922,60	2810,03	15	14,00	
8			6,120	1139,3	1140,6	668	472,6	2,41						1013	2709,59	1,07	2885,71		14		
9			6,040	1139,6	1141,7	669	472,7	2,41						900	2405,3	1,09	2621,78		13		
10	5,90	6,27	6,120	1143,9	1148,0	668	480,0	2,38	2,39	2,47	3,04	16,82	81,94	876	2340,67	1,07	2492,82	2532,67	12	13,00	
11			6,110	1146,1	1149,4	669	480,4	2,39						960	2566,87	1,07	2741,41		13		
12			6,630	1149,6	1152,3	675	477,3	2,41						943	2521,09	0,94	2363,77		14		
13	6,40	6,84	6,250	1165,2	1136,0	665	471,0	2,47	2,39	2,45	2,50	17,41	85,62	874	2335,29	1,03	2398,34	2220,02	12	11,67	
14			6,240	1167,2	1167,4	668	499,4	2,34						758	2022,92	1,03	2081,59		13		
15			6,220	1179,9	1180,2	677	503,2	2,34						789	2106,4	1,04	2180,12		10		
16	6,90	7,41	6,150	1155,1	1155,4	666	489,4	2,36	2,37	2,43	2,25	18,23	87,67	750	2001,38	1,06	2113,46	1590,91	12	10,00	
17			6,360	1190,7	1171,1	669	502,1	2,37						520	1382,03	1,00	1378,58		10		
18			6,330	1184,9	1165,4	668	497,4	2,38						480	1274,32	1,01	1280,69		8		
ESPECIFICACIONES			mínimo									3	13	65	1500					8	
			máximo									5	-	75	-					16	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 14. Curvas Método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico convencional



	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	Estabilidad Marshall (Lb)	2837,28	5,03
	Densidad máxima (gr/cm ³)	2,39	5,52
	Vacios de la mezcla (%)	4,00	5,27
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%) =	5,27

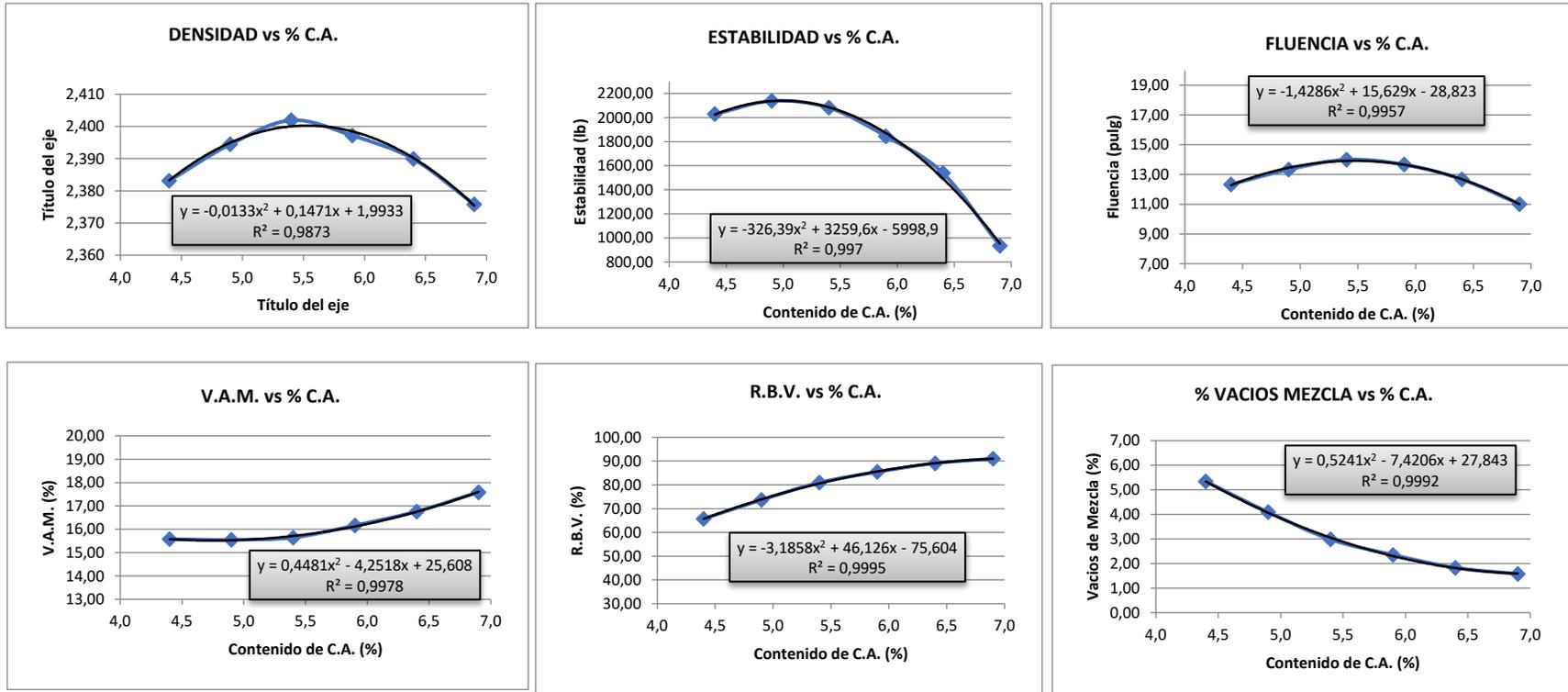
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Planilla método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico con el 1% de caucho reciclado

Granulometría Formada			P. Especifico	% agregado	TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: CONVENCIONAL									85/100			Agregado			P.E.	%	
Mat. Retenido Tamiz N° 4			2,68	52,23	NÚMERO DE GOLPES POR CARA									75			Grava			2,67	25	
Mat. Pasa Tamiz N° 4			2,74	47,77	TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)									160			Gravilla			2,69	28	
Peso Especifico Total			2,71	100	PESEO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm3)									1,0240			Arena			2,79	39	
																	Filler			2,68	7	
																	caucho			1,16	1	
N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia			
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio		
	%	%		grs.	grs.	grs.	cm3	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg		
1	4,40	4,60	6,470	1181,2	1182,2	686	496,2	2,38	2,38	2,52	5,34	15,58	65,72	721	1923,29	0,97	1865,59	2027,99	12	12,33		
2			6,380	1180,9	1182,7	694	488,7	2,42						845	2257,19	0,99	2240,27		14			
3			6,490	1169,4	1175,1	678	497,1	2,35						768	2049,85	0,97	1978,10		11			
4	4,90	5,15	6,430	1178,1	1178,2	680	498,2	2,36	2,39	2,50	4,09	15,55	73,69	821	2192,57	0,98	2148,72	2137,87	13	13,33		
5			6,470	1173,7	1173,4	681	492,4	2,38						784	2092,93	0,97	2030,15		14			
6			6,500	1157,1	1157,2	682	475,2	2,43						869	2321,82	0,96	2234,75		15			
7	5,40	5,71	6,220	1144,1	1145,8	664	481,8	2,37	2,40	2,48	2,98	15,65	80,95	794	2119,86	1,04	2194,06	2080,93	16	14,00		
8			6,230	1139,4	1140,7	669	471,7	2,42						784	2092,93	1,03	2159,91		14			
9			6,150	1139,7	1141,8	670	471,8	2,42						671	1788,65	1,06	1888,81		15			
10	5,90	6,27	6,230	1144,0	1148,1	669	479,1	2,39	2,40	2,45	2,35	16,17	85,44	647	1724,02	1,03	1779,19	1845,15	15	13,67		
11			6,220	1146,2	1149,5	670	479,5	2,39						731	1950,22	1,04	2018,47		14			
12			6,740	1149,7	1152,4	676	476,4	2,41						714	1904,44	0,91	1737,80		16			
13	6,40	6,84	6,360	1165,3	1136,1	666	470,1	2,48	2,39	2,43	1,83	16,76	89,10	645	1718,63	1,00	1714,34	1539,27	16	12,67		
14			6,350	1167,3	1167,5	669	498,5	2,34						529	1406,27	1,00	1406,27		15			
15			6,330	1180,0	1180,3	678	502,3	2,35						560	1489,75	1,01	1497,20		12			
16	6,90	7,41	6,260	1155,2	1155,5	667	488,5	2,36	2,38	2,41	1,58	17,59	91,03	521	1384,73	1,02	1417,96	934,42	12	11,00		
17			6,470	1190,8	1171,2	670	501,2	2,38						291	765,384	0,97	742,42		11			
18			6,440	1185,0	1165,5	669	496,5	2,39						251	657,672	0,98	642,87		18			
ESPECIFICACIONES			mínimo									3	13	65						1500		8
			máximo									5	-	75						-		16

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 15. Curvas Método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico con el 1 % de caucho reciclado



	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	Estabilidad Marshall (Lb)	2139,36	4,99
	Densidad máxima (gr/cm ³)	2,40	5,53
	Vacíos de la mezcla (%)	4,00	4,93
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%) =	5,15

Fuente: Elaboración propia.

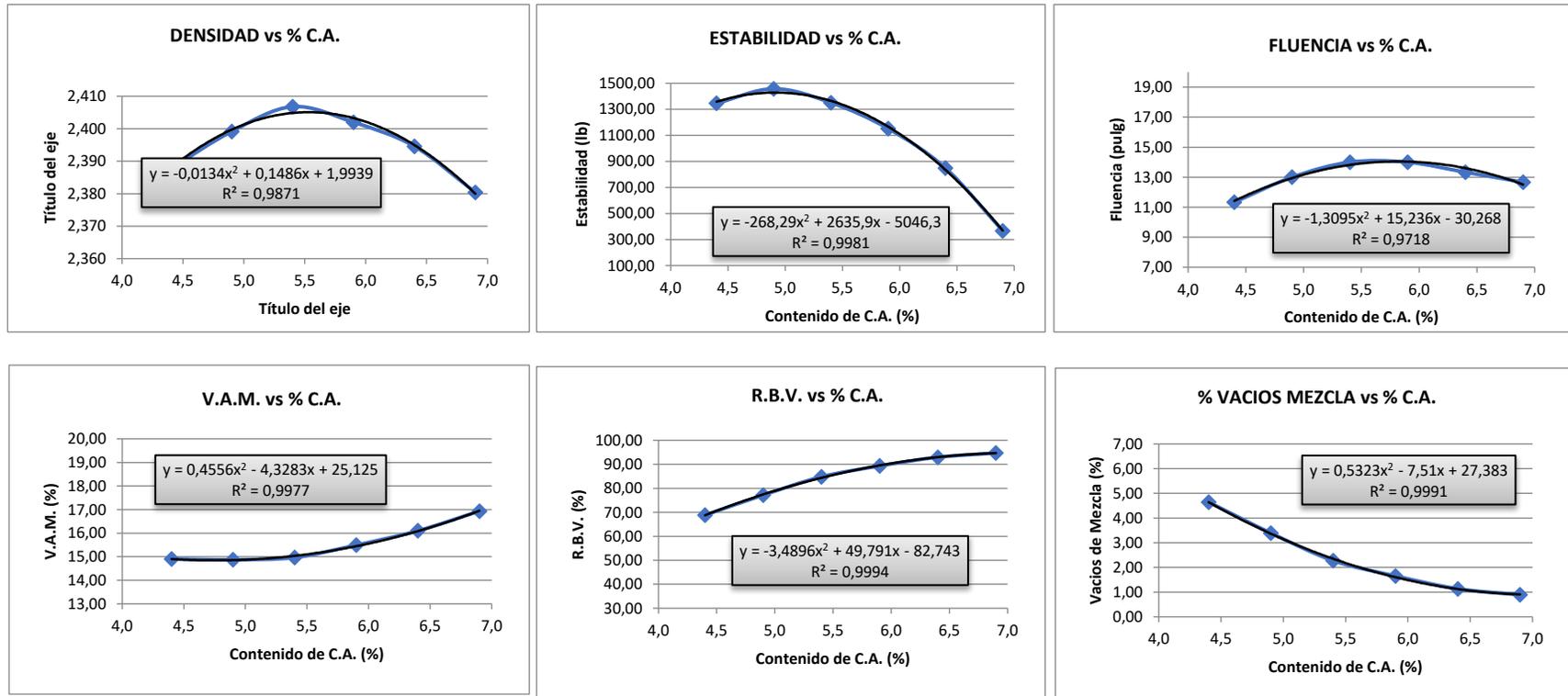
Tabla 43. Planilla método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico con el 2% de caucho reciclado

Granulometría Formada			P. Especifico	% agregado	TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: CONVENCIONAL			85/100			Agregado			P.E.	%
Mat. Retenido Tamiz N° 4			2,68	52,23	NÚMERO DE GOLPES POR CARA			75			Grava			2,67	25
Mat. Pasa Tamiz N° 4			2,70	47,77	TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)			160			Gravilla			2,69	28
Peso Especifico Total			2,69	100	PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm3)			1,0240			Arena			2,79	38
											Filler			2,68	7
											caucho			1,16	2

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia		
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm3	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,40	4,60	6,550	1181,3	1182,3	687	495,3	2,39	2,39	2,50	4,65	14,91	68,83	471	1250,09	0,95	1190,71	1345,77	11	11,33	
2			6,460	1181,0	1182,8	695	487,8	2,42						595	1583,99	0,97	1540,43		13		
3			6,570	1169,5	1175,2	679	496,2	2,36						518	1376,65	0,95	1306,16		10		
4	4,90	5,15	6,510	1178,2	1178,3	681	497,3	2,37	2,40	2,48	3,39	14,87	77,19	571	1519,37	0,96	1458,59	1457,32	12	13,00	
5			6,550	1173,8	1173,5	682	491,5	2,39						534	1419,73	0,95	1352,30		13		
6			6,580	1157,2	1157,3	683	474,3	2,44						619	1648,62	0,95	1561,08		14		
7	5,40	5,71	6,300	1144,2	1145,9	665	480,9	2,38	2,41	2,46	2,28	14,97	84,79	544	1446,66	1,01	1465,47	1350,65	15	14,00	
8			6,310	1139,5	1140,8	670	470,8	2,42						534	1419,73	1,01	1435,35		13		
9			6,230	1139,8	1141,9	671	470,9	2,42						421	1115,45	1,03	1151,14		14		
10	5,90	6,27	6,310	1144,1	1148,2	670	478,2	2,39	2,40	2,44	1,65	15,49	89,32	397	1050,82	1,01	1062,38	1151,63	14	14,00	
11			6,300	1146,3	1149,6	671	478,6	2,40						481	1277,02	1,01	1293,62		13		
12			6,820	1149,8	1152,5	677	475,5	2,42						464	1231,24	0,89	1098,88		15		
13	6,40	6,84	6,440	1165,4	1136,2	667	469,2	2,48	2,39	2,42	1,14	16,10	92,95	395	1045,43	0,98	1021,91	848,21	15	13,33	
14			6,430	1167,4	1167,6	670	497,6	2,35						279	733,07	0,98	718,41		14		
15			6,410	1180,1	1180,4	679	501,4	2,35						310	816,547	0,99	804,30		11		
16	6,90	7,41	6,340	1155,3	1155,6	668	487,6	2,37	2,38	2,40	0,89	16,93	94,72	148	380,313	1,00	381,45	365,96	11	12,67	
17			6,550	1190,9	1171,3	671	500,3	2,38						141	361,464	0,95	344,29		10		
18			6,520	1185,1	1165,6	670	495,6	2,39						151	388,392	0,96	372,12		17		
ESPECIFICACIONES			mínimo						3	13	65				1500			8			
			máximo						5	-	75				-			16			

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 16. Curvas Método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico con el 2 % de caucho reciclado



	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	Estabilidad Marshall (Lb)	1428,01	4,91
	Densidad máxima (gr/cm3)	2,41	5,54
	Vacios de la mezcla (%)	4,00	4,64
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%) =	5,03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44. Planilla método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico con el 3% de caucho reciclado

Granulometría Formada	P. Especifico	% agregado
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2,68	52,23
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2,67	47,77
Peso Especifico Total	2,68	100

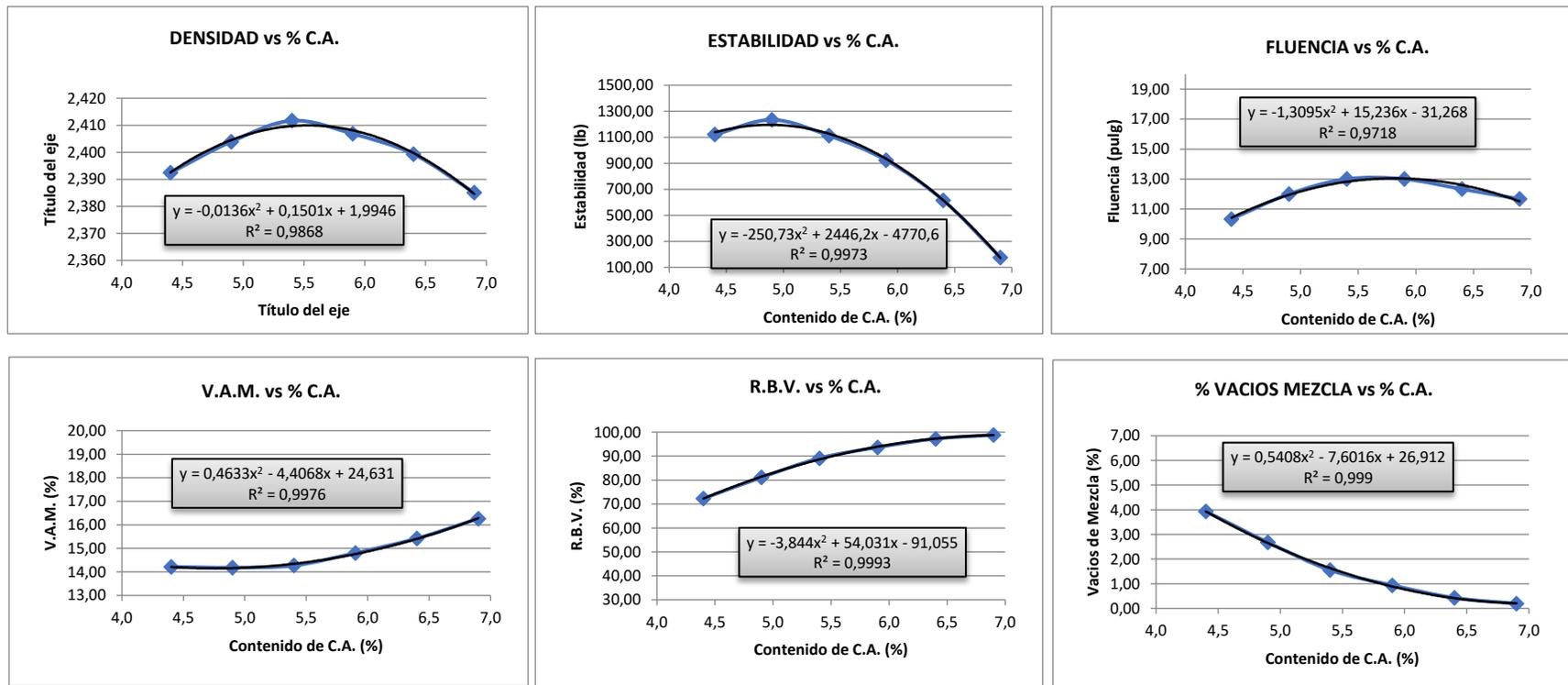
TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: CONVENCIONAL	85/100
NÚMERO DE GOLPES POR CARA	75
TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)	160
PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm3)	1,0240

Agregado	P.E.	%
Grava	2,67	25
Gravilla	2,69	28
Arena	2,79	37
Filler	2,68	7
caucho	1,16	3

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen probeta	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 vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%		grs.	grs.	grs.		grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,40	4,60	6,520	1181,3	1182,3	688	494,3	2,39	2,39	2,49	3,94	14,22	72,31	381	1007,74	0,96	965,51	1120,96	10	10,33
2			6,430	1181,0	1182,8	696	486,8	2,43						505	1341,64	0,98	1314,81		12	
3			6,540	1169,5	1175,2	680	495,2	2,36						428	1134,3	0,95	1082,57		9	
4	4,90	5,15	6,480	1178,2	1178,3	682	496,3	2,37	2,40	2,47	2,68	14,18	81,11	481	1277,02	0,97	1235,51	1234,34	11	12,00
5			6,520	1173,8	1173,5	683	490,5	2,39						444	1177,38	0,96	1128,05		12	
6			6,550	1157,2	1157,3	684	473,3	2,44						529	1406,27	0,95	1339,47		13	
7	5,40	5,71	6,270	1144,2	1145,9	666	479,9	2,38	2,41	2,45	1,56	14,27	89,10	454	1204,31	1,02	1229,60	1112,46	14	13,00
8			6,280	1139,5	1140,8	671	469,8	2,43						444	1177,38	1,02	1199,75		12	
9			6,200	1139,8	1141,9	672	469,9	2,43						331	873,096	1,04	908,02		13	
10	5,90	6,27	6,280	1144,1	1148,2	671	477,2	2,40	2,41	2,43	0,94	14,81	93,66	307	808,468	1,02	823,83	923,41	13	13,00
11			6,270	1146,3	1149,6	672	477,6	2,40						391	1034,66	1,02	1056,39		12	
12			6,790	1149,8	1152,5	678	474,5	2,42						374	988,886	0,90	890,00		14	
13	6,40	6,84	6,410	1165,4	1136,2	668	468,2	2,49	2,40	2,41	0,43	15,42	97,23	305	803,083	0,99	791,04	615,17	14	12,33
14			6,400	1167,4	1167,6	671	496,6	2,35						189	490,718	0,99	484,58		13	
15			6,380	1180,1	1180,4	680	500,4	2,36						220	574,195	0,99	569,89		10	
16	6,90	7,41	6,310	1155,3	1155,6	669	486,6	2,37	2,39	2,39	0,19	16,27	98,81	80	197,203	1,01	199,37	175,58	10	11,67
17			6,520	1190,9	1171,3	672	499,3	2,39						75	183,739	0,96	176,04		9	
18			6,490	1185,1	1165,6	671	494,6	2,40						65	156,811	0,97	151,32		16	
ESPECIFICACIONES			mínimo						3	13	65				1500			8		
			máximo						5	-	75				-			16		

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 17. Curvas Método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico con el 3 % de caucho reciclado



	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	Estabilidad Marshall (Lb)	1195,87	4,88
	Densidad máxima (gr/cm3)	2,41	5,52
	Vacios de la mezcla (%)	4,00	4,38
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%) =	4,92

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV
PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN
DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACION DE RESULTADOS

Se realizará el análisis estadístico que nos llevará a la confiabilidad de los resultados obtenidos según nuestro ensayo del método Marshall, con la aplicación del caucho reciclado de neumáticos en desuso.

Para dicha validación tomaremos el método de diferencias de medias muestrales, o más conocido como el modelo de distribución “t de student”.

4.1. Resultados para el inicio del tratamiento correspondiente

4.1.1. Método Marshall con mezclas asfálticas convencionales

Tabla 45. Resultados briquetas con mezcla asfáltica convencional

Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)
4,4	2,378	2704,76	13,33	6,02	62,94	16,24
4,9	2,390	2814,53	14,33	4,77	70,55	16,21
5,4	2,397	2810,03	14,00	3,67	77,51	16,31
5,9	2,392	2532,67	13,00	3,04	81,94	16,82
6,4	2,385	2220,02	11,67	2,50	85,62	17,41
6,9	2,371	1590,91	10,00	2,25	87,67	18,23

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Resultados finales mezcla asfáltica convencional.

Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)
5,27	2,3934	2817,099	14,005	3,978	75,650	16,307

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Método Marshall con caucho reciclado en forma granular 1%

Tabla 47. Resultados briquetas con 1% de caucho reciclado.

Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)
4,4	2,383	2027,99	12,33	5,34	65,72	15,58
4,9	2,394	2137,87	13,33	4,09	73,69	15,55
5,4	2,402	2080,93	14,00	2,98	80,95	15,65
5,9	2,397	1845,15	13,67	2,35	85,44	16,17
6,4	2,390	1539,27	12,67	1,83	89,10	16,76
6,9	2,376	934,42	11,00	1,58	91,03	17,59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Resultados finales briquetas con 1% de caucho reciclado.

Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)
5,15	2,398	2131,361	13,776	3,527	77,450	15,596

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Método Marshall con caucho reciclado en forma granular 2%

Tabla 49. Resultados briquetas con 2% de caucho reciclado.

Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)
4,4	2,388	1345,77	11,33	4,65	68,83	14,91
4,9	2,399	1457,32	13,00	3,39	77,19	14,87
5,4	2,407	1350,65	14,00	2,28	84,79	14,97
5,9	2,402	1151,63	14,00	1,65	89,32	15,49
6,4	2,395	848,21	13,33	1,14	92,95	16,10
6,9	2,380	365,96	12,67	0,89	94,72	16,93

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Resultados finales briquetas con 2% de caucho reciclado.

Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)
5,03	2,402	1424,298	13,238	3,075	79,416	14,881

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Método Marshall con caucho reciclado en forma granular 3%

Tabla 51. Resultados briquetas con 3% de caucho reciclado.

Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)
4,4	2,392	1120,96	10,33	3,94	72,31	14,22
4,9	2,404	1234,34	12,00	2,68	81,11	14,18
5,4	2,412	1112,46	13,00	1,56	89,10	14,27
5,9	2,407	923,41	13,00	0,94	93,66	14,81
6,4	2,399	615,17	12,33	0,43	97,23	15,42
6,9	2,385	175,58	11,67	0,19	98,81	16,27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Resultados finales briquetas con 3 % de caucho reciclado.

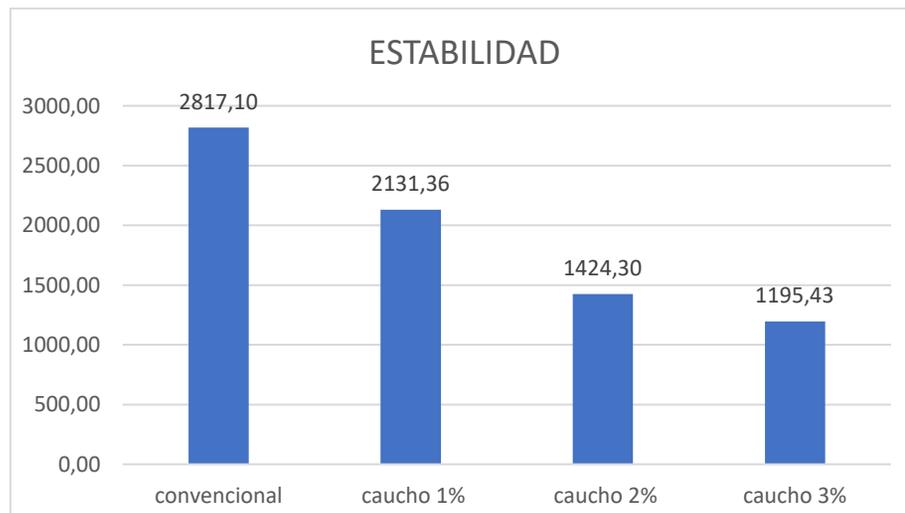
Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)
4,92	2,404	1195,433	11,995	2.603	81,728	14,164

Fuente: Elaboración propia

4.2. Gráficos de comparación

4.2.1. Estabilidad Marshall

Gráfico 18. Estabilidad Marshall



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico anterior se muestra una comparación de la estabilidad Marshall, obtenido con la mezcla convencional y material modificado, además de sus porcentajes de adición de caucho granular, el cual muestra que tiene una reducción hasta el 24,34%, en comparación de la muestra

convencional con la adición del 1% y un 33,17 % en el 2% y un 16,07 % en el 3% de cacho reciclado.

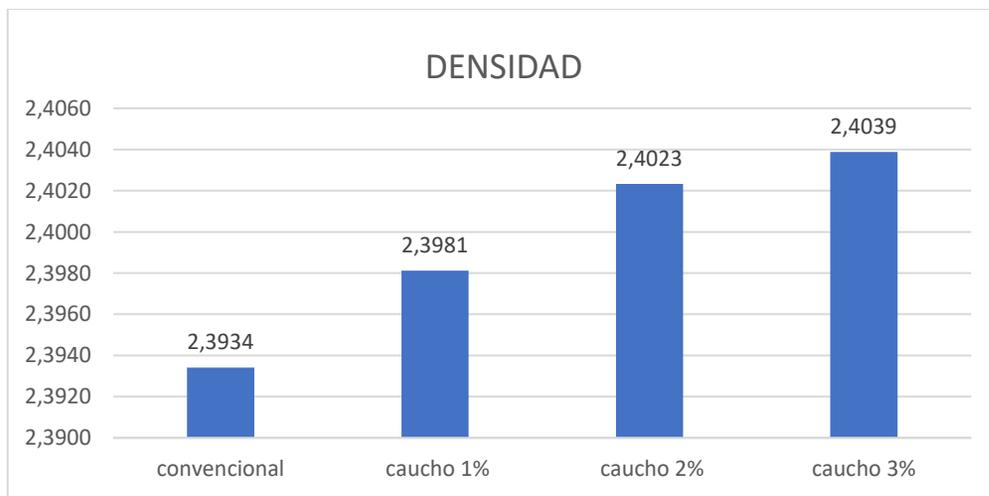
Tabla 53. Resumen de mezclas y % de adición (estabilidad).

Tipo de mezcla y % de adición	Estabilidad (Libras)
convencional	2817,10
caucho 1%	2131,36
caucho 2%	1424,30
caucho 3%	1195,43

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Densidad Marshall

Gráfico 19. Densidad Marshall



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico anterior se muestra una comparación de la estabilidad Marshall, obtenido con la mezcla convencional y material modificado, además de sus porcentajes de adición de caucho granular, el cual muestra que tiene un incremento hasta el 0,19%, en comparación de la muestra convencional con la adición del 1% y un 0,17 % en el 2% y un 0,06 % en el 3% de cacho reciclado.

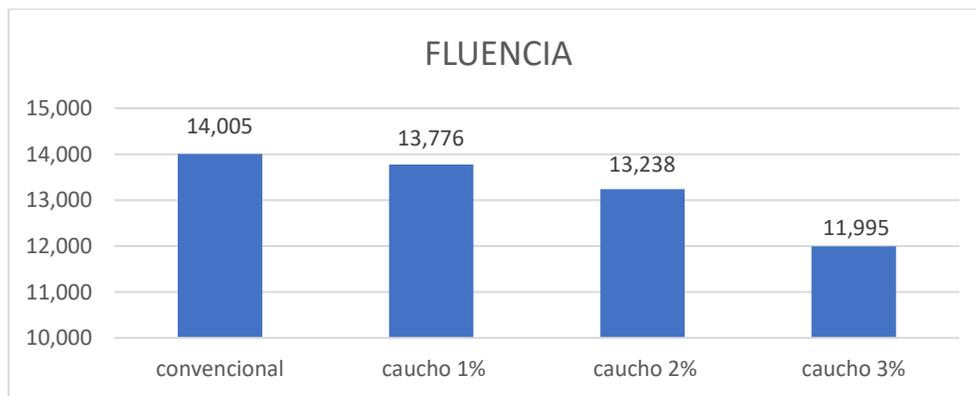
Tabla 54. Resumen de mezclas y % de adición (densidad).

Tipo de mezcla y % de adición	Densidad (Libras)
convencional	2,3934
caucho 1%	2,3981
caucho 2%	2,4023
caucho 3%	2,4039

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Fluencia Marshall

Gráfico 20. Fluencia Marshall



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico anterior se muestra una comparación de la estabilidad Marshall, obtenido con la mezcla convencional y material modificado, además de sus porcentajes de adición de caucho granular, el cual muestra que decreció un porcentaje de 1,66 % en comparación del 1% con la mezcla convencional, luego decrece en un 4,07 % en el 2% de caucho y en el 3% de caucho reciclado un 10.36%.

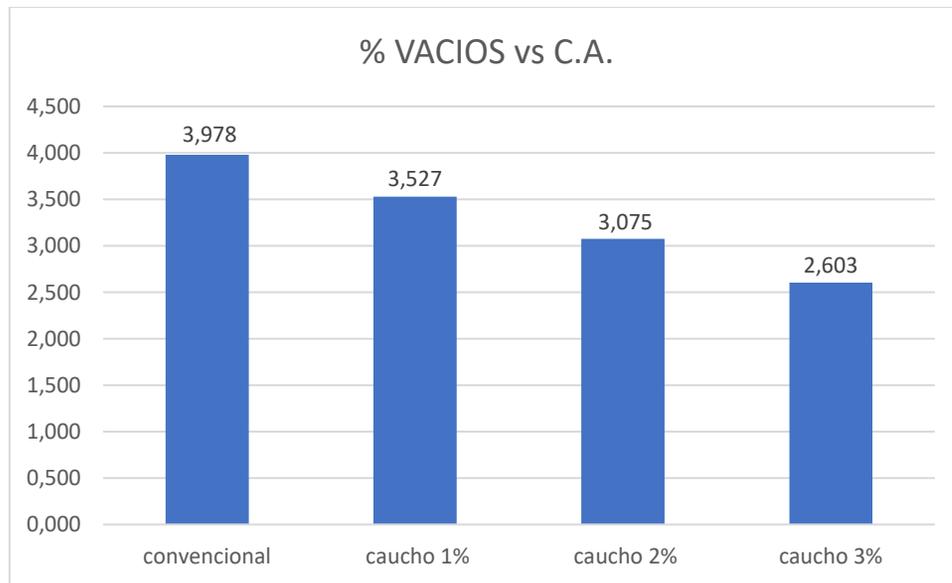
Tabla 55. Resumen de mezclas y % de adición (Fluencia).

Tipo de mezcla y % de adición	Fluencia (pulg)
convencional	14,005
caucho 1%	13,776
caucho 2%	13,238
caucho 3%	11,995

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Vacíos de la mezcla

Gráfico 21. % de vacío vs cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico anterior se muestra una comparación del % de vacíos en la mezcla mediante el ensayo Marshall, obtenido con la mezcla convencional y modificada, además de sus porcentajes de adición de caucho reciclado, el cual muestra variaciones a tomar en cuenta.

Tabla 56. Resumen de mezcla y porcentaje de adición

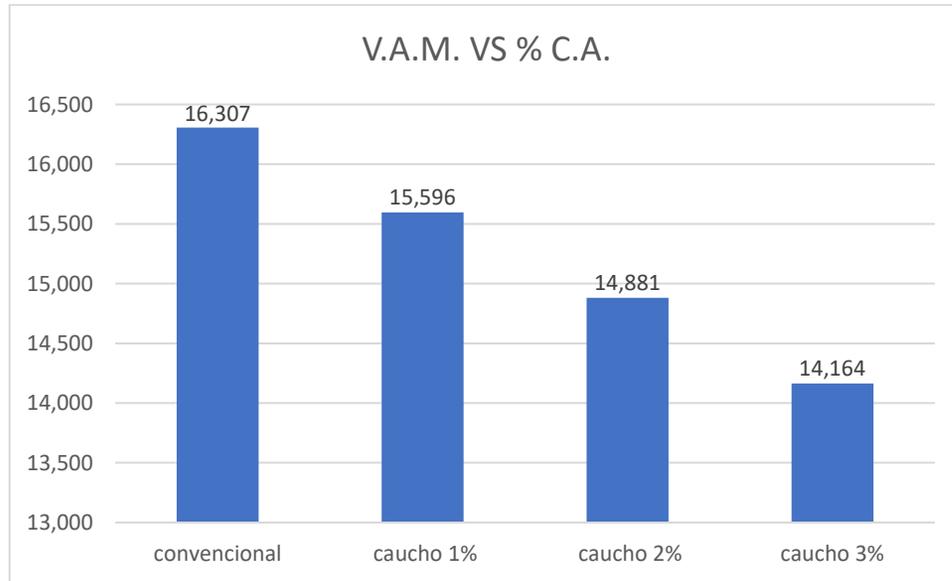
Tipo de mezcla y % de adición	% de vacíos de la mezcla
convencional	3,978
caucho 1%	3,527
caucho 2%	3,075
caucho 3%	2,603

Fuente: Elaboración propia

También observamos que el método de material asfáltico modificado tiene un valor más bajo que el obtenido con el método convencional, el cual también se mostrará un análisis sobre cuál sería el factor que causa esta variación en el porcentaje de vacíos en las mezclas.

4.2.5. V.A.M. Vacío del Agregado Mineral

Gráfico 22.% V.A.M. versus porcentaje cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico anterior se muestra una comparación del vacío del agregado mineral mediante el ensayo Marshall, con la muestra modificada, y además de sus porcentajes de adición de caucho reciclado, el cual muestra variaciones a tomar en cuenta y donde además entre el convencional y el 1% de caucho reciclado, existe una diferencia del 4,55%.

Tabla 57. Resumen de mezclas y % de adición (V.A.M.).

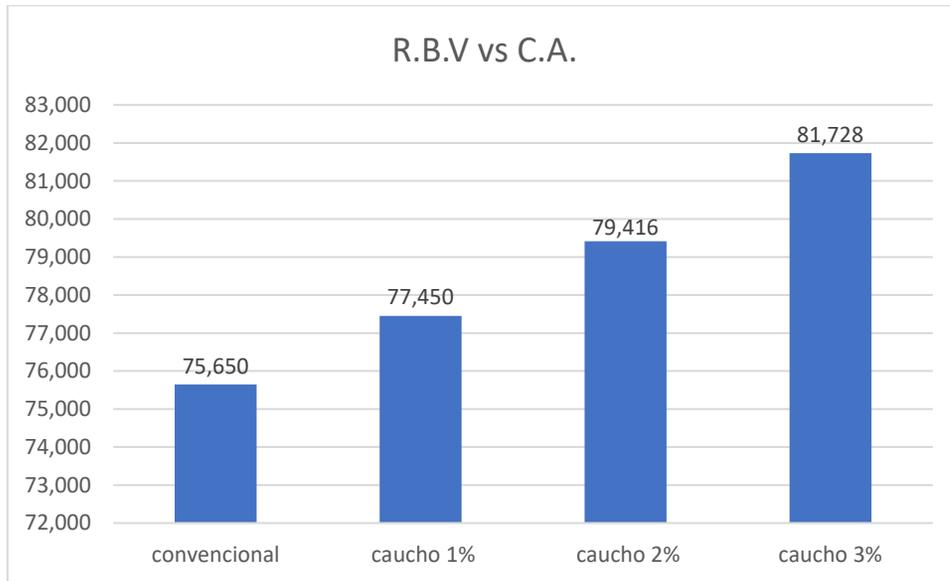
Tipo de mezcla y % de adición	Vacío del agregado mineral (%)
convencional	16,307
caucho 1%	15,596
caucho 2%	14,881
caucho 3%	14,164

Fuente: Elaboración propia.

También observamos que el método convencional tiene un valor elevado que el obtenido con el método de material asfáltico reciclado.

4.2.6. R.B.V. Relación Betún Vacíos

Gráfico 23. R.B.V relación betún vacíos



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se muestra una comparación en el factor de relación betún vacíos, mediante el ensayo Marshall, mostrado con la mezcla modificada caucho reciclado, y además de sus diferentes porcentajes de adición, el cual muestra variaciones a tomar en cuenta.

Tabla 58. Resumen de mezclas y % de adición (R.B.V.).

Tipo de mezcla y % de adición	R.B.V. Relación Betún Vacíos (%)
convencional	75,650
caucho 1%	77,450
caucho 2%	79,416
caucho 3%	81,728

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Análisis estadístico

4.3.1 Análisis estadístico Descriptivo

Son métodos empleados para resumir las características clave de datos conocidos y su objetivo es caracterizar un grupo de datos y examinar tendencias o distribuciones.

Tabla 59. Datos obtenidos para el análisis estadístico con el 1% de adición de caucho reciclado

Granulometría Formada			P. Especifico	% agregado	TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO: CONVENCIONAL			85/100	Agregado			P.E.	%
Mat. Retenido Tamiz N° 4			2,68	52,23	NÚMERO DE GOLPES POR CARA			75	Grava			2,67	25
Mat. Pasa Tamiz N° 4			2,74	47,77	TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)			160	Gravilla			2,69	28
Peso Especifico Total			2,71	100	PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-229 (gr/cm3)			1,0240	Arena			2,79	39
									Caucho			1,16	7
									Filler			2,68	1

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia			
	base Mezcla	base Agregados		seco	Sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio	
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm3	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg	
				grs.	grs.	grs.		cm3	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3											
1			6,64	1162,4	1165,4	680	485,4	2,3947					845	2257,19	0,94	2112,06		13,6				
2	5,15	5,43	6,48	1176,6	1179,3	687	492,3	2,3900	2,40	2,49	3,53	15,59	77,35	878	2346,06	0,97	2269,81	2167,96	12	13,37		
3			6,73	1178,6	1188,9	700	488,9	2,4107					868	2319,13	0,92	2122,00		14,5				
4			6,44	1164,2	1174,6	689	485,6	2,3974					854	2281,43	0,98	2230,10		14,5				
5	5,15	5,43	6,78	1163,1	1163,1	678	485,1	2,3976	2,40	2,49	3,57	15,63	77,16	901	2407,99	0,90	2173,21	2201,66	12,5	13,50		
ESPECIFICACIONES			mínimo									3	13	65						1800		8
			máximo									5	-	75						-		16

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60. Resultados obtenidos del análisis estadístico

Densidad Real	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	Estabilidad real corregida	lectura dial del flujo
gr/cm3	%	%	%	libras	0,01 pulg
2,39	3,68	15,73	76,58	2112,06	13,60
2,39	3,87	15,89	75,63	2269,81	12,00
2,41	3,04	15,16	79,96	2122,00	14,50
2,40	3,57	15,63	77,14	2230,10	14,50
2,40	3,56	15,62	77,18	2173,21	12,50

Media	2,3981	3,5231	15,6034	77,2732	2179,7420	13,3407
Desviación	0,0077	0,3094	0,2707	1,6113	68,1750	1,1432
Mediana	2,3974	3,5730	15,6305	77,1406	2173,2123	13,600

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Prueba de hipótesis

4.4.1. Hipótesis de la investigación

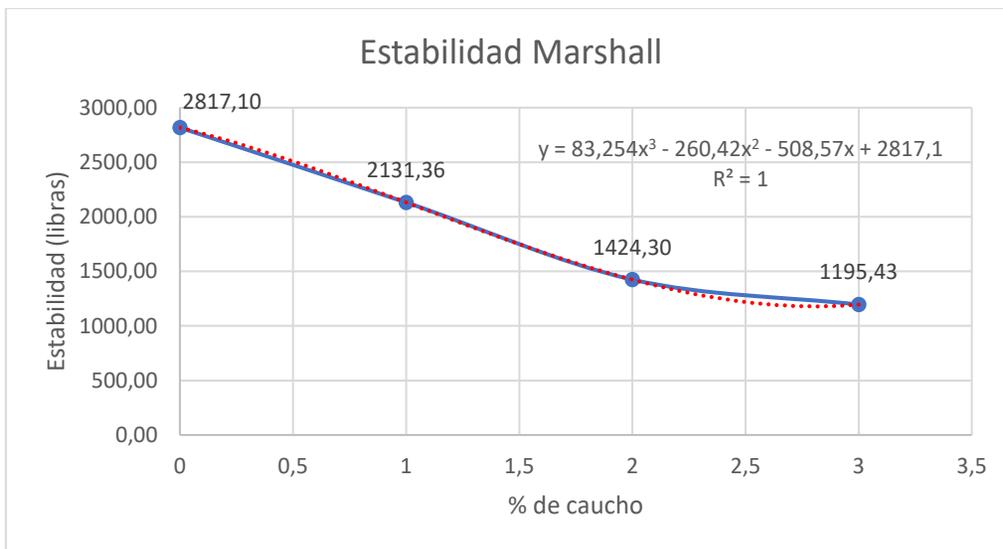
“La combinación del caucho reciclado de neumaticos fuera de uso en forma granular adicionado a la mezcla asfaltica produce mejoras en las propiedades de la carpeta asfaltica con la prueba Marshall”

4.4.2. Análisis de estabilidad Marshall

La estabilidad de un asfalto es la capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y dureza bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Según este pequeño concepto mencionado anteriormente, se entiende que, a mayor valor de estabilidad, tendremos una mejor capacidad de resistir deformaciones y ahuellamientos por las cargas de tránsito, entonces según las especificaciones que tenemos para nuestro proyecto que debemos tener una estabilidad ≥ 1500 libras (tráfico liviano), entonces observamos la gráfica:

Gráfico 24. Estabilidad Máxima



Fuente: Elaboración propia

Si bien tenemos una estabilidad relativamente alta de 2817,10 libras y dentro de las especificaciones; con la adición del 1% de caucho con un 2131,36 ≥ 1500 libras, sin embargo, se notó una disminución considerable con los porcentajes de 2% y 3% de adición de caucho llegando a salir de las especificaciones técnicas hasta para tráfico liviano ≥ 1500 libras por lo tanto no es

factible ya que no tiene resultados positivos para el aumento de esta propiedad, por tanto, para nuestra hipótesis alternativa planteada “La combinación del caucho reciclado de neumaticos fuera de uso en forma granular adicionado a la mezcla asfáltica produce mejoras en las propiedades de la carpeta asfáltica con la prueba Marshall”

Es rechazada y aceptamos la hipótesis nula, la cual nos dice que la adición de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso no mejora las propiedades de la carpeta asfáltica.

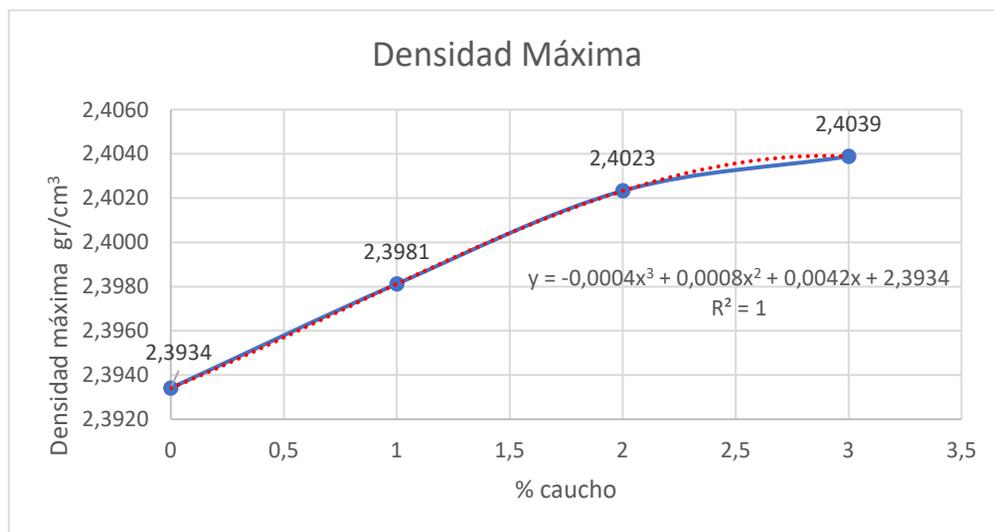
Tomando en cuenta que con el 1 % de adición de caucho reciclado se encuentra dentro de las especificaciones técnicas.

4.4.3. Análisis de densidad Marshall

La densidad máxima está definida como el peso unitario de la mezcla compactada. La densidad está directamente relacionada con la durabilidad y resistencia de la mezcla.

Si bien no tenemos un valor que tengamos en la especificación técnica, mayormente los valores que se obtienen oscilan entre 2,39 gr/cm³ y 2,41 gr/cm³, se tiene los valores que observamos a continuación:

Gráfico 25. Densidad Máxima



Fuente: Elaboración propia

Si bien tenemos una densidad relativamente alta y dentro de las especificaciones técnicas mezcla convencional 2,3934 gr/cm³, con la adición de caucho reciclado en los porcentajes de 1% (2,3981 gr/cm³), 2% (2,4023 gr/cm³) y 3% (2,4039 gr/cm³) decir que en el porcentaje de adición

del 1% de caucho reciclado tenemos un aumento de densidad de 0,006 %, entonces tenemos la siguiente conclusión:

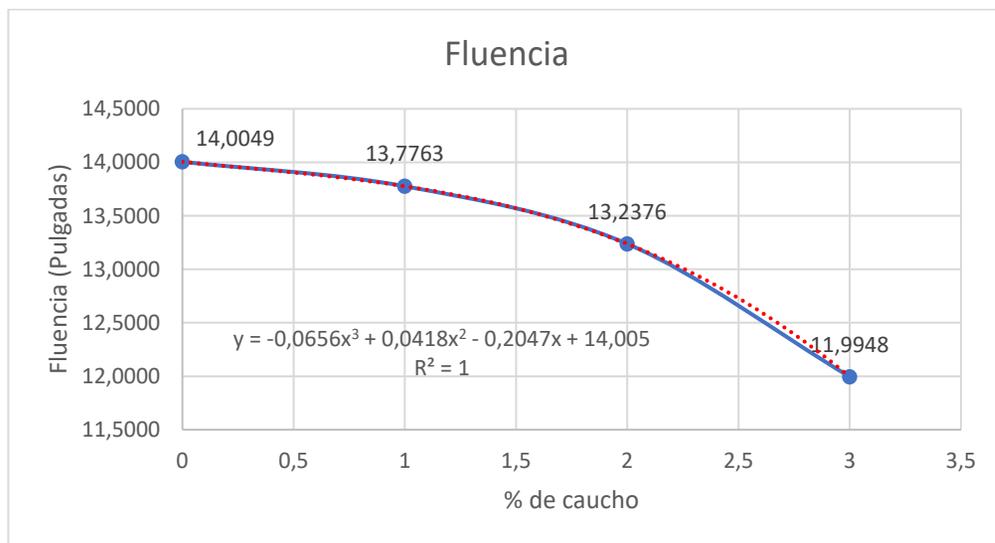
“La combinación del caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en forma granular adicionado a la mezcla asfáltica produce mejoras en las propiedades de la carpeta asfáltica con la prueba Marshall”

Entonces aceptamos o damos credibilidad a la hipótesis alternativa.

4.4.4. Análisis de la fluencia Marshall

La fluencia es la deformación total expresada en pulgadas que experimenta la probeta desde el comienzo de la aplicación de la carga en el ensayo de estabilidad, hasta el instante de producirse la falla.

Gráfico 26. Fluencia Máxima



Fuente: Elaboración propia

Según nuestra especificación técnica tenemos que la fluencia debe encontrarse entre 8 y 18 pulgadas, entonces observando la anterior gráfica, se tiene que la prueba convencional tiene 14,005 pulgadas, con la adición de 1% de caucho se tiene un valor de 13,776 pulgadas se encuentra la fluencia en un valor aceptable, sin embargo se notó una disminución considerable con los porcentajes de 2% y 3% de adición de caucho el mismo decreció lo que significa que tendremos mayores deformaciones en nuestra mezcla asfáltica mientras aumentamos el caucho reciclado, de esta manera tenemos la siguiente conclusión:

Rechazamos la hipótesis alternativa y aceptamos la hipótesis nula, la cual nos dice que:

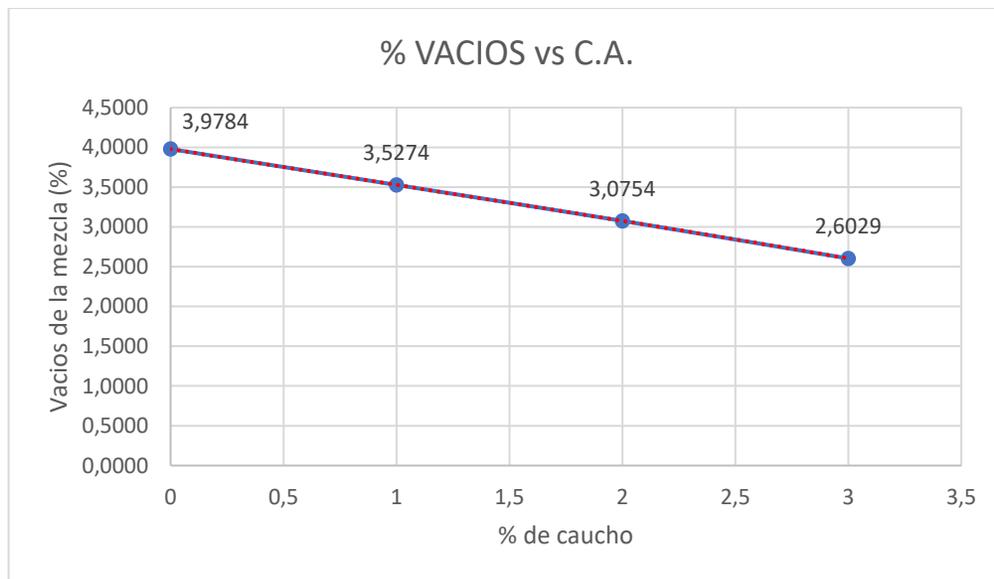
“La combinación del caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en forma granular adicionado a la mezcla asfáltica NO produce mejoras en las propiedades de la carpeta asfáltica con la prueba Marshall”

Tomando en cuenta que con la adición de 1%, 2% y 3% de caucho reciclado de neumático fuera de uso a la mezcla asfáltica las propiedades de la carpeta asfáltica se encuentran dentro de las especificaciones técnicas de tráfico liviano.

4.4.5. Análisis de % de vacíos de la mezcla

Se expresa generalmente como vacíos o vacíos de aire de la mezcla. Son espacios ocupados por aire, los que pueden estar conectados o no. Los vacíos permiten que el asfalto de la mezcla pueda expandirse por efecto de la temperatura y del tránsito, evitando que el mismo migre hacia el exterior de la capa construida. Los vacíos colaboran en el efecto de sobre compactación que sufren las capas asfálticas por efecto del tránsito.

Gráfico 27. Variación de % de vacíos de la mezcla



Fuente: Elaboración propia

Los vacíos de la mezcla, serán determinantes en la calidad y durabilidad de la mezcla. Un contenido alto de vacíos dará como resultado una mezcla muy permeable permitiendo la entrada de agua y la posterior oxidación del asfalto que recubre las partículas de agregados. En caso de ser muy bajo el porcentaje de vacíos, es posible que la mezcla presente exudación de asfalto. La densidad está

íntimamente relacionada con el porcentaje de vacíos, a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y viceversa. Las especificaciones de la mezcla requieren usualmente una densidad que permita tener el menor porcentaje de vacíos compatible con la capa a construir.

Entonces es muy necesario que el porcentaje de vacíos se encuentre dentro de las especificaciones técnicas, las cuales nos dice que el % de vacíos debe encontrarse entre los valores de 3% - 5%, y observando la gráfica anterior vemos que con mezcla convencional, se tiene un alto contenido de vacíos 3,978%, pero que aún se encuentra dentro de las especificaciones técnicas, mientras que a la adición del 1% de caucho reciclado se tiene una reducción de vacíos de 3,527%, lo cual es favorable y también se encuentra dentro de las especificaciones técnicas, al 2% de adición de caucho reciclado se tiene nuevamente una reducción de vacíos de 3,075% y al 3% de adición una reducción de 2,603% de vacíos, lo cual no es favorable para nuestra mezcla, entonces se puede concluir de la siguiente manera:

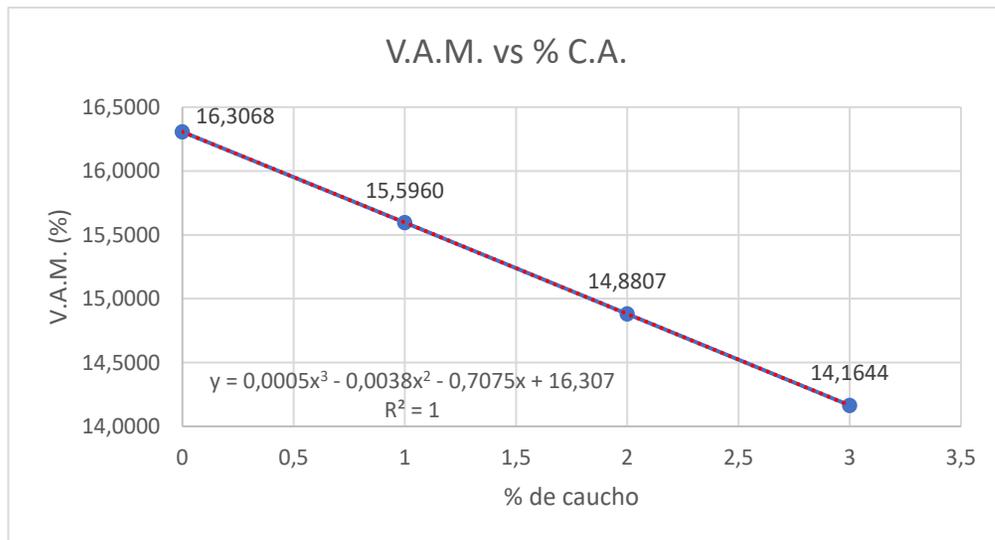
De esta manera rechazamos la hipótesis alternativa y aceptamos la hipótesis nula, la cual nos dice que “La combinación del caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en forma granular adicionado a la mezcla asfáltica NO produce mejoras en las propiedades de la carpeta asfáltica con la prueba Marshall”

Aunque los demás porcentajes 1%,2% de adición de caucho reciclado aún se encuentren dentro de las especificaciones técnicas,

4.4.6. Análisis de V.A.M. Vacío del Agregado Mineral

Los vacíos en el agregado mineral son los vacíos de aire a los que se suman los espacios intergranulares ocupados por asfalto. Representa el espacio que tiene la mezcla para acomodar el asfalto efectivo (asfalto que forma película sobre los agregados) y los espacios de aire que quedan en la mezcla luego de ser colocada y compactada. El valor del V.A.M. está directamente relacionado con el tamaño máximo del agregado. Cuanto mayor sea el V.A.M, mayor espesor tendrá la película de asfalto que recubre los agregados, dando una mezcla más durable. Por el contrario, cuando el V.A.M. es muy bajo esta película asfáltica es muy delgada y da como resultado mezclas con tendencia a oxidarse y por lo tanto menos durables.

Gráfico 28. Variación del V.A.M.



Fuente: Elaboración propia

Dentro de la especificación técnica que se tiene según nuestro tamaño máximo de agregado N°4, se debe cumplir un % de vacíos de 18%, lo cual podemos observar en la gráfica anterior que si se cumple con el material convencional con un valor de 16,307%, luego con la adición del 1% de caucho tenemos disminuye su % de VAM en un 4,55%, lo cual no es recomendable que suceda, mientras que a la adición de un 2% se de igual manera disminuye en un 4.80% y al 3% de adición de caucho disminuye en 5,05 %, en relación a la mezcla convencional.

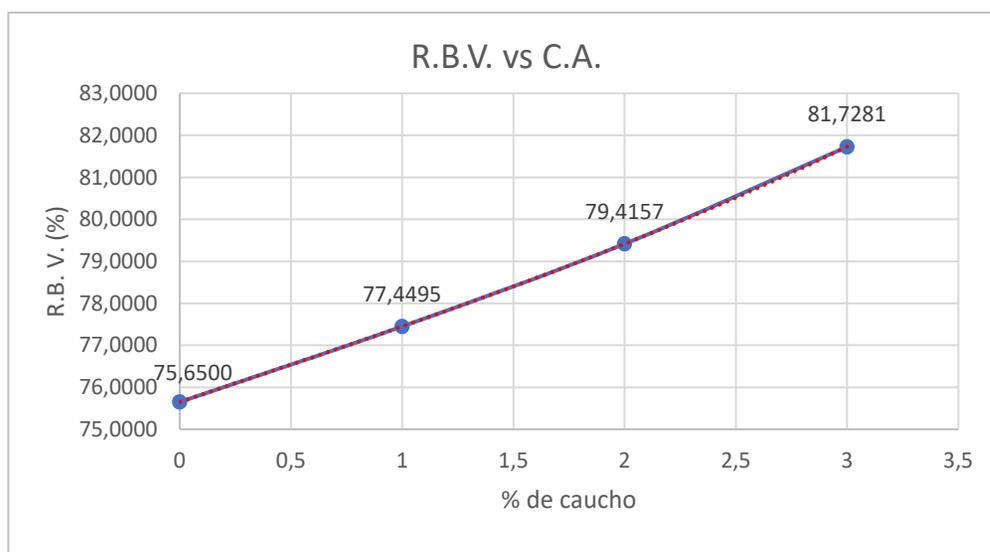
Por tanto, tenemos la siguiente conclusión:

“La combinación del caucho reciclado de neumaticos fuera de uso en forma granular adicionado a la mezcla asfaltica NO produce mejoras en las propiedades de la carpeta asfaltica con la prueba Marshall”

4.4.7. R:B:V Relación Betún Vacíos

Según la especificación técnica de nuestro cemento asfaltico 85/100, tenemos que la relación betún vacíos debe estar en el rango de 75% - 82%, entonces observando la gráfica:

Gráfico 29. Variación de R.B.V



Fuente: Elaboración propia

observamos que la adición de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en 1%,2% y 3% se encuentran dentro de nuestra especificación, con un incremento de 2,32% en la adición del 1% del caucho, de 2.47% en el 2% y el 2.82% en la adición del 3% de caucho reciclado en comparación con la muestra convencional de la mezcla asfáltica, entonces podemos

concluir lo siguiente:

Que se cumple la hipótesis alternativa

“La combinación del caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en forma granular adicionado a la mezcla asfáltica produce mejoras en las propiedades de la carpeta asfáltica con la prueba Marshall”.

4.5. Analisis técnico – económico

4.5.1. Analisis economico carpeta asfaltica convencional

Tabla 61. Análisis de precios unitarios asfalto convencional

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DATOS GENERALES					
Actividad:	CARPETA DE CONCRETO-ASFALTO CONVENCIONAL				
Cantidad:	1				
Unidad:	M3				
Moneda:	Bolivianos				
1.- MATERIALES					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	GRABA 3/4 TRITURADA CLASIFICADA DE PLANTA	M3	0,35	152,00	52,98
2	GRAVILLA 3/8 TRITURADA CLASIFICADA DE PLANTA	M3	0,39	152,00	59,48
3	ARENA CLASIFICADA	M3	0,63	145,00	91,95
4	CEMENTO ASFALTICO	LT	0,13	10,58	1,33
5	DIESEL	LT	18,00	3,74	67,32
TOTAL DE MATERIALES :					273,06
2.- MANO DE OBRA					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	Ayudante	hr	0,028	16	0,448
2	Capataz	hr	1,8	25	45
3	Operador	hr	0,82	20	16,4
4	Operador equipo liviano	hr	0,082	18	1,476
5	Operador de planta	hr	0,09	23,19	2,0871
6	Obrero	hr	0,072	12,07	0,86904
7	Chofer	hr	0,0012	18	0,0216
Subtotal Mano de Obra :					66,30
Cargas Sociales (% del Subtotal de Mano de Obra)			60%	66,30	39,78
Impuestos I.V.A. Mano de Ora (% de Mano de Obra + Carga Sociales)			14,94%	106,08	15,85
Subtotal Cargas Sociales e Impuestos :					55,63
TOTAL DE MANO DE OBRA :					121,93
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	COMPAC. ROD. LISO Y PATA DE CABRA AUTOP.	hr	0,035	303,85	10,63475
	DISTRIBUIDOR DE AGREGADOS AUTOP.	hr	0,028	455,03	12,74084
	ESCOBA MECANICA AUTOP.	hr	0,028	71,55	2,0034
	PLANTA CALENTAMIENTO DE ASFALTO	hr	0,09	965,23	86,8707
	RODILLO NEUMATICO TSP 10000	hr	0,084	332,81	27,95604
	TERMINADORA DE ASFALTO	hr	0,075	669,06	50,1795
	CARGADOR FRONTAL DE RUEDAS 950 M3	hr	0,0001	421,29	0,042129
	VOLQUETE >= 12 M3	hr	0,0012	227,87	0,273444
Herramientas (% de Total de Mano de Obra)			8%	121,93	9,75
TOTAL DE EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS:					200,46
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			10,00%	595,45	59,54
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
5.- UTILIDAD					
UTILIDAD=% DE 1+2+3+4			0,00%	654,99	0,00
TOTAL UTILIDAD					
6.- IMPUESTOS					
IMPUESTOS IT-% DE 1+2+3+4+5			3,09%	654,99	20,24
TOTAL IMPUESTOS					
TOTAL PRECIO UNITARIO 1+2+3+4+5+6					675,23

Fuente: Elaboración propia.

4.5.1.2. Analisis economico carpeta asfaltica con adicion del 1% de caucho reciclado

Tabla 62. Análisis de precio unitarios de asfalto modificado con 1% de grano de caucho reciclado

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DATOS GENERALES					
Actividad:	CARPETA DE CONCRETO-ASFALTO MODIFICADA CON 1% DE GRANO DE CAUCHO RECICALDO				
Cantidad :	1				
Unidad :	M3				
Moneda :	Bolivianos				
1.- MATERIALES					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	GRABA 3/4 TRITURADA CLASIFICADA DE PLANTA	M3	0,35	152,00	53,27
2	GRAVILLA 3/8 TRITURADA CLASIFICADA DE PLANTA	M3	0,39	152,00	59,80
3	ARENA CLASIFICADA	M3	0,62	145,00	90,49
4	CEMENTO ASFALTICO 85/100	LT	0,12	10,58	1,31
5	CAUCHO RECICLADO	KG	0,23	2,50	0,56
6	DIESEL	LT	18,00	3,74	67,32
TOTAL DE MATERIALES :					272,75
2.- MANO DE OBRA					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	Ayudante	hr	0,028	16	0,448
2	Capataz	hr	1,8	25	45
3	Operador	hr	0,82	20	16,4
4	Operador equipo liviano	hr	0,082	18	1,476
5	Operador de planta	hr	0,09	23,19	2,0871
6	Obrero	hr	0,072	12,07	0,86904
7	Chofer	hr	0,0012	18	0,0216
Subtotal Mano de Obra :					66,30
Cargas Sociales (% del Subtotal de Mano de Obra)			60%	66,30	39,78
Impuestos I.V.A. Mano de Ora (% de Mano de Obra + Carga Sociales)			14,94%	106,08	15,85
Subtotal Cargas Sociales e Impuestos :					55,63
TOTAL DE MANO DE OBRA :					121,93
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	COMPAC. ROD. LISO Y PATA DE CABRA AUTOP.	hr	0,035	303,85	10,63475
	DISTRIBUIDOR DE AGREGADOS AUTOP.	hr	0,028	455,03	12,74084
	ESCOBA MECANICA AUTOP.	hr	0,028	71,55	2,0034
	PLANTA CALENTAMIENTO DE ASFALTO	hr	0,09	965,23	86,8707
	RODILLO NEUMATICO TSP 10000	hr	0,084	332,81	27,95604
	TERMINADORA DE ASFALTO	hr	0,075	669,06	50,1795
	CARGADOR FRONTAL DE RUEDAS 950 M3	hr	0,0001	421,29	0,042129
	VOLQUETE >= 12 M3	hr	0,0012	227,87	0,273444
Herramientas (% de Total de Mano de Obra)			8%	121,93	9,75
TOTAL DE EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS:					200,46
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			10,00%	595,13	59,51
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
5.- UTILIDAD					
UTILIDAD=% DE 1+2+3+4			0,00%	654,65	0,00
TOTAL UTILIDAD					
6.- IMPUESTOS					
IMPUESTOS IT-% DE 1+2+3+4+5			3,09%	654,65	20,23
TOTAL IMPUESTOS					
TOTAL PRECIO UNITARIO 1+2+3+4+5+6					674,88

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos respectivos. –

Para la carpeta asfáltica convencional.

Tabla 63. Cálculo de valores carpeta asfáltica convencional

		100	2390				
%optimo	cemento	5,27	125,953	kg/m3	0,125953	kg/Lt	
	agregado	94,73	2264,047				
					Peso Unitario Saturado		
		%			(gr/cm3)	(gr/m3)	m3
	grava	25	566,01175		1,624	1624	0,3485294
	gravilla	28	633,93316		1,62	1620	0,39131677
	arena con file	47	1064,10209		1,678	1678	0,63414904
		100	2264,047				
			2390				

Fuente: Elaboración propia.

Con la adición del 1% de caucho reciclado

Tabla 64. Cálculo de valores con la adición e 1% de caucho reciclado

				volumen (cm3)		peso unitario compactado (gr/cm3)	
				3050		0,555	
				x =		0,04101622	
	para 1%						
densidad Max	2,4	2400		x=	225,404431	gr	
	gr/cm3	kg/m3					
				x=	0,22540443	kg	
	100	2400					
cemento	5,15	123,6	kg/m3	0,1236	kg/Lt		
agregado	94,85	2276,4	kg/m3				
				P.unitario compactado			
				(gr/cm3)	(Kg/m3)	m3	
grava	25	569,1		1,624	1624	0,35043103	
gravilla	28	637,392		1,62	1620	0,39345185	
arena con file	46	1047,144		1,678	1678	0,62404291	
caucho	1	22,764		0,555	555	0,04101622	
	100	2276,4					
		2400					

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, la adición de caucho reciclado en forma granular puede disminuir en pequeña proporción el costo de la mezcla asfáltica convencional de Bs 675,23 a Bs 674,88 con la adición del 1% de caucho reciclado afectando en un 0.99% en el costo total sin embargo tomando en cuenta los beneficios a largo plazo, como la reducción de los costos de mantenimiento y la prolongación de la vida útil del pavimento, pueden incrementar este benéfico.

4.5.2. Análisis técnico.-

Para realizar un análisis técnico de la adición de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso a la carpeta asfáltica, es importante considerar los datos proporcionados sobre cómo afecta diversas propiedades del asfalto.

1. Estabilidad:

- La disminución significativa en la estabilidad (de 2817,10 libras a 2131,36 libras) con la adición del caucho reciclado indica una reducción en la resistencia del asfalto a las cargas. Este cambio podría afectar la durabilidad y la capacidad del pavimento para soportar el tráfico.

2. Densidad:

- El ligero aumento en la densidad (de 2,3934 gr/cm³ a 2,3981 gr/cm³) sugiere una mejora en la compactación del asfalto. Una mayor densidad puede resultar en una mayor resistencia al agua y al desgaste, aunque debe tenerse cuidado para no comprometer la trabajabilidad del asfalto durante la colocación.

3. Fluencia:

- La disminución en la fluencia (de 14,005 pulg. a 13,777 pulg.) indica una menor tendencia del asfalto a deformarse bajo carga constante. Pese a que la fluencia aumenta la mezcla con caucho adquiere mayor viscosidad lo que implica una capacidad de formación sin rompimiento. Esto puede ser beneficioso para mantener la forma del pavimento y evitar deformaciones permanentes.

4. Vacíos:

- La disminución en los vacíos totales (de 3,978% a 3,527%) sugiere una mejora en la densidad y la resistencia del asfalto. Menos vacíos pueden significar una mayor resistencia al agua y al desgaste, así como una mayor durabilidad del pavimento.

5. Relación de betún-vacíos (R.B.V.):

- El aumento en la relación de betún-vacíos (de 75,650% a 77,450%) indica una mayor cohesión entre los componentes del asfalto. Esta mejora en la cohesión puede contribuir a una mayor resistencia del pavimento y una mejor capacidad para resistir las cargas del tráfico.

6. Vacíos de agregado mineral (V.A.M.):

- La disminución en los vacíos de agregado mineral (de 16,307% a 15,596%) sugiere una mejor distribución y compactación de los agregados en el asfalto. Esto puede mejorar la resistencia y la durabilidad del pavimento.

En resumen, la adición de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso a la carpeta asfáltica puede tener varios efectos en sus propiedades, incluida una variación en la densidad, la resistencia y la durabilidad del pavimento. Sin embargo, también puede haber una disminución en la estabilidad, lo que debe considerarse en función de las necesidades específicas del proyecto y las condiciones de tráfico previstas, tomando en cuenta que es una alternativa eco-ambiental que coadyuva al reciclado de neumáticos en desusos que en la actualidad generan un problema medioambiental y de salud para nuestro país.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Es importante destacar que los estudios realizados y la investigación planteada continúan desarrollándose en este campo para poder mejorar aún más la aplicación de residuos de caucho reciclado en mezclas asfálticas. Los resultados varían dependiendo a los tipos de caucho reciclado, las características de los materiales de partida y las condiciones específicas de cada proyecto. En conclusión, el uso de residuos de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en mezclas asfálticas es una práctica prometedora con beneficios ambientales y técnicos significativos. Sin embargo, es importante realizar estudios y pruebas para asegurar la calidad y rendimiento de mezclas asfálticas y establecer las mejores prácticas en la producción y uso de estos materiales.
- Para realizar mezclas asfálticas de alta calidad es importante considerar las características propias de los componentes que se utilizan en su proceso como ser; Cemento asfáltico, Agregados (grava, gravillas, arena, Filler) y Caucho reciclado. las mismas cumplen o están dentro de las especificaciones técnicas para las mezclas asfálticas.
- En base a la muestra estratificada se realizaron 72 ensayos de laboratorio. La muestra estratificada permitió seleccionar de manera proporcional unidades de cada muestra dentro de la población, lo que garantiza una representación adecuada de cada grupo en la muestra. Esta metodología contribuye a obtener resultados más precisos y generalizables, al considerar las características y variaciones presentes en el Método Marshall.

Se elaboraron briquetas de mezclas asfálticas convencionales, que se sometieron a ensayos Marshall para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, con los siguientes resultados de estabilidad de 2817,10 lb y se realizó el mismo procedimiento con briquetas agregando porcentajes (1%,2% y 3%) de caucho reciclado a las mezclas asfálticas obteniendo los valores de estabilidad al 1%, de 2131,36 lb, al 2% de 1424,30 lb y al 3% de 1195,43 lb por lo tanto en 1% disminuye en un 24,34% con respecto a la mezcla convencional mostrando que el caucho reciclado afecta directamente en la estabilidad.

Para la propiedad de la fluencia al 1% de caucho reciclado granular, esta se mantiene al

límite de 14,005 pulgadas, disminuye en 1,63% respecto a la convencional pero este valor se encuentra dentro del rango aceptable según norma de 8-18 pulgadas. Al mantenerse dentro de los límites establecidos por la norma los valores que se obtienen oscilan entre 2,3934 gr/cm³ y 2,3981 gr/cm³, se asegura que la densidad del caucho reciclado en forma granular se encuentra dentro de los valores aceptables para su aplicación en mezclas asfálticas teniendo el valor al 1% de 2,3981 gr/cm³ de densidad. Es así que se determinó valores muy diferentes que tienden a disminuir en estabilidad, densidad y fluencia, % de vacíos, V.A.M. y R.B.R. con la adición del caucho reciclado, las que se detallaron en el análisis de resultados.

- De los resultados obtenidos en el estudio, se determinó que el valor de porcentaje de 1% de residuo de caucho cumple con las condiciones mínimas de estabilidad para tráfico liviano de 1500 lb.
- De la hipótesis planteada, “El caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en forma granular adicionado a la mezcla asfáltica produce mejoras en la densidad estabilidad y fluencia, en la misma, con la prueba Marshall”, Es rechazada, ya que al analizar todas las propiedades de las mezclas asfálticas estas van disminuyendo al ir incrementado el porcentaje de Caucho reciclado en forma granular, por lo siguiente se acepta la hipótesis nula. La combinación óptima del caucho reciclado en forma granular adicionado a la carpeta asfáltica NO produce mejoras en la densidad estabilidad y fluencia con la prueba Marshall”
- Se puede concluir que si bien la implementación de caucho reciclado en las carpetas asfálticas no mejora las propiedades de las mismas la implementación de esta tecnología en nuestro país es muy viable y adecuada para la realidad que se vive con la contaminación medio-ambiental que generan los neumáticos en desuso siendo así una alternativa para deducir estos desechos que no son biodegradables y están en constante crecimiento por el incremento de sobremateria del parque automotor.

5.2. Recomendaciones

- Es importante que el cemento asfáltico utilizado en el pavimento cumpla con los requisitos de penetración y otros ensayos, ya que esto asegura su adecuada consistencia y desempeño en el mismo.
- Se recomienda verificar la precisión de los equipos en cada uno de los ensayos, así también los parámetros para el diseño de mezclas vigente.
- Para la estabilidad Marshall se recomienda en el momento de lecturar la estabilidad y fluencia hacer una grabación de los datos para más exactitud ya que esta se determina visualmente.
- Se recomienda que los datos obtenidos antes de realizar la estabilidad Marshall sean corroborados ya que estos datos obtenidos pueden influir de gran manera a los cálculos. (caracterización granulometría, caracterización del cemento asfáltico, caracterización del caucho reciclado).
- Se recomienda que al trabajar con mezcla asfáltica a temperaturas altas se utilice el equipo necesario de seguridad para su manipuleo: guantes de cuero loma, gafas de seguridad, ropa adecuada de preferencia overol y mascarillas tipo barbijo para evitar la inhalación de gases o sustancias; es decir aplicar lo que corresponde a la seguridad industrial.