

1 CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1 INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas son una combinación de agregados tanto grueso como fino y un cemento asfáltico, siendo el componente de más amplio uso en la construcción de pavimentos flexibles, teniendo como función brindar una capa de rodadura cómoda y segura para los usuarios de la vía donde se construye. Un antioxidante es un aditivo que generalmente evita la oxidación de una mezcla asfáltica, es decir evita el endurecimiento del ligante asfáltico que con el paso del tiempo este tiende a endurecer y producir fallas estructurales en el pavimento.

Existen varios efectos que produciría un antioxidante a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica, características físicas y de resistencia, que al ser medidas y controladas adecuadamente garantizan que la mezcla asfáltica asegure la calidad de servicio que tendrá el pavimento una vez ya construido.

En la ciudad de Tarija en los últimos años se ha podido observar un crecimiento dentro del campo de las industrias enológicas, también dentro de muchos estudios previos se llegaron a realizar adiciones de origen natural en las mezclas asfálticas lo que mejoran ciertas condiciones de trabajo o resistencia de las mismas. En el caso de la adición de un aditivo natural de propiedad antioxidante a una mezcla asfáltica ya se realizaron estudios en otros países siendo un tema de investigación que sigue en procesos de análisis en busca de criterios para consolidar su aplicación y una metodología de uso.

En el presente trabajo se pretende evaluar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, utilizando un aditivo antioxidante proveniente del residuo de industria enológica denominado orujo o cáscara de uva de tal manera se pueda verificar si el aditivo mejora las propiedades mecánicas a una mezcla asfáltica.

Dentro del aporte teórico el trabajo se enfocará en la teoría respecto al diseño de mezclas asfálticas, de sus características y propiedades mecánicas, además contemplara la factibilidad y el uso del antioxidante de origen natural como lo es el polvo deshidratado de la cáscara de uva proveniente del residuo de industrias enológicas; la

aplicación práctica será una posible alternativa dentro del campo de los asfaltos modificados y su viable uso en la construcción de pavimentos flexibles; la relevancia social estará orientada al tema de su factibilidad económica y ambiental debido a que el antioxidante proviene de residuos que producen las industrias enológicas en nuestro medio.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En nuestro medio están presentes varios problemas en todo el largo y ancho de los caminos principalmente baches, roderas y deformaciones; que afectan bastante al tránsito de movilidades sobre los mismos, por lo cual los usuarios son los perjudicados al no poder hacer uso de los caminos.

Es necesario la realización de proyectos de vías de comunicación en todo nuestro departamento que nos garanticen la seguridad y comodidad al transitarlas, siendo la población en general la beneficiaria de este tipo de proyectos debido a que se podrán trasladar de un lugar a otro y a comerciantes permitir la circulación y distribución de sus productos en todo el departamento.

El constante avance tecnológico que existe nos obliga a experimentar con nuevos productos, métodos y formas de aplicación del cemento asfáltico y agregados en las mezclas asfálticas para el uso en pavimentos; es debido a ello que en este último tiempo se realizaron todo tipo de investigaciones buscando soluciones a los problemas que sufren los pavimentos por distintos efectos producidos ya sea por el medio ambiente, como lo son las variaciones de temperatura, humedad y otros factores, o por las acciones del hombre, como las cargas de tránsito.

Al saber de estas necesidades y conociendo las variables que afectan al pavimento se pretende realizar una investigación que permita verificar el mejoramiento de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica al adicionar polvo deshidratado de cáscara de uva post proceso enológico como un aditivo directo al asfalto.

Con dicha mezcla modificada con la adición del aditivo se podrá mejorar las propiedades mecánicas de las mismas, es decir se podrá obtener un mayor confort y

seguridad al usuario, con un producto que es reciclable y además al ser un departamento productor de vinos y singanis la materia prima será de fácil obtención; con lo cual se pretende dar a conocer este nuevo producto, sus beneficios y su modo de empleo, que será utilizado como aditivo en la mezcla asfáltica.

1.3 SITUACIÓN PROBLÉMICA

Las mezclas asfálticas son una combinación de agregados tanto grueso como fino y un ligante o cemento asfáltico, siendo el componente de más amplio uso en la construcción de pavimentos flexibles, teniendo como función brindar una capa de rodadura cómoda y segura para los usuarios de la carretera o calle en la que se construye.

Un antioxidante es un aditivo que generalmente evita la oxidación de una mezcla asfáltica, es decir evita el endurecimiento del ligante asfáltico que con el paso del tiempo este tiende a endurecer y producir fallas estructurales en el pavimento.

Existen varios efectos que produciría un antioxidante a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica siendo las características físicas y de resistencia que presenta la misma ante distintas situaciones y magnitudes de carga, que al ser medidas y controladas garantizan que la mezcla asfáltica asegure la calidad de servicio que tendrá el pavimento una vez ya construido.

En la ciudad de Tarija no se realiza un buen control y monitoreo de las propiedades mecánicas en las mezclas asfálticas, siendo una de las causas por las que el pavimento tiende a fallar o deteriorarse a corto tiempo una vez ya emplazado y puesto al servicio del usuario.

Es posible que mediante una evaluación de las propiedades mecánicas con un aditivo antioxidante proveniente de la industria enológica, como lo es la cáscara de uva, podría mejorar las condiciones de trabajo garantizando la resistencia de diseño sin reducir ni afectar dichas propiedades y más al contrario verificar si en todo caso llega a incrementar.

1.4 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

¿Si se aplica la adición de un antioxidante proveniente del residuo de la industria enológica como lo es la cáscara de la uva dentro de las mezclas asfálticas, se podrá mejorar el comportamiento de sus propiedades mecánicas?

Al tener el problema definido la factibilidad o viabilidad del trabajo se pone en cuestión delimitando los siguientes puntos:

Dentro de la metodología, está respaldada mediante la literatura expresa en el marco teórico; además en caso de falta de métodos es posible tomar en cuenta ensayos y datos experimentales.

De acuerdo a los equipos a utilizar, son instrumentos y equipos que se utilizan para diseñar las mezclas asfálticas por lo que se encuentran en el laboratorio del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA) dependiente de la gobernación del departamento de Tarija.

El tiempo es un tema muy particular debido a que cualquier inclemencia en el trabajo propuesto afectaría directamente en el lapso de tiempo previsto, aunque si espera concluir con los ensayos y diseños de mezclas asfálticas en un tiempo aproximado de trece semanas, en las cuales se pretende concluir con el trabajo.

El espacio de la investigación está orientado en el diseño de mezclas asfálticas, su modificación es decir añadir un aditivo antioxidante de origen natural post proceso enológico que nos sirva para poder evaluar sus propiedades, dentro de los laboratorios del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA).

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis

Si se realiza la adición de un antioxidante proveniente del residuo de la industria enológica, siendo el polvo deshidratado de la cáscara de uva su componente, dentro de una mezcla asfáltica y verificando ciertos porcentajes de adición, entonces se obtendrá posibles mejoras en las distintas propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas que podrá ser evaluada en busca de los criterios necesarios para su aplicación.

1.5.2 Identificación de variables

Variable Independiente: Cantidades (Porcentajes de adición) Aditivo Antioxidante (polvo deshidratado de cáscara de uva post proceso enológico).

Variables Dependientes: Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

- Estabilidad
- Fluencia
- % de vacíos de aire
- % de vacíos de agregado mineral (VAM)
- % de vacíos llenos de asfalto (RBV)
- Densidad.

1.5.3 Conceptualización y operacionalización de las variables

❖ VARIABLES DEPENDIENTES:

Tabla N° 1 Variable dependiente

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas	Es las propiedades de resistencia ante las fallas estructurales de la mezcla asfáltica	Tipo de evaluación	Experimental dentro de laboratorio	Se realizaran ensayos.
		Tipo de Propiedades	Estabilidad	Determinado por el ensayo Marshall.
			Fluencia	Determinado por el ensayo Marshall.
			% de Vacíos de aire	Determinado por el ensayo Marshall.
			% de Vacíos de agregado mineral (VAM)	Determinado por el ensayo Marshall.
			% de Vacíos llenos de asfalto (RBV)	Determinado por el ensayo Marshall.
			Densidad	Determinado por el ensayo Marshall.
		Mezclas asfálticas	Agregado Grueso y Fino	De una misma cantera, realizando ensayos para su aplicación.
			Cemento Asfáltico	Una sola clase de ligante, realizando ensayos para su aplicación.

Fuente: Elaboración propia

❖ VARIABLE INDEPENDIENTE:

Tabla N° 2 Variable independiente

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Aditivo Antioxidante	Elemento de propiedades antioxidantes producto del residuo de la industria enológica, siendo la cáscara de uva el componente, que podría ser añadido a la mezcla asfáltica.	Tipo de beneficio	Posible mejora de propiedades de la mezcla asfáltica sujeta a observaciones de laboratorio.	Añadido a la mezcla asfáltica en ciertos porcentajes.
		Naturaleza	De origen natural proveniente de la cáscara de la uva post proceso enológico.	De una sola clase de uva.

Fuente: Elaboración propia

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo General

Evaluar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, utilizando un aditivo antioxidante proveniente del residuo de industria enológica denominado orujo o cáscara de uva de tal manera se pueda verificar si el aditivo mejora las propiedades mecánicas a una mezcla asfáltica.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Analizar los componentes, sus características y procedimientos de elaboración de mezclas asfálticas.
- Determinar los valores de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con y sin aditivo antioxidante.
- Identificar el valor óptimo de contenido de aditivo antioxidante que garantice incremento en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.
- Validar técnicamente las mejoras en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mediante la adición del aditivo antioxidante.

1.7 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo es una investigación del tipo explicativo o causal; al ser este tipo de investigación se pretende establecer las causas de eventos, sucesos o fenómenos que se estudian.

Como su nombre lo indica su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables; esto nos indica que el trabajo se enfocará en como afectara la adición de un aditivo antioxidante a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica, tomando en cuenta la dimensión de las propiedades mecánicas ya establecidas.

1.8 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL POR VARIABLES

1.8.1 Unidad de estudio

Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

- ❖ Estabilidad
- ❖ Fluencia
- ❖ % de vacíos de aire
- ❖ % de vacíos de agregado mineral (VAM)
- ❖ % de vacíos llenos de asfalto (RBV)
- ❖ Densidad

1.8.2 Población

Distintas combinaciones de dosificaciones entre mezclas asfálticas y el aditivo antioxidante, cáscara de uva, proveniente del residuo de industrias enológicas.

Dentro de la población en el siguiente punto se explica el método y los valores obtenidos tanto de la población como de la muestra.

1.8.3 Muestra

Cantidad de adición (porcentajes) del aditivo antioxidante a las mezclas asfálticas utilizando agregados propios de la región.

Los agregados a utilizar son provenientes de la planta chancadora Garzón ubicada en San Mateo, teniendo como punto de extracción el río San Mateo.

1.8.4 Muestreo

Se realizará la evaluación de las propiedades mecánicas mediante el ensayo de laboratorio Marshall, observando los cambios producidos cuando se varía la cantidad de adición del aditivo antioxidante, polvo deshidratado de cáscara de uva post proceso enológico, en las mezclas asfálticas elaboradas con materiales de la región.

1.8.5 Selección de las técnicas de muestreo

Se utilizara la técnica de muestreo estratificado donde:

DATOS NIVEL CONFIANZA 95%

$z = 1,96$ (valor del Nivel de Confianza)

$p = 0,5$ (Probabilidad de que ocurra el suceso)

$q = 0,5$ (No probabilidad de que ocurra el suceso)

$e = 0,05$ (Error probable)

$$N = 384,16 \text{ ensayos} \quad N = \frac{z^2 * p * q}{e^2} \text{ Población}$$

$N = 384$ ensayos

$$n = 192,04 \text{ Ensayos} \quad n = \frac{\sum N_i * p_i * q_i}{N * \frac{e^2}{z^2} + \frac{1}{N} * \sum N_i * p_i * q_i} \text{ Muestra}$$

$n = 192$ ensayos

Tabla N° 3 Planilla de muestreo

Ensayos	Cantidad (Ni)	pi	qi	pi*qi	Ni*pi*qi	wi	ni	Asu- mido
Granulometría de áridos	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	1,458	2
Desgaste mediante la máquina de los ángeles	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	0,972	1
Durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	0,972	1

Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	0,972	1
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	0,972	1
Peso unitario	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	0,972	1
Equivalente de arena	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	0,972	1
Porcentaje de caras fracturadas	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	0,972	1
Determinación de partículas chatas y alargadas	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	0,972	1
Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	0,972	1
Caracterización del cemento asfáltico								
Viscosidad	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	1,5	2
Penetración	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	1,5	2
Peso Específico	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	1,5	2
Punto de ablandamiento	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	1,5	2
Punto de inflamación	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	1,5	2
Propiedades mecánicas								
Estabilidad	58	0,5	0,5	0,25	14,5	0,1510	28,19	31
Fluencia	58	0,5	0,5	0,25	14,5	0,1510	28,19	31
% de Vacíos de aire	58	0,5	0,5	0,25	14,5	0,1510	28,19	31
% de VAM (Vacíos de agregado mineral)	58	0,5	0,5	0,25	14,5	0,1510	28,19	31
% de vacíos llenos de asfalto (RBV)	58	0,5	0,5	0,25	14,5	0,1510	28,19	31
Peso unitario	58	0,5	0,5	0,25	14,5	0,1510	28,19	31
TOTAL	384				90,75	0,9453		196

Fuente: Elaboración propia

1.8.6 Justificación de factibilidad: recursos, insumos y medios utilizables

Para poder realizar la obtención de los datos de todo el proyecto, se debe tener cada uno de los recursos, insumos, instrumentos y metodologías de uso.

Por lo que dentro de los recursos se tienen a los componentes del diseño de las mezclas asfálticas; es decir, cemento asfáltico se obtiene de la alcaldía municipal de la ciudad de Tarija. En el caso de los áridos se obtuvo a partir de la compra de los mismos en la planta chancadora Garzón, que utiliza materiales de la cantera del río San Mateo. En el tema del aditivo al ser un residuo de un proceso enológico, es posible adquirirlo mediante las industrias enológicas, como en este caso se adquirió del CEVITA (Centro Vitivinícola Tarija).

La instrumentación y equipos a usar serán los de diseño de mezclas asfálticas además de los equipos para caracterizar los áridos y el cemento asfáltico, los cuales son equipos que en nuestro medio se pueden encontrar en el de SEDECA, lo cual nos ayudara para realizar todos los ensayos previstos en este trabajo.

1.9 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizará en la ciudad de Tarija además de su respectiva aplicación, para esta investigación se utilizara áridos propios de la región, de esta manera se realizará una evaluación del efecto que produce la adición de un aditivo antioxidante, como lo es el polvo deshidratado de cáscara de uva post proceso enológico, dentro de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

El tiempo empleado en realizar la investigación es de aproximadamente 3 meses donde se hará uso de los laboratorios del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), en donde se realizara todos los respectivos ensayos de caracterización de los materiales y la obtención de datos para la presente investigación.

2 CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 LIGANTE ASFÁLTICO

Ligante asfáltico, comúnmente también llamado asfalto; se define como un material de color marrón a negro, principalmente por betunes que pueden ser naturales u obtenidos por refinación. Los asfaltos son una mezcla compleja de hidrocarburos, que se presenta en forma de cuerpo viscoso más o menos elástico.

El asfalto, proviene básicamente del petróleo. Por lo general el petróleo crudo contiene ciertas cantidades de asfalto, sin embargo se dan casos en el que el petróleo es enteramente asfalto. Como el asfalto proviene del petróleo crudo, este no se evapora cuando es destilado.

Este material es definido de diversas formas pero básicamente el contenido es el mismo, llegando siempre al mismo punto; que el asfalto es un material bituminoso, de color negro o marrón oscuro debido a que contiene betún, viscoso, altamente permeable, adherente y cohesivo, usado como aglomerante, capaz de resistir cargas instantáneas y fluir ante cargas permanente.

Para los procesos de pavimentación y la elaboración de mezclas asfálticas en caliente se denomina al asfalto como: Cemento Asfáltico. Este material al ser viscoso permite que, al elaborar una mezcla asfáltica en caliente, las partículas se unan de manera homogénea, dando así al pavimento propiedades específicas, tanto físicas como químicas, para el buen funcionamiento del mismo. Como aplicación de estas propiedades, el asfalto puede cumplir con:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporcionar una buena unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción de disgregación producida por las cargas de los vehículos.
- Mejorar la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

2.2 AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados pueden ser naturales o procesados. De acuerdo con su tamaño, se dividen en gravas, arenas y relleno mineral (llenante mineral o filler). Los materiales pueden ser producidos en canteras abiertas o tomados de la ribera de los ríos (cantera de río). En este último caso son agregados pétreos aluviales.

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. La roca se tritura para volver angular la forma de la partícula y para mejorar la distribución (gradación) de los tamaños de las partículas.

2.3 DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados intensos.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto.

El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

2.4 EMPLEO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE FIRMES

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de

rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta.

Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de un firme:

- ❖ La Función Resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
- ❖ La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del firme, para que resulten seguras y confortables. A estas capas superiores se le denomina pavimento.

2.5 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

El objetivo principal del diseño mezclas asfálticas de pavimentación, consiste en determinar una combinación y graduación económica de asfalto y agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) que produzcan una mezcla con:

- Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- Buena estabilidad para satisfacer las demandas de tránsito sin producir deformaciones o desplazamientos.
- Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de colocación.
- Un contenido de vacíos lo suficientemente alto, para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que se produzca exudación.

El diseño de mezcla adecuado, es generalmente el más económico y que cumple satisfactoriamente los criterios mencionados anteriormente.

Se han desarrollado algunos métodos de proporcionamiento de asfalto y agregado para una mezcla asfáltica en caliente. Siendo los más conocidos los siguientes: Marshall, Hveem, Hubbard-Field y Triaxial de Smith.

2.5.1 Comportamiento de las mezclas asfálticas

Una muestra de mezcla de pavimento preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla.
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

Densidad. La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla).

La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado, para obtener un rendimiento duradero.

Vacíos de aire, (o simplemente vacíos). Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menos va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa.

Figura N° 1. Ilustración del VAM en una probeta de mezcla compactada.



Vacíos en el agregado mineral. Los vacíos en el agregado mineral (VAM) son los espacios de aire que existen entre las partículas del agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción en el agregado)

Y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VAM, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla

Contenido de asfalto. La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlar con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto.

Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir uniformemente todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral. Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber literalmente gran parte del contenido de asfalto resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario; poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda).

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados.

El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregado, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

2.6 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MÉTODO MARSHALL

El concepto de este método fue desarrollado por Bruce Marshall, ingeniero del estado de Mississippi. Su propósito es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados.

El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente y establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación, que usan cemento asfáltico clasificado por penetración o viscosidad y que contienen

agregados con tamaño máximo de 25 mm (1 pulgada). Puede ser usado para el diseño en laboratorio o para el control de campo de pavimentos.

Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas para pavimentación. El procedimiento puede emplearse tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas.

Este método consiste en moldear briquetas con la mezcla de agregados y asfalto en caliente. Estas briquetas dispuestas en serie y cada serie con diferentes porcentajes de asfalto, se las moldea una vez que los materiales (agregados y asfalto) hayan sido aprobados según sus respectivas especificaciones de calidad, tamaño, etc.

Se deben utilizar probetas, una serie de muestras, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferente contenido de asfalto, son preparadas de acuerdo a procedimientos específicos.

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del método Marshall son:

- Análisis de la relación vacíos- densidad
- Prueba de estabilidad- flujo de las muestras compactadas.

2.6.1 Consideraciones Generales

Las mezclas asfálticas están formadas por un material pétreo bien graduado y cemento asfáltico como ligante. Se elaboran en una planta que calienta el material pétreo a una temperatura de 140 ó 150 °C y el cemento asfáltico a una temperatura de 110 a 130 °C.

Después que el material pétreo esté caliente y seco se mezclan sus componentes de acuerdo a una composición granulométrica aprobada, incorporándole a continuación el cemento asfáltico en una cantidad previamente definida. Las mezclas terminadas se extienden en capas uniformes en el espesor y ancho requeridos, para luego ser compactadas a temperaturas superiores a los 90 °C.

Un pavimento de concreto asfáltico debe cumplir los siguientes objetivos principales:

- a. Suficiente estabilidad en la mezcla como para satisfacer las exigencias del servicio y las demandas del tránsito sin distorsiones o desplazamientos.
- b. Suficiente asfalto para asegurar la obtención de un pavimento durable, que resulte del recubrimiento completo de las partículas de agregado pétreo, impermeabilizando y ligando las mismas entre sí, bajo una compactación adecuada.
- c. Suficiente trabajabilidad como para permitir una eficiente operación constructiva en la elaboración de la mezcla y su compactación.
- d. Suficientes vacíos en la mezcla compactada, para proveer una reserva que impida, al producirse una pequeña compactación adicional, afloramientos de asfalto y pérdidas de estabilidad.

2.6.2 Factores que deben controlarse en las mezclas asfálticas

Para que una carpeta sea estable, duradera, impermeable y antiderrapante, se deben controlar los siguientes factores:

- Granulometría del material pétreo
- Contenido de asfalto
- Características del cemento asfáltico

Granulometría: Existen varias composiciones granulométricas del material pétreo, de acuerdo a las características de la obra y a la especificación técnica utilizada. Las mezclas con un contenido de partículas pétreas de mayor tamaño tienen mayor estabilidad. El tamaño máximo de las partículas no debe ser mayor a $\frac{2}{3}$ del espesor de la carpeta.

Contenido de asfalto: El contenido óptimo para la preparación de la mezcla debe ser el necesario para cubrir con una película de asfalto la superficie de las partículas pétreas, sin llenar completamente los vacíos, ya que éstos deben ser llenados con las partículas más finas.

Por una parte la mezcla debe contener un porcentaje mínimo de vacíos para evitar las exudaciones del asfalto, que pueden provocar la formación de surcos u ondulaciones;

por otra parte deberá tener un porcentaje máximo de vacíos, ya que si este valor se excede, se puede ocasionar el endurecimiento del asfalto por efecto de los agentes atmosféricos, dando como resultado una carpeta quebradiza.

Consistencia y calidad del cemento asfáltico: Se debe elegir el cemento asfáltico más adecuado a las condiciones climatológicas del lugar donde se encuentra la obra. Un asfalto muy duro puede dar lugar a un pavimento quebradizo con problemas de desintegración y exceso de agrietamientos.

2.6.3 Influencia relativa del asfalto y del agregado mineral en las características del concreto asfáltico

En la preparación y colocación del revestimiento asfáltico intervienen un gran número de factores relacionados entre sí, por lo cual no se puede evaluar su calidad considerando separadamente las propiedades del asfalto, y las del agregado. La calidad del pavimento se determinará analizando la mezcla compactada, de acuerdo a las consideraciones siguientes:

1° Ligante asfáltico: En una mezcla en caliente, el asfalto se encuentra en forma de películas muy delgadas que se han obtenido mediante la aplicación de calor. Por consiguiente, las propiedades del asfalto en película delgada podrían ser diferentes de aquellas del producto a granel, y además, podrían alterarse con la aplicación del calor. El asfalto es sólo uno de los componentes del pavimento que cumplirá apropiadamente sus funciones, solamente si se emplea en la cantidad correcta, con un agregado mineral adecuado, y bajo condiciones apropiadas.

2° Agregado mineral: Una vez que el agregado mineral ha sido cubierto con asfalto, adquiere características diferentes, por ejemplo, la facilidad con la cual puede compactarse es completamente diferente. Su capacidad de repeler el agua se incrementa de acuerdo al espesor de la película de asfalto. En consecuencia, hay solamente una forma segura de diseñar una mezcla asfáltica, mediante la preparación de mezclas en laboratorio, y la verificación en sitio de que las características físicas establecidas en laboratorio se cumplan en la obra, para garantizar el comportamiento del pavimento.

2.6.4 Propiedades consideradas en el diseño de la mezcla

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente

2.6.4.1 Estabilidad

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

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) esta relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento.

Tabla N° 4. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento

Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento, y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización.

Fuente: Manual del Instituto de Asfalto

2.6.4.2 Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características

originales. Además el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito.

Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darla al pavimento al máximo impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

Tabla N° 5. Causas y efectos de poca durabilidad.

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto.	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación.	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (hidrofilicos).	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

Fuente: Manual del Instituto de Asfalto

2.6.4.3 Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar.

A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano., partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se

vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

Tabla N° 6. Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.

Causas	Efectos
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable; superficie áspera, difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar; poco durable

Fuente: Manual del Instituto de Asfalto

2.6.5 Efecto del asfalto en la estabilidad (cantidad de asfalto)

Dependiendo de su cantidad en la mezcla, el asfalto puede actuar como un ligante o como un lubricante. Por lo tanto, la estabilidad de una mezcla aumenta con un incremento en el porcentaje de asfalto hasta alcanzar un máximo, después del cual disminuye. El efecto del porcentaje de asfalto varía con el tipo de agregado y en algunos casos es mucho más crítico que en otros.

Las características del asfalto, especialmente su consistencia, afectan los resultados de las pruebas de estabilidad. La viscosidad del asfalto entra en juego cuando la aplicación de la carga es muy rápida. En la prueba Marshall, el grado del asfalto, tiene un gran efecto en la estabilidad pero muy poco en el índice de flujo.

2.6.6 Efecto del agregado mineral en la estabilidad

2.6.6.1 Tamaño máximo de los agregados

En general, a medida que el tamaño del agregado aumenta, la estabilidad aumenta. Por razones de trabajabilidad y apariencia superficial, el tamaño máximo más utilizado es

el de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Cuando el porcentaje de agregado grueso es menor de 25 %, el tamaño máximo tiene poca influencia en la estabilidad.

2.6.6.2 Tipo de agregado

La forma de las partículas del agregado mineral, su textura superficial y su dureza, influyen en la estabilidad. Por ejemplo, se puede predecir que una grava con partículas sin trituración, lisas y redondas, producirá menor estabilidad que un material triturado con partículas que tengan una superficie áspera y bordes duros.

El tipo de arena y su cantidad, son los factores más importantes que afectan la estabilidad del concreto asfáltico. Cuando la gradación se mantiene constante, la calidad y cantidad de arena tiene una gran influencia en la estabilidad.

2.6.6.3 Gradación

El porcentaje de vacíos en la mezcla compactada, debe ser lo suficientemente bajo para prevenir infiltraciones de agua, pero suficientemente alto, con el fin de proveer espacios para un aumento de su densidad y para la expansión ocasionada por las temperaturas altas del verano. Por ejemplo, para una mezcla en laboratorio compactada por el método Marshall con 75 golpes, se considera satisfactorio un porcentaje de vacíos entre 3 y 5%.

Por esta razón se recomienda elegir agregados que permitan una amplia variación en el porcentaje de asfalto, con un pequeño cambio en el porcentaje de vacíos. Sin embargo, es difícil encontrar mezclas de agregados que permitan variaciones en el contenido de asfalto mayores al 1%.

Por otra parte se debe tener en cuenta, que la cantidad de asfalto requerida para producir el volumen necesario de vacíos, depende del volumen de vacíos disponible en el agregado mineral compactado. Por esta razón, es necesario tener el mayor porcentaje de vacíos en el agregado mineral, tanto como la estabilidad especificada lo permita. Se puede obtener un mayor porcentaje de vacíos en el agregado (mayor espacio para el asfalto), aumentando el porcentaje de arena, o disminuyendo el porcentaje de llenante mineral (Filler).

2.6.6.4 Llenante mineral (Filler)

Es un material no arcilloso que pasa el tamiz No. 200. Se incorpora a la mezcla con el fin de aumentar la estabilidad, y disminuir el porcentaje de asfalto necesario para obtener un determinado porcentaje de vacíos en la mezcla. Es suficiente una cantidad muy pequeña para aumentar la estabilidad, mientras el índice de flujo permanece prácticamente constante.

Una pequeña cantidad de llenante mineral, puede reducir el contenido óptimo de asfalto. El llenante mineral es un factor importante que afecta a la durabilidad, por esta razón se debe controlar estrictamente su cantidad y su calidad.

2.6.6.5 Porcentaje de vacíos

La disminución del porcentaje de vacíos de una mezcla asfáltica produce una disminución de la porosidad y en consecuencia una disminución de la penetrabilidad del aire y del agua en el pavimento. La primera significa una oxidación más lenta del asfalto, es decir, una mayor durabilidad, y la segunda una menor posibilidad de que se pongan en contacto las fases agua-asfalto-agregado, con lo que se retarda la posibilidad de desintegración del pavimento por la acción del agua, que produce el desprendimiento de la película de asfalto del agregado.

Por otra parte, la mezcla compactada debe presentar un volumen mínimo de vacíos, para impedir afloramientos de asfalto y pérdida de estabilidad, como consecuencia de la compactación adicional que produce el tránsito.

2.6.7 Efecto de la densidad de la mezcla en la estabilidad

La densidad de una mezcla afecta a la mayoría de las pruebas de estabilidad, sin embargo la estabilidad máxima no ocurre siempre a la densidad máxima determinada antes de la prueba. Un estado más denso puede ocurrir durante la aplicación de la carga, o el porcentaje de asfalto correspondiente a la densidad máxima puede tener un gran efecto lubricante. Además, las temperaturas a las cuales se determinan la densidad y la estabilidad, generalmente, no son iguales.

2.6.8 Efecto del asfalto en la durabilidad

El asfalto es el material que ejerce mayor influencia en la durabilidad, debido a que el concreto asfáltico mantendrá su durabilidad, mientras el asfalto mantenga sus propiedades de ligante y de impermeabilizador.

El asfalto, previamente calentado, cubre el agregado mineral con una película delgada; el proceso de calentamiento ocasiona en el asfalto oxidación y endurecimiento. El endurecimiento se mide por la disminución del valor de la penetración. El endurecimiento puede ser producido por las propiedades del asfalto, por la temperatura de mezcla, por la cantidad de asfalto en la mezcla, y por la densidad del pavimento.

2.6.9 Efecto del agregado mineral en la durabilidad

Las características principales del agregado mineral que afectan la durabilidad, son la dureza, la forma y textura superficial. La forma y la textura superficial, afectan la densidad del pavimento. La gradación se debe mantener constante con un esfuerzo de compactación adecuado. El porcentaje de vacíos depende del tipo de agregado.

2.6.10 Evaluación y ajustes en el diseño de la mezcla

Si los resultados obtenidos en los ensayos no satisfacen las exigencias de las especificaciones técnicas que rigen el proyecto, se debe ajustar la mezcla de prueba, considerando los criterios siguientes:

a) Porcentaje de vacíos bajo, estabilidad baja:

Para obtener un contenido mayor de vacíos en el agregado mineral (y por tanto proporcionar suficiente espacio a ser llenado con asfalto y aire), la gradación del agregado debe ser ajustada incrementando el porcentaje de la fracción más gruesa, o más fina, de acuerdo a la curva granulométrica que se esté utilizando. Si el contenido de asfalto es más alto de lo normal y el exceso no se requiere para reemplazar el absorbido por el agregado, el contenido de asfalto debe ser disminuido para incrementar los vacíos.

Es bueno recordar sin embargo, que al bajar el contenido de asfalto crece el contenido de vacíos y reduce el espesor de la película que cubre el agregado, con lo que se disminuye la durabilidad del pavimento. También una gran reducción del espesor de la película puede volverlo quebradizo, acelerar la oxidación e incrementar la permeabilidad. Si los ajustes anteriores no producen una mezcla estable, el agregado debe ser cambiado.

Usualmente es posible mejorar la estabilidad y aumentar el contenido de vacíos de la mezcla, incrementando el contenido del material triturado. En algunos agregados, sin embargo, las caras fracturadas son tan lisas como el desgaste producido por el agua, que no es posible obtener un incremento apreciable de estabilidad, tal como ocurre con agregados provenientes de rocas cuarzosas o similares.

b) Porcentaje de vacíos bajo, estabilidad satisfactoria:

El contenido bajo de vacíos puede originar inestabilidad o fluencia después de que el pavimento ha sido expuesto al tráfico por un periodo de tiempo, a causa del reacondicionamiento de las partículas y compactación adicional. También puede resultar insuficiente el espacio de vacíos para la cantidad de asfalto requerida para una durabilidad alta, incluso siendo la estabilidad satisfactoria. La disgregación del agregado bajo la acción del tráfico, puede también conducir a inestabilidad y fluencia, si el contenido de vacíos de la mezcla no es suficiente. Por estas razones, las mezclas con un contenido bajo de vacíos deben ser mejoradas por uno de los métodos citados en el inciso anterior, por más que la estabilidad sea satisfactoria.

c) Porcentaje de vacíos satisfactorio, estabilidad baja:

Si la estabilidad es baja, cuando los vacíos y la gradación del agregado son satisfactorios, significa que el agregado tiene alguna deficiencia. Esta consideración determina la necesidad de mejorar su calidad, como se describió anteriormente.

d) Porcentaje de vacíos alto, estabilidad satisfactoria:

El porcentaje elevado de vacíos frecuentemente es asociado, aunque no siempre, con permeabilidad alta. La permeabilidad alta permite circulación de aire y agua por el

pavimento, lo que puede conducir a un endurecimiento prematuro del asfalto. Por más que la estabilidad sea satisfactoria, se deben realizar ajustes para reducir los vacíos. Para ello es usual incrementar el contenido de filler (llenante mineral), mediante la combinación de dos o más materiales, de manera tal que la gradación resultante tenga una mayor aproximación a la curva graduada de la densidad máxima.

e) Porcentaje de vacíos alto, estabilidad baja:

Cuando los vacíos son altos y la estabilidad es baja, se hace necesario efectuar las correcciones siguientes. En primer lugar se ajusta los vacíos, siguiendo los métodos mencionados anteriormente. Si con este ajuste no mejora la estabilidad, el segundo paso es mejorar la calidad del agregado.

2.7 ANTIOXIDANTES Y LA INDUSTRIA ENOLÓGICA

El proceso productivo del vino arroja una cantidad de residuos (orujo: piel, pepas y tallos de uva) equivalentes a aproximadamente un 20% de la producción de uva utilizada. Por otra parte, se sabe que alrededor del 70% de la producción total de uvas es destinada a la industria enológica, según CEVITA (Centro Vitivinícola Tarija).

El tratamiento de residuos incrementa considerablemente los procesos productivos de la industria. El caso de la industria enológica es más serio debido a los volúmenes anuales de producción. Este bioproducto contribuye a la contaminación ambiental ocasionando serios efectos en la flora y la fauna.

Recientemente ha crecido el interés por estudiar la capacidad antioxidante y las propiedades benéficas del orujo como fuente de: antioxidantes, o para la extracción de aceite, para la conservación de alimentos, como suplemento alimenticio a través de aporte en fibra en nuestra dieta diaria, y como compuestos benéficos para la salud humana, incluso como biocombustible entre otros.

Sin embargo, se ha demostrado que aun cuando el proceso de vinificación afecta las propiedades y la composición del orujo éste puede ser utilizado como fuente de antioxidantes naturales. El orujo incluso ha sido calificado como el bioproducto más promisorio en términos de fuente de antioxidantes. Actualmente y aun cuando se han

estudiado un sin número de aplicaciones, una reducida cantidad de este bioproducto es reciclado por lo que contribuir a través de su reutilización de manera simple y económica constituye un importante beneficio medioambiental.

En consecuencia, se tiene por un parte una alta disponibilidad a nivel mundial de este bioproducto rico en antioxidantes, cuyo principal contribuyente es el proceso oxidativo del material, por lo tanto, esta investigación analizará la aplicación de orujo de uva, bioproducto de la industria enológica, como aditivo antioxidante para evaluar el efecto que produce a las mezclas asfálticas, previendo una contribución respecto de mejorar la calidad de los pavimentos asfálticos.

2.7.1 Proceso productivo del vino y obtención de la cáscara de uva

El proceso productivo del vino se inicia con la cosecha de la uva, la cual se encuentra en forma de racimos. Éstos son procesados por un equipo denominado descobajador, cuya función consiste en separar los granos de uva de la parte leñosa del racimo, comúnmente llamada escobajo. Posteriormente, los granos de uva pasan por rodillos que rompen suavemente el hollejo liberando el jugo de los granos de uva, sin romper las pepas para evitar la liberación de sustancias que aportarían sabores indeseados al jugo. Luego de pasar por los rodillos, el total de la vendimia (jugo y hollejos de uva) es enfriado para conservar la materia prima óptima y evitar la evaporación de sustancias aromáticas.

En este punto se marca la diferencia entre la producción del vino tinto y el vino blanco. En el caso del vino tinto, el mosto o la masa completa, es decir, tanto el hollejo como el jugo de uva, son llevados a una cuba de fermentación inicial, donde los azúcares de la masa gradualmente se transformarán en alcohol. En este primer proceso fermentativo, se busca además extraer los taninos contenidos en la piel de la uva, ya que estos compuestos aportarían el color y cuerpo al vino tinto. Esta primera etapa dura aproximadamente entre cuatro y ocho días, dependiendo de la intensidad tánica y colorante que se desee dar al vino. Llegado este momento, se procede al descube, donde la masa es extraída de la cuba para ser prensada separando finalmente el líquido de los hollejos. Los hollejos, correspondientes a la piel de la uva, la cual en su interior

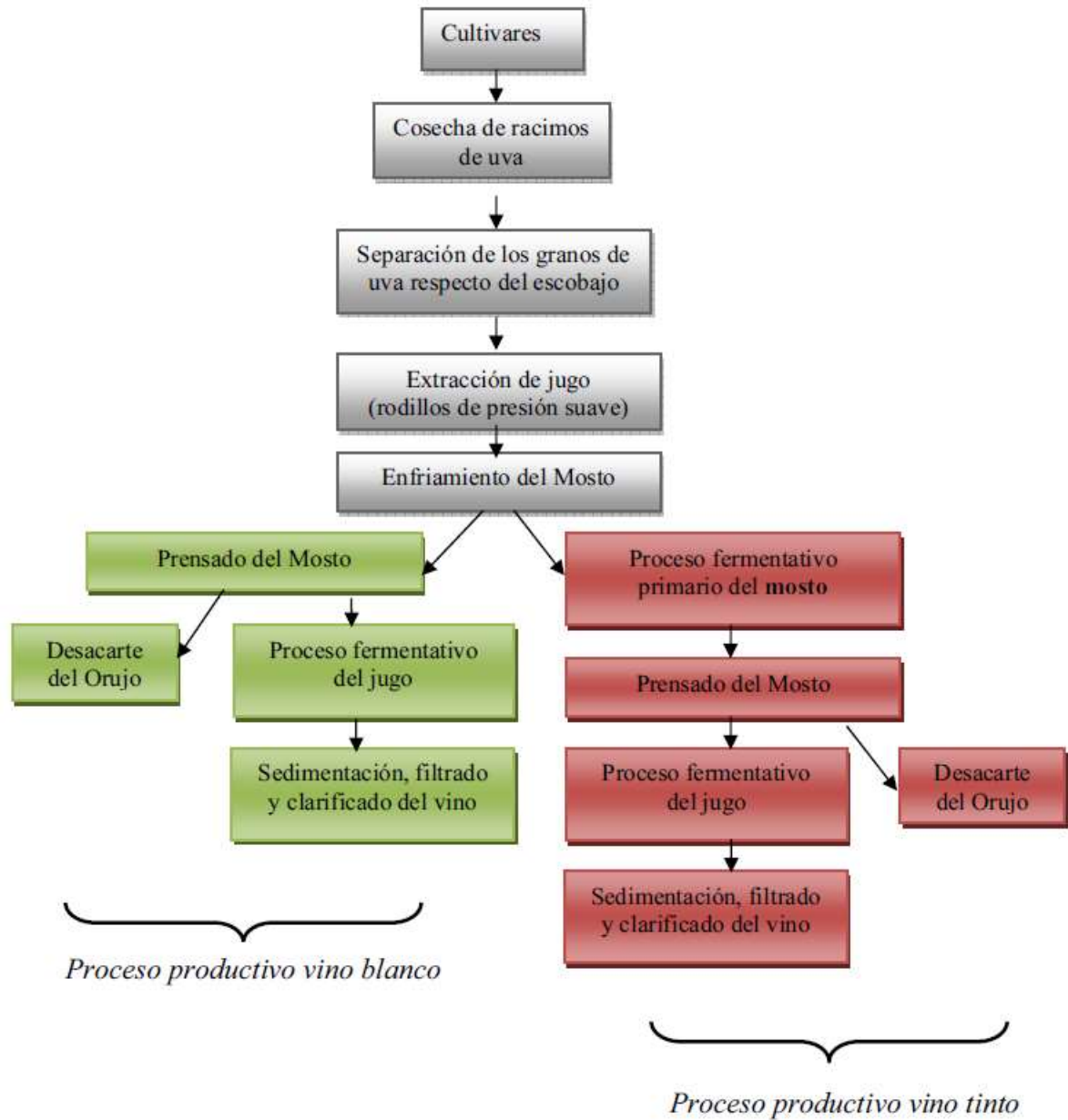
contiene las pepas, se denomina orujo (cáscara de uva después del proceso enológico), y corresponde a un residuo del proceso de vinificación.

En el caso de la producción del vino tinto, es en este punto donde el orujo se convierte en residuo, es decir post primer proceso fermentativo. El líquido en tanto, continúa el proceso en una segunda etapa denominada fermentación lenta, que dura entre 15 y 20 días, o aún más, según sea el vino que se desea obtener. Una vez culminada la fermentación alcohólica, el vino es estabilizado, clarificado y filtrado. En el caso del vino blanco, el mosto, que consta del jugo más la piel y pepas de uva post proceso de rodillado, es transferido a una prensa, que mediante suave presión extrae casi la totalidad del jugo, quedando retenido el orujo.

Es en este punto donde la industria del vino blanco genera el residuo, siendo la gran diferencia entre el orujo de uva para vino tinto y el orujo de uva para vino blanco, la gran cantidad de azúcar presente en este último, pues el orujo de vino blanco no pasó por ningún proceso fermentativo.

El jugo ingresa entonces a los tanques de fermentación donde permanece a temperaturas controladas durante todo el proceso, hasta que todo el azúcar se ha transformado en alcohol.

Figura N° 2. Esquema ilustrativo del proceso productivo del vino



2.8 MARCO REFERENCIAL

El presente trabajo de investigación está muy influenciado en un trabajo de investigación previo realizado en la Pontificia Universidad Católica de Chile (Santiago de Chile), titulado: “*CONTROL DEL ENVEJECIMIENTO DEL ASFALTO A TRAVÉS DE LA ADICIÓN POLVO DESHIDRATADO DE ORUJO, BIOPRODUCTO DE LA INDUSTRIA ENOLÓGICA*”, teniendo de autor a: Alejandra Tatiana Calabi Floody, que fue presentado y defendido en el año 2012.

El estudio mencionado es utilizado como una guía en el uso y manejo del aditivo, orujo o cáscara de uva, además es en esa investigación donde se cataloga al aditivo de carácter antioxidante, siendo esta la razón por lo cual la presente investigación toma en cuenta el nombre de antioxidante al aditivo propuesto como cáscara de uva u orujo.

Es mediante esa investigación que nos plantea una alternativa de utilizar al orujo como adición al cemento asfáltico que se utiliza en esta investigación.

2.9 MARCO NORMATIVO

Dentro de las normas aplicadas en esta investigación se tiene las siguientes:

Tabla N° 7. Normas aplicadas para los agregados y cemento asfáltico.

Agregados Grueso y Fino		
Ensayos	Norma ASTM	Norma AASHTO
Granulometría	C-136	T-27
Desgaste mediante la máquina de los ángeles	C-131	T-96
Durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración	C-88	T-104
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	C-127	T-85
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	C-128	T-84
Peso unitario	C-29	T-19
Equivalente de arena	D-2419	T-176
Porcentaje de caras fracturadas	D-5821	-
Determinación de partículas largas y achatadas	D-4791	-
Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad	D-4318	T-89/T-90
Cemento Asfáltico		
Ensayos	Norma ASTM	Norma AASHTO
Penetración	D-5	T-49
Viscosidad Saybolt-Furol	D-445	T-72
Punto de inflamación	D-92	T-48
Peso específico	D-70	T-43
Punto de ablandamiento	D-36	T-53

Fuente: Elaboración propia

2.10 PUNTO DE VISTA DEL INVESTIGADOR

A partir de la teoría estudiada en el presente trabajo que se enfoca directamente en el concepto de las mezclas asfálticas, en sus componentes como lo son: el cemento asfáltico, el agregado grueso y el agregado fino; además como este trabajo propone una opción de mezcla asfáltica modificada mediante la adición de un aditivo antioxidante de carácter natural es por ello que también se orienta sobre la obtención de este aditivo, que viene a ser un residuo post proceso enológico.

Otro punto importante del tema es las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica como lo son: estabilidad, fluencia, % de vacíos de aire, % de vacíos de agregado mineral (VAM), % de vacíos llenos de asfalto (RBV) y densidad de la mezcla, siendo fundamentado y explicado; además que se explica el ensayo Marshall que nos determina el diseño de mezclas asfálticas y propone métodos de medición de las propiedades ya mencionadas, es por ello que esta parte es muy significativo para poder entender claramente lo que se espera obtener de cada una de las propiedades y de los conceptos en general que nos demuestren la tendencia de los datos.

Además se indica las referencias en las que se toman en cuenta para profundizar la presente investigación y las normas aplicadas en los ensayos que se realizarán, para poder hacer uso de la estadística y valorar los resultados dándole el sentido científico.

3 RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN, USO Y APLICACIÓN

3.1.1 Criterios de selección de agregados pétreos

El término agregado se refiere a partículas minerales granulares que se usan ampliamente para bases, sub-bases y relleno de carreteras. Los agregados también se usan en combinación con un material cementante para formar concretos para bases, sub-bases, superficies de desgaste y estructuras de drenaje. Las fuentes de agregados incluyen los depósitos naturales de arena y grava, los pavimentos pulverizados de concreto y asfalto, el material pétreo resquebrajado y la escoria de altos hornos.

En nuestro medio, en la ciudad de Tarija, se cuenta con numerosas plantas chancadoras de materiales pétreos y de varios lugares de extracción. Siendo el criterio de ubicar bancos que son utilizados para el diseño de mezclas asfálticas, se decidió utilizar material proveniente de la planta chancadora Garzón, cuyo material es procedente de San Mateo, este material es utilizado por el Servicio Departamental de Caminos y que ha demostrado tener muy buenas características y condiciones para el diseño de mezclas asfálticas.

3.1.2 Criterios de selección de aditivo

Dentro de la selección del aditivo antioxidante proveniente del residuo de industria enológica, siendo la cáscara de uva post proceso enológico, se tomó en cuenta el criterio de un estudio previo titulado *“Control del envejecimiento del asfalto a través de la adición polvo deshidratado de orujo, bioproducto de la industria enológica”*, que indicaban el uso de cáscaras de uva negra vitivinícola es el más recomendado en comparación con uvas blancas o rosadas.

Por lo tanto se adquirió el material, cáscara de uva negra post proceso enológico, del Centro Vitivinícola Tarija (CEVITA), que es una institución que no solo produce vinos, sino sirve de apoyo a varios comunarios de la región que se dedican al rubro enológico, dentro de enseñanzas de nuevos equipos y métodos tanto del cultivo de la vid y la producción de vinos, mejorando la calidad de los mismos.

3.1.3 Criterios de la variación de porcentaje del aditivo

Según el estudio previo realizado sobre el control de envejecimiento con este aditivo titulado “*Control del envejecimiento del asfalto a través de la adición polvo deshidratado de orujo, bioproducto de la industria enológica*”, se recomienda aplicar porcentajes que oscilen entre 0 - 30% de inclusión del aditivo, de tal manera se pueda ver el comportamiento no solo de la trabajabilidad y su mezclado, sino también de sus propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Por tanto los porcentajes del aditivo que se utilizaron fueron 2%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%.

En la primera etapa se realizó con 2%, 5% y 10%, esto para ver un primer comportamiento, al ver que las mezclas preparadas mejoraban mientras se incrementaba la cantidad de aditivo se procedió a comprobar cómo se comportaría la mezcla con porcentajes mayores, por lo que en la segunda etapa se prepararon mezclas con 15%, 20% y 25%.

Cabe hacer mención que el aditivo utilizado es un aditivo en base al asfalto, es decir que se añade directamente al asfalto para posteriormente mezclar el asfalto modificado con los agregados.

3.1.4 Criterios de selección del asfalto

El asfalto utilizado en la investigación es el STRATURA-BRASIL 85-100, siendo un asfalto que se utiliza en la ciudad de Tarija para la pavimentación, empleado por el Servicio Departamental de Caminos (SEDECA).

3.2 CRITERIOS DEL NÚMERO DE ENSAYOS

3.2.1 Criterio del número de ensayos para el agregado pétreo

Para la presente investigación se desglosara los diferentes ensayos y el número de los mismos a ejecutarse.

Granulometría.- Se realizarán 3 ensayos para los agregados arena, grava 3/8" y 3/4".

Abrasión del agregado grueso máquina de los ángeles.- Se realizará 1 ensayo de los agregados de 3/8" y 3/4".

Durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración.- Se realizará 1 ensayo de los agregados combinados de arena, grava 3/8" y 3/4".

Peso específico y absorción del agregado grueso.- Se realizarán 1 ensayos de peso específico y absorción del agregado grueso de los agregados de 3/8" y 3/4".

Peso específico del agregado fino.- Se realizarán 2 ensayos del agregado fino y se sacara su promedio.

Peso unitario.- Se realizaran 3 ensayos por cada agregado arena, grava 3/8" y 3/4".

Equivalente de la arena y agregado fino.- Se realizarán 2 ensayos de equivalente de la arena, de los cuales se sacara un promedio.

Porcentaje de caras fracturadas.- Se realizarán 1 ensayos para el agregado de 3/8" y 3/4".

Determinación de partículas largas y achatadas.- Se realizará 1 ensayo para el agregado de 3/8" y 3/4".

Laminaridad.- Se realizará 1 ensayo para el agregado de 3/8" y 3/4".

Tabla N° 8. Número de ensayos de los agregados pétreos.

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Granulometría	3
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	1
Durabilidad por el Método de los Sulfatos para determinar la desintegración	1
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	1
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	2
Peso unitario	3
Equivalente de Arena	2
Porcentaje de Caras Fracturadas	1
Determinación de partículas largas y achatadas	1
Laminaridad	1

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Criterio del número de ensayos para el cemento asfáltico

Ensayo de penetración.- Se realizarán 2 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio. Además se realizara 2 ensayos por cada modificación de asfalto es decir 2%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de adición del aditivo.

Ensayo de viscosidad SAYBOLT-FUROL.- Se realizarán 2 ensayos de viscosidad del cemento para el cemento asfáltico 85-100 y se obtendrá su promedio.

Ensayo de punto de inflamación.- Se realizarán 2 ensayos del punto de inflamación del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

Ensayo de peso específico.- Se realizarán 2 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio. Además se realizara 2 ensayos por cada modificación de asfalto es decir 2%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de adición del aditivo.

Ensayo de punto de ablandamiento.- Se realizarán 2 ensayos de punto de ablandamiento del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.

Tabla N° 9. Número de ensayos del cemento asfáltico.

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Penetración	2
Punto de Ablandamiento	2
Punto de Inflamación	2
Peso Específico	2
Viscosidad Saybolt-Furol	2

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Criterio del número de briquetas

Mezcla asfáltica para determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico:

Dosificación.- Con la granulometría de los agregados se tiene una dosificación tentativa, con la cual se procederá a pesar 3 briquetas con un porcentaje de cemento asfáltico en la siguiente tabla se muestra las cantidades:

Tabla N° 10. Variaciones del porcentaje del cemento asfáltico para obtener el porcentaje óptimo.

Porcentaje de cemento asfáltico	Cantidad de ensayos a realizar
4,50%	3
5,00%	3
5,50%	3
6,00%	3
6,50%	3
7,00%	3
Total briquetas elaboradas para el diseño	18

Fuente: Elaboración propia

Se realizarán 18 briquetas con diferentes porcentajes de cemento asfáltico 85-100 variando de 0,5% con respecto del porcentaje aproximado de cemento asfáltico calculado, de igual manera variará el porcentaje de agregados en la mezcla, de la cual se obtendrá el porcentaje óptimo de cemento asfáltico a utilizar en los cálculos.

Detalle de la investigación:

Mezclas asfálticas convencionales.- Se elaborarán 3 briquetas con mezclas asfálticas convencionales, cuyo cemento asfáltico será 85-100 estas briquetas representarán el patrón, con lo cual procederemos a evaluar su comportamiento y variaciones de las propiedades mecánicas de los ensayos analizados.

Mezclas asfálticas con la adición del aditivo.- Se elaborarán 3 briquetas de mezclas asfálticas, cuyos porcentajes a variar serán 2%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% fabricando 3 briquetas por cada porcentaje de fibras acrílicas.

Tabla N° 11. Total de briquetas elaboradas para la investigación.

Descripción		Cantidad
Briquetas de mezclas Convencionales para determinar porcentaje óptimo		18
Briquetas de mezclas Convencionales con el porcentaje óptimo		9
Briquetas de mezclas Convencionales con el porcentaje óptimo para el remanente		3
Briquetas de mezclas modificadas con adición de aditivo antioxidante	2%	3
	5%	3
	10%	3
	15%	3
	20%	3
	25%	3
Total briquetas elaboradas para los ensayos		48

Fuente: Elaboración propia

3.3 ADITIVO ANTIOXIDANTE

3.3.1 Aplicabilidad del uso del antioxidante dentro de la elaboración de mezclas asfálticas

Al ser el aditivo propuesto un residuo proveniente de las industrias enológicas su aplicación dentro de la elaboración de mezclas supondría un nuevo uso del material además de una alternativa técnica al verificar su comportamiento dentro de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica y sus porcentajes visualizando a partir de los resultados el efecto que produciría el aditivo dentro de las propiedades mecánicas.

Como la investigación toma en cuenta los servicios de la institución CEVITA, ésta produce alrededor de 15 m³ cada tres meses de producto residual (cáscara de uva post proceso enológico) que tiene un peso en seco aproximado de 1600 kg.

Si se toma en cuenta que el material que se añadirá a la mezcla asfáltica es el polvo deshidratado de la cáscara de uva, el material seco es sometido a un proceso de molienda que considera un gasto además del transporte que con llevaría el traslado del material a lugares donde moler.

Por tal motivo en la presente investigación se realiza una evaluación para determinar el valor de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con la adición del aditivo antioxidante siendo su aplicabilidad en función de posibles usos de las mezclas asfálticas modificadas que garanticen las normas establecidas, conjuntamente se propone un análisis dentro de los costos de las mezclas asfálticas convencionales y las modificadas para validar la aplicabilidad del uso de este aditivo dentro de las mezclas asfálticas.

3.3.2 Otros usos del material

El material al ser residuo de la producción de vino, es decir de la industria enológica, a nivel internacional ha llegado a tener diferentes usos como fuente de elaboración para aceites, harina, además de ser un componente de algunos medicamentos de fabricación natural.

Mientras en nuestro medio en industrias grandes ha sido implementado para la fabricación de sintéticos como el corcho que sirve dentro de la misma industria enológica; en el caso de CEVITA el material no cuenta con utilidad alguna debido a que el material no ha tenido buenos resultados siendo material de abono por el tema de los elevados contenidos de azúcar que contiene.

Por lo que el material al ser un bioproducto y no contaminar al ser desechado se conserva hasta secar al material para su posterior descarte, es por este motivo que dentro de la investigación se pretende utilizar como una alternativa ecológica para utilizar este residuo dentro la elaboración de mezclas asfálticas.

3.3.3 Proceso de obtención del material

Para efectos de esta investigación se decide incorporar el orujo en forma integral, como polvo deshidratado con el fin de simplificar el proceso de producción del antioxidante y minimizar sus costos. Debido a que la temperatura de mezclado del cemento asfáltico es superior al punto de ebullición de los líquidos contenidos en el orujo, es necesario deshidratarlo para que este pueda ser agregado en forma de polvo.

La presente sección describe el proceso de deshidratación del orujo diseñado de modo que no afecte su capacidad antioxidante. En el caso del preparado antioxidante proveniente de uva negra, el orujo se dejó secar en sombra, esto para obtener humedades relativas cercanas al 3%.

Alcanzados valores de humedad cercanos al 3%, el material es molido y tamizado para obtener la fracción pasante de la malla ASTM N°100, con lo cual se obtiene un polvo bajo de tamaños menores al 0,150 mm., que constituye el preparado antioxidante que a partir de este momento se lo denominara Aox.

En conclusión, el proceso productivo del preparado antioxidante consiste en el secado de la materia prima hasta conseguir humedades bajo el 3%, molienda y tamizado para obtener la fracción bajo 0,150 mm.

Posteriormente el Aox, es incorporado en forma inmediata al cemento asfáltico, cada vez que fue requerida una modificación, con el objeto de minimizar las pérdidas.

3.3.4 Modificación del cemento asfáltico con el preparado antioxidante

La muestra asfáltica es calentada a 95°C para mantener viscosidades que permitieran realizar una mezcla homogénea. Posteriormente se adiciona el Aox en forma de polvo y se mezcla hasta obtener un producto uniforme. Este mismo proceso se realizó para la muestra control, sin adicionar Aox. con el objetivo de homogenizar la historia térmica de las muestras.

Se prepararon muestras con adición de Aox. 2, 5, 10, 15, 20 y 25% en peso de asfalto, proveniente del polvo deshidratado de la cáscara de uvas negras vitivinícolas post proceso enológico.

3.3.5 Caracterización del preparado Antioxidante

Dentro de la investigación se utiliza un aditivo proveniente del residuo de las industrias enológicas (polvo deshidratado de la cáscara de uva), como se indica en el punto 3.1.2 Criterios de la selección de aditivo, la presente investigación se da a partir de un estudio previo titulado “*Control del envejecimiento del asfalto a través de la adición polvo deshidratado de orujo, bioproducto de la industria enológica*”, debido a este estudio es que se considera un aditivo de carácter antioxidante.

A continuación se muestra la caracterización hecha en ese estudio para validar las características antioxidantes. Se tiene en cuenta que en el estudio se trabajó con el Cavernet Sauvignon (uvas negras CsAox).

Los resultados muestran que el CsAox posee una elevada capacidad antioxidante, lo que coincide con lo reportado por Moure et al, (2001). Cuando se analizó la capacidad antioxidante del CsAox, se observó un promedio de capacidad de absorbancia de radical oxígeno (ORAC) entre muestras de un mismo lote de 664 ± 30.8 $\mu\text{mol TE/g}$, con un coeficiente de variación (COV) de 4.6% (Figura N°3). Para muestras de diferentes lotes, la capacidad de absorbancia de radical oxígeno promedio fue similar, ésta ascendió a 651 ± 118.9 $\mu\text{mol TE/g}$, sin embargo el COV aumentó alcanzando un valor de 18.3% (Figura N°4).

Figura N° 3. Capacidad antioxidante de muestra CsAox provenientes de un mismo lote.

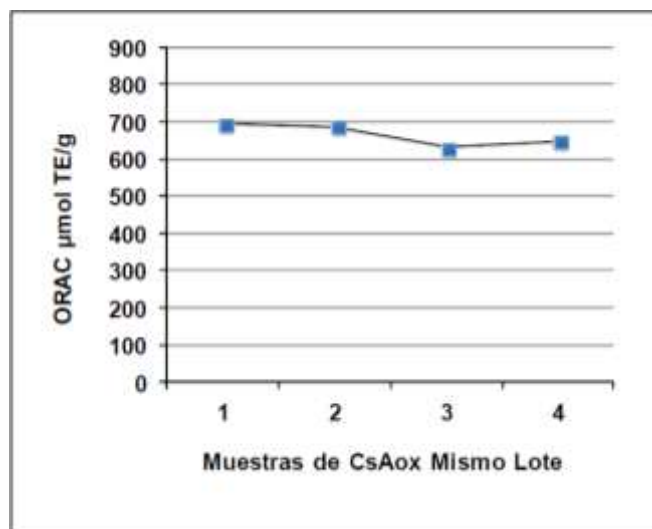
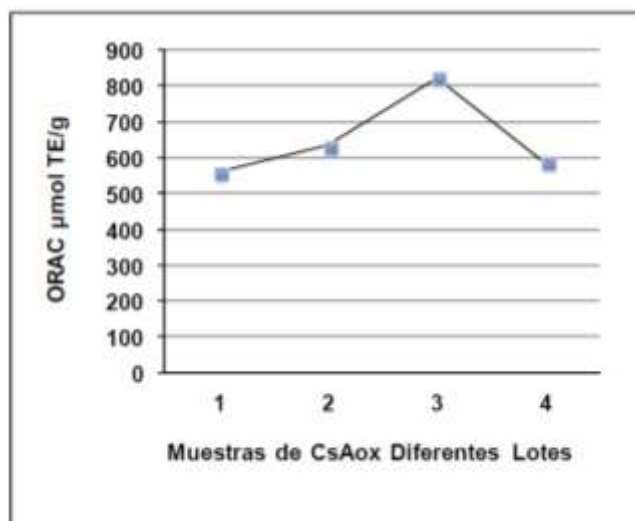


Figura N° 4. Capacidad antioxidante de muestras de CsAox de diferentes lotes.



Este aumento del COV se debe a la diferencia entre la proporción de pepas y piel de cada lote. Para comprobar lo anterior, se analizó por separado el aporte de capacidad antioxidante de la piel y las pepas contenidas en el orujo. El procedimiento consistió en una vez seca la materia prima (orujo), separar las pepas de la piel, y someter ambos materiales por separado (piel y pepas) al mismo proceso de molienda y tamizado a través del cual se obtiene el polvo bajo malla ASTM N°100 que constituye el preparado

antioxidante. De esta forma se obtuvo un CsAox(piel) y un CsAox(pepas). Tras esta experiencia, pudo observarse que el contenido de pepas de la muestra total representa el 52,95% en peso de materia seca (Tabla N°12). Estos resultados concuerdan con los reportados por Maier et al (2009), quienes observaron que las pepas de orujos de uva de diferentes cultivares representan entre el 38% y 52% del total de la muestra.

Por otra parte, los resultados mostraron que la capacidad antioxidante de las pepas (ORAC 1.016,59 UmolesTE/gr) es 2,3 veces mayor que la capacidad antioxidante de la piel, por lo que una pequeña variación en la proporción de pepas en la muestra puede modificar en forma importante la capacidad antioxidante final del CsAox.

Tabla N° 12. Reconstrucción capacidad antioxidante de CsAox a partir de resultados diferenciados: piel-pepas.

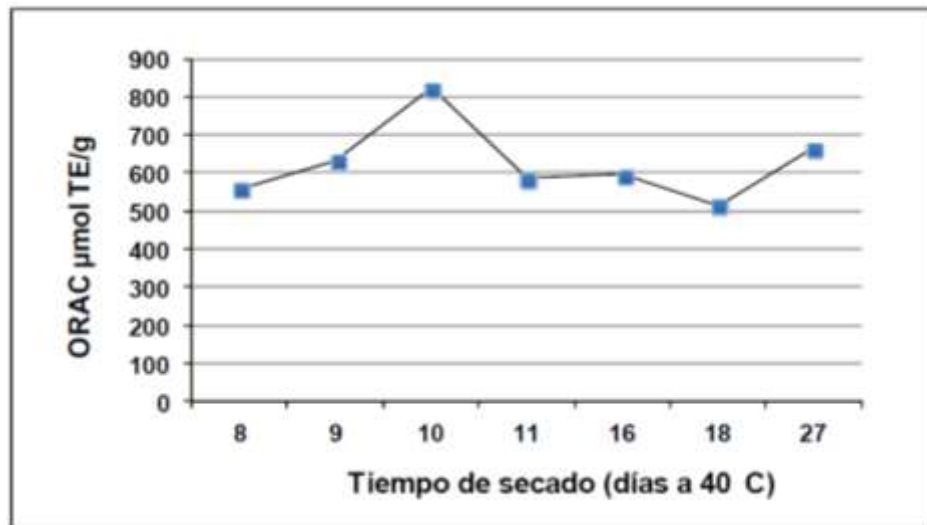
Descripción	Capacidad Antioxidante (ORAC $\mu\text{molTE/g}$)	% en peso de materia seca	Contribución Capacidad Antioxidante (ORAC $\mu\text{molTE/g}$)
CsAox (piel)	440,7	44,05%	207,35
CsAox (pepas)	1016,59	52,95%	538,28
CsAox (piel y pepas)			745,63

Fuente: Control del envejecimiento del asfalto a través de la adición polvo deshidratado de orujo, bioproducto de la industria enológica

Respecto del tiempo de secado en horno a 40°C, para obtener humedades bajo el 5% se observó que se requiere entre 9 a 11 días. Esto dio como resultado un porcentaje de humedad promedio de $3,2\% \pm 0,65$, con un COV de 20,32%. Se observó además que aumentar el tiempo de secado no influye significativamente en la capacidad antioxidante del preparado antioxidante. El promedio observado de la capacidad

antioxidante de las muestras para un rango de tiempo de secado comprendido entre 8 y 27 días fue de $ORAC\ 626 \pm 99.5\ \mu\text{mol TE/gr}$, con un COV de 15.9%, (Figura N°5).

Figura N° 5. Capacidad antioxidante versus tiempo de secado para muestras de CsAox.



3.4 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.4.1 Ubicación de la fuente de los materiales utilizarse

Agregado Pétreo.- Los materiales componentes de la investigación, son provenientes de la planta chancadora Garzón ubicada en San Mateo, que es una de las plantas con las que trabaja el servicio departamental de caminos (SEDECA). Se verificara si los agregados son de buena calidad mediante los ensayos de caracterización.

Se toma en cuenta que como agregado pétreo son los materiales:

- Grava 3/4"
- Grava 3/8" (Gravilla)
- Arena Triturada

Cemento Asfáltico.- El cemento asfáltico a utilizarse es el STRATURA 85-100 cuyo distribuidor es una empresa de Brasil, el cual fue obtenido por la alcaldía de la ciudad de Tarija para poder realizar esta investigación.

Tabla N° 13. Especificación técnica del cemento asfáltico STRATURA

N°	Características	Detalle			Exigencias 85-100
		AASHTO	ASTM	NCh	
1	Penetración muestra original 25°C	T-49	D-5	-	85-100
2	Vaso abierto Cleveland punto de inflamación °C	T-48	D-92	2338	> a 232°C
3	Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C, Seg	T-72	D-102	-	> 85 seg.
4	Solubilidad en tricloroetileno %	T-44	D-2042	2341	> a 99,00%
5	Ductilidad 25°C	T-51	D-113	2342	> a 100 cm
6	Ensayo de la mancha heptanoxilol, (20% máximo de Xilol)	T-102	-	2343	(-) Negativo
7	Ensayo en horno película delgada	T-179	D-1754	2346	< a 1
8	Penetración del residuo de pérdida, x calentamiento % original	T-49	D-5	2340	> a 50
9	Porcentaje de agua	T-55	-	-	< a 0,2

Fuente: Especificación técnica del fabricante.

Aditivo Antioxidante (polvo deshidratado de la cáscara de uva post proceso enológico).- Este material es obtenido del centro vitivinícola de Tarija (CEVITA), siendo de uvas vitivinícolas negras las seleccionadas para la investigación.

3.4.2 Ensayo de Granulometría AASHTO T-27 (ASTM C-136)

Una propiedad clave de los agregados que se usan en las bases y superficies de las carreteras es la distribución de los tamaños de partículas al mezclarlos. La graduación de los agregados, esto es, la combinación de tamaños de partículas en la mezcla, afecta la densidad, la resistencia, y la economía de la estructura del pavimento.

Se usa un análisis granulométrico para determinar las propiedades relativas de los diferentes tamaños de partículas en una mezcla de agregados minerales. Para llevarlo

cabo, se pasa una muestra pesada de agregado seco a través de un juego de mallas o tamices cuyo tamaño de abertura ha sido seleccionado previamente. Los tamices se agrupan colocando hasta arriba los que tienen la abertura mayor y debajo aquellos con aberturas sucesivamente más pequeñas.

La muestra de agregado se agita con un vibrador mecánico de mallas y se determina el peso del material retenido en cada tamiz, el cual se expresa como un porcentaje de la muestra original. En el método T-27 de la AASHTO (ASTM C-136) se dan los procedimientos detallados para ejecutar un análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.

A la porción de material agregado que queda retenida en la malla No. 10 (esto es, con partículas mayores de 2,00 mm) se le conoce como agregado grueso. Al material que pasa por la malla No. 10 pero queda retenido en la malla No. 200 (partículas mayores que 0,075 mm) se le conoce como agregado fino. El material que pasa por la malla No. 200 se llama fino y corresponde a impurezas, limo y arcilla. Se realizaron 3 análisis granulométricos por tamizado para cada uno de los agregados, tanto para la grava, gravilla y arena.

Tabla N° 14. Datos de las granulometrías de la Grava 3/4”.

GRAVA 3/4”			
N° Ensayo	1	2	3
Peso Total Seco	4815,0 gr.	5910,0 gr.	5822,0 gr.
Tamiz	Peso retenido		
1”	0,0 gr.	0,0 gr.	0,0 gr.
3/4”	280,0 gr.	342,0 gr.	396,0 gr.
1/2”	4620,0 gr.	5600,0 gr.	5473,0 gr.
3/8”	4755,0 gr.	5755,0 gr.	5775,0 gr.
N°4	4795,0 gr.	5836,0 gr.	5781,0 gr.
N°8	4802,0 gr.	5856,0 gr.	5793,0 gr.
N°16	4806,0 gr.	5868,0 gr.	5805,0 gr.
N°40	4807,0 gr.	5888,0 gr.	5810,0 gr.
N°80	4809,0 gr.	5895,0 gr.	5816,0 gr.
N°200	4810,0 gr.	5902,0 gr.	5819,0 gr.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15. Datos de las granulometrías de la Gravilla 3/8”.

GRAVILLA 3/8”			
N° Ensayo	1	2	3
Peso Total Seco	4400,0 gr.	4320,0 gr.	4666,0 gr.
Tamiz	Peso retenido		
1”	0,0 gr.	0,0 gr.	0,0 gr.
3/4”	0,0 gr.	0,0 gr.	0,0 gr.
1/2”	36,0 gr.	65,0 gr.	140,0 gr.
3/8”	300,0 gr.	293,0 gr.	257,0 gr.
N°4	4100,0 gr.	3935,0 gr.	4316,0 gr.
N°8	4380,0 gr.	4293,0 gr.	4619,0 gr.
N°16	4382,0 gr.	4302,0 gr.	4643,0 gr.
N°40	4388,0 gr.	4306,0 gr.	4647,0 gr.
N°80	4392,0 gr.	4308,0 gr.	4649,0 gr.
N°200	4396,0 gr.	4311,0 gr.	4661,0 gr.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 16. Datos de las granulometrías de la arena.

ARENA			
N° Ensayo	1	2	3
Peso Total Seco	500,0 gr.	500,0 gr.	500,0 gr.
Tamiz	Peso retenido		
1”	0,0 gr.	0,0 gr.	0,0 gr.
3/4”	0,0 gr.	0,0 gr.	0,0 gr.
1/2”	0,0 gr.	0,0 gr.	0,0 gr.
3/8”	0,0 gr.	0,0 gr.	0,0 gr.
N°4	6,50 gr.	8,60 gr.	10,50 gr.
N°8	90,20 gr.	91,20 gr.	100,20 gr.
N°16	192,20 gr.	202,20 gr.	188,20 gr.
N°40	342,20 gr.	338,60 gr.	325,50 gr.
N°80	400,20 gr.	405,50 gr.	402,20 gr.
N°200	439,50 gr.	432,50 gr.	437,80 gr.

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de porcentajes que pasan cada uno de los tamices.

$$\% \text{ Que Pasa} = 100 - \left(\frac{\text{Peso Ret}}{\text{Peso total seco}} * 100 \right)$$

$$\% \text{ Que Pasa} = 100 - \left(\frac{280}{4815} * 100 \right) = 94,2\%$$

Tabla N° 17. Planilla de resultados de las granulometrías de la grava, gravilla y arena del Ensayo 1.

Peso Total Seco	4815,0 gr.		4400,0 gr.		500,0 gr.	
Tamiz	Grava - Garzón		Gravilla - Garzón		Arena Triturada - Garzón	
N°	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa
1"	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
3/4"	280,0	94,2	0,0	100,0	0,0	100,0
1/2"	4620,0	4,0	36,0	99,2	0,0	100,0
3/8"	4755,0	1,2	300,0	93,2	0,0	100,0
N° 4	4795,0	0,4	4100,0	6,8	6,5	98,7
N° 8	4802,0	0,3	4380,0	0,5	90,2	82,0
N° 16	4806,0	0,2	4382,0	0,4	192,2	61,6
N° 40	4807,0	0,2	4388,0	0,3	342,2	31,6
N° 80	4809,0	0,1	4392,0	0,2	400,2	20,0
N° 200	4810,0	0,1	4396,0	0,1	439,5	12,1

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 6. Gráfica de distribución granulométrica Ensayo 1.

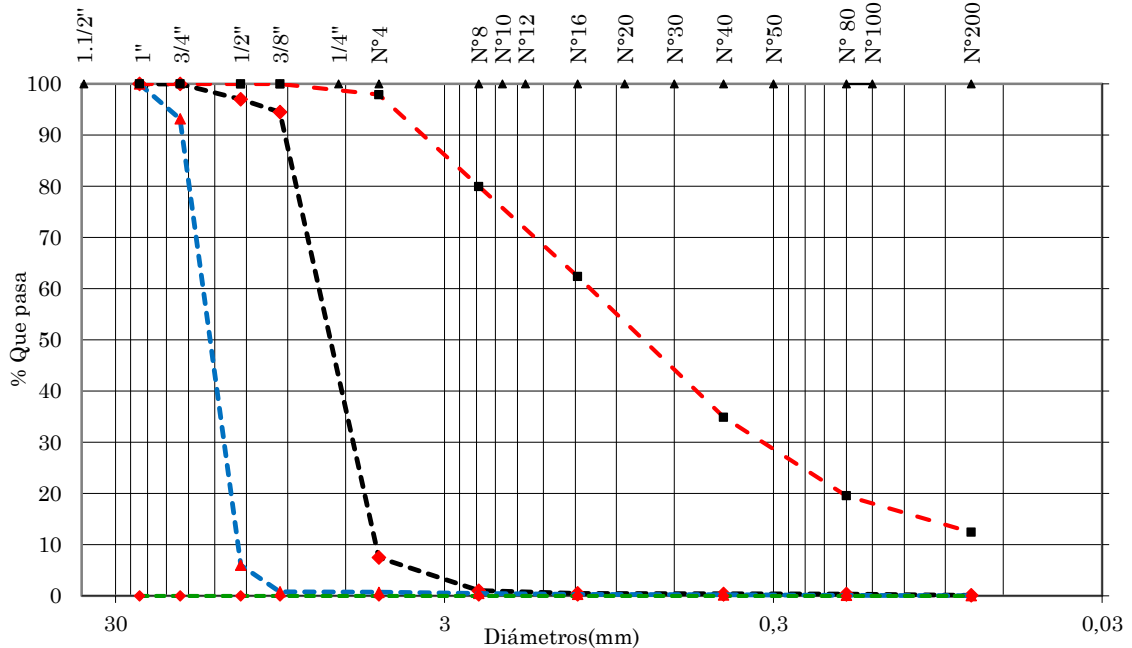


Tabla N° 18. Planilla de resultados de las granulometrías de la grava, gravilla y arena del Ensayo 2.

Peso Total Seco	5910,0 gr.		4320,0 gr.		500,0 gr.	
Tamiz	Grava - Garzón		Gravilla - Garzón		Arena Triturada - Garzón	
N°	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa
1"	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
3/4"	342,0	94,2	0,0	100,0	0,0	100,0
1/2"	5600,0	5,2	65,0	98,5	0,0	100,0
3/8"	5755,0	2,6	293,0	93,2	0,0	100,0
N° 4	5836,0	1,3	3935,0	8,9	8,6	98,3
N° 8	5856,0	0,9	4293,0	0,6	91,2	81,8
N° 16	5868,0	0,7	4302,0	0,4	202,2	59,6
N° 40	5888,0	0,4	4306,0	0,3	338,6	32,3
N° 80	5895,0	0,3	4308,0	0,3	405,5	18,9
N° 200	5902,0	0,1	4311,0	0,2	432,5	13,5

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 8. Gráfica de distribución granulométrica Ensayo 3.

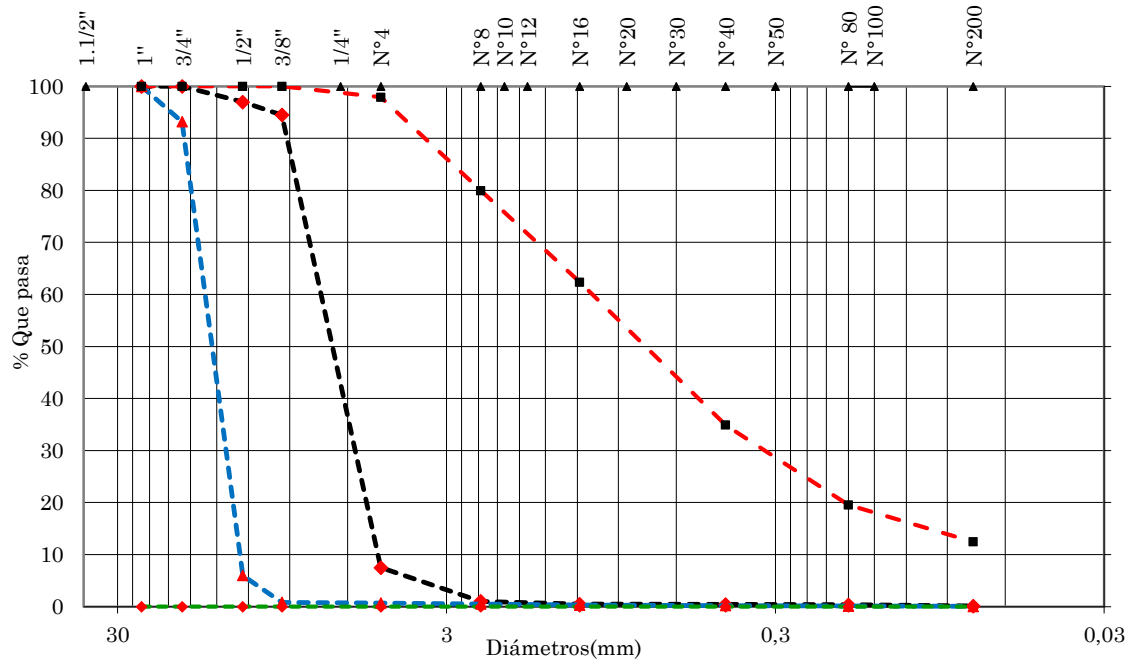


Figura N° 9. Proceso de tamización del agregado pétreo.



3.4.3 Ensayo de Desgaste mediante la máquina de los Ángeles AASHTO T-96 (ASTM C-131)

Los materiales que se usan en los pavimentos de carreteras deberán ser duros y resistir el desgaste debido al efecto de pulido del tránsito y a los efectos abrasivos internos de las cargas repetidas. La estimación más comúnmente aceptada de la dureza de los agregados es la prueba de abrasión de Los Ángeles. La máquina que se usa en la prueba de Los Ángeles consta de un cilindro de acero hueco, cerrado en ambos extremos y montado en ejes en posición horizontal.

Para ejecutar la prueba de abrasión de Los Ángeles, se coloca dentro el cilindro una muestra limpia del agregado que se ha de probar junto con un peso estándar de esferas de acero como carga abrasiva. El tambor se hace girar 500 veces a una velocidad de 30 a 33 rpm, después de lo cual se retira la muestra de agregado y se agita en una malla del No. 12 (1,70 mm). El material retenido en el tamiz se lava, se seca hasta alcanzar una masa constante y se pesa. Se reporta como porcentaje de desgaste la diferencia entre la masa original y la masa fina de la muestra expresada como un porcentaje de la masa original. El método T-96 de AASHTO (ASTM C-131) da un procedimiento detallado para esta prueba.

El tipo de abrasión que se efectuó es de tipo B para la grava mientras que para la gravilla se realizó del tipo C, donde se realizó un solo ensayo para cada uno.

Figura N° 10. Máquina de desgaste por abrasión y material post ensayo.



Tabla N° 20. Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4”.

GRAVA 3/4”		
Pasado	Retenido	Cantidad
3/4”	1/2”	2500,0 gr.
1/2”	3/8”	2500,0 gr.
Retenido tamiz de corte N°12 (1,7 mm.)		3666,0 gr.
Diferencia		1334,0 gr.
Número de ensayos		1
Tipo de Gradación		B
Carga Abrasiva		11 esferas a 32,5 Rpm 500Revoluciones

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{\text{Peso total}} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1334 \text{ gr}}{5000 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 26,68 \%$$

Tabla N° 21. Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8”.

GRAVILLA 3/8”		
Pasado	Retenido	Cantidad
3/8”	1/4”	2500,0 gr.
1/4”	N°4	2500,0 gr.
Retenido tamiz de corte N°12 (1,7 mm.)		3905,0 gr.
Diferencia		1095,0 gr.
Número de ensayos		1
Tipo de Gradación		C
Carga Abrasiva		8 esferas a 32,5 Rpm 500Revoluciones

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{\text{Peso total}} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1095 \text{ gr}}{5000 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 21,90 \%$$

3.4.4 Ensayo de Durabilidad por el Método de los Sulfatos para determinar la desintegración AASHTO T-104 (ASTM C-88)

Comúnmente, la durabilidad de los agregados se mide con una prueba de integridad, como se describe en el método T-104 de AASHTO (ASTM C-88). Esta prueba mide la resistencia de los agregados a la desintegración en una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio. Simula el intemperismo de los agregados que existen en la naturaleza.

Para la prueba se sumergen fracciones conocidas del agregado que se ha de probar en una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio. Luego se retira el agregado y se seca en un horno hasta que alcance una masa constante. Se repite este proceso para un número especificado de ciclos, normalmente cinco.

Después de los ciclos alternados de mojado y desecación, se divide al agregado en fracciones haciéndolo pasar por las mallas y se determina para cada fracción el porcentaje de pérdida de peso. El porcentaje de pérdida se expresa como un promedio pesado.

Para un tamaño dado de malla, el porcentaje de pérdida promedio por peso es el producto del porcentaje que pasa por esa malla y el porcentaje que pasa por esa malla en el material original. El total de estos valores es el valor de prueba de pérdida en porcentaje.

En nuestro ensayo se trabajó con el sulfato de sodio y se trabajó con muestras tamizadas combinadas de los tres agregados.

Figura N° 11. Vertiendo el sulfato de sodio a las muestras tamizadas.



Tabla N° 22. Datos del ensayo de durabilidad para agregado grueso.

Granulometría				Peso Materiales	
Tamiz N°	Tamiz Pasa	Tamiz Ret.	Material	Antes Ensayo(gr.)	Después Ensayo(gr.)
2"	2"	1"	100,0	0,0	0,0
1"	1"	3/4"	98,9	702,2	698,2
3/4"	3/4"	1/2"	82,5	500,1	496,5
1/2"	1/2"	3/8"	79,7	301,5	296,5
3/8"	3/8"	N° 4	50,7	300,0	294,0

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

A continuación se resolverá una parte del ensayo de manera expositiva, en este caso del tamiz 1", debido a que el cálculo es reiterativo se realizará una planilla donde se expongan todos los resultados.

$$\text{Pérdida por diferencia} = \text{Peso antes ensayo} - \text{Peso después ensayo}$$

$$\text{Pérdida por diferencia} = 702,2 - 698,2$$

$$\text{Pérdida por diferencia} = 4,0[\text{gr.}]$$

$$\%Pasa\ al\ tamiz = \% Tamiz\ Pasa - \% Tamiz\ Ret$$

$$\%Pasa\ al\ tamiz = 98,9 - 82,5$$

$$\%Pasa\ al\ tamiz = 16,4 \%$$

$$\% de\ pérdida\ respecto\ al\ tamiz = \frac{Pérdida\ por\ diferencia}{Peso\ antes\ ensayo} * 100\%$$

$$\% de\ pérdida\ respecto\ al\ tamiz = \frac{4,00}{702,2} * 100\%$$

$$\% de\ pérdida\ respecto\ al\ tamiz = 0,57\%$$

% de pérdida respecto a la muestra total

$$= \frac{\% de\ pérdida\ respecto\ al\ tamiz}{100} * \frac{\% Pasa\ al\ tamiz}{100} * 100\%$$

$$\% de\ pérdida\ respecto\ a\ la\ muestra\ total = \frac{0,57}{100} * \frac{16,4}{100} * 100\%$$

$$\% de\ pérdida\ respecto\ a\ la\ muestra\ total = 0,09\%$$

Tabla N° 23. Resultados del ensayo de durabilidad para agregado grueso.

Tamiz N°	Perdida por Diferencia (gr.)	% Pasa al Tamiz más fino	% Perdida Respecto Tamiz	% Perdida Respecto Muestra Total
1	4,0	16,4	0,57	0,09
3/4"	3,6	2,8	0,72	0,02
1/2"	5,0	29,0	1,66	0,48
3/8"	6,0	50,7	2,00	1,01
N° 4	0,0	0,0	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

$$\% Total\ de\ pérdida\ (Grueso) = \sum \% de\ pérdida\ respecto\ a\ la\ muestra\ total$$

$$\% Total\ de\ pérdida\ (Grueso) = 1,61\%$$

Tabla N° 24. Datos del ensayo de durabilidad para agregado fino.

Granulometría				Peso Materiales	
Tamiz N°	Tamiz Pasa	Tamiz Ret.	Material	Antes Ensayo(gr.)	Después Ensayo(gr.)
3/8"	3/8"	N° 4	50,7	300,0	294,0
N° 4	N° 4	N° 8	40,3	100,0	94,2
N° 8	N° 8	N° 16	29,9	100,0	94,6
N° 16	N° 16	N° 40	15,4	100,0	95,2
N° 40	N° 40	N° 80	9,7	100,0	95,4

Fuente: Elaboración propia

Para el agregado fino se procede de la misma secuencia de cálculos.

Tabla N° 25. Resultados del ensayo de durabilidad para agregado fino.

Tamiz N°	Perdida por Diferencia (gr.)	% Pasa al Tamiz más fino	% Perdida Respecto Tamiz	% Perdida Respecto Muestra Total
3/8"	6,0	10,4	2,00	0,21
N° 4	5,8	10,4	5,80	0,60
N° 8	5,4	14,5	5,40	0,78
N° 16	4,8	5,7	4,80	0,27
N° 40	4,6	9,7	4,60	0,45

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ Total de pérdida (Fino)} = \sum \% \text{ de pérdida respecto a la muestra total}$$

$$\% \text{ Total de pérdida (Fino)} = 2,31\%$$

% Total de pérdida

$$= \% \text{ Total de pérdida (Grueso)} + \% \text{ Total de pérdida (Fino)}$$

$$\% \text{ Total de pérdida} = 1,61 + 2,31$$

$$\% \text{ Total de pérdida} = 3,92\%$$

3.4.5 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos AASHTO T-85 (ASTM C-127)

El peso específico y la absorción de los agregados son propiedades importantes que se requieren para el diseño de concreto y de mezclas bituminosas. La densidad relativa de un sólido es la razón de su masa a la de un volumen igual de agua destilada a una temperatura específica.

Para este ensayo se realizó la medición del peso específico tanto para la grava 3/4" como para la gravilla 3/8".

Figura N° 12. Lavando e introduciendo agregado grueso para medir pesos.



Tabla N° 26. Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso.

Descripción	Unidad	Grava 3/4"	Gravilla 3/8"
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca (a)	gr.	3569	3842
Peso Material Seco (b)	gr.	3520	3792
Peso Muestra + Cesto suspendido en Agua	gr.	2212	2388
Peso del Cesto suspendido en Agua	gr.	0	0
Peso Muestra suspendida Agua (c)	gr.	2212	2388

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo para la grava 3/4”

$$\text{Peso Específico del agregado seco} = \frac{b}{a - c}$$

$$\text{Peso Específico del agregado seco} = \frac{3520}{3569 - 2212}$$

$$\text{Peso Específico del agregado seco} = 2,594 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$\text{P. E. A. Saturado de Superficie Seca} = \frac{a}{a - c}$$

$$\text{P. E. A. Saturado de Superficie Seca} = \frac{3569}{3569 - 2212}$$

$$\text{P. E. A. Saturado de Superficie Seca} = 2,630 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{b}{b - c}$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{3520}{3520 - 2212}$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = 2,691 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{a - b}{b} * 100\%$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{3569 - 3520}{3520} * 100\%$$

$$\% \text{ de Absorción} = 1,392\%$$

Tabla N° 27. Resultados del ensayo de peso específico para Grava 3/4”.

Descripción	Unidad	Grava 3/4”
Peso Específico del Agregado Seco	gr/cm3	2,594
P.E.A. Saturado de Superficie Seca	gr/cm3	2,630
Peso Específico Aparente	gr/cm3	2,691
% de Absorción	%	1,392

Fuente: Elaboración propia

Para la gravilla se sigue el mismo el procedimiento de cálculo que se hizo para la grava.

Tabla N° 28. Resultados del ensayo de peso específico para Gravilla 3/8”.

Descripción	Unidad	Grava 3/8”
Peso Específico del Agregado Seco	gr/cm3	2,608
P.E.A. Saturado de Superficie Seca	gr/cm3	2,642
Peso Específico Aparente	gr/cm3	2,701
% de Absorción	%	1,319

Fuente: Elaboración propia

3.4.6 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados finos AASHTO T-84 (ASTM C-128)

Mediante este ensayo podemos determinar el peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, este valor expresado en porcentaje en peso. Se define como peso específico aparente a la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente.

Figura N° 13. Verificando la humedad de la muestra para empezar el ensayo.



Tabla N° 29. Datos obtenidos del ensayo peso específico para agregado fino.

Descripción	Arena Ensayo 1	Arena Ensayo 2
Peso Frasco Seco Vacío	160,0 gr.	161,7 gr.
Peso Frasco + Muestra	347,8 gr.	347,5 gr.
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca (x)	300,0 gr.	298,3 gr.
Peso Muestra Seca (a)	294,0 gr.	292,8 gr.
Peso Agua (w)	527,4 gr.	532,0 gr.
Peso Muestra + Agua (b)	715,2 gr.	717,8 gr.

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de peso específico agregado fino.

$$\text{Peso Específico Seco} = \frac{a}{(x + w) - b}$$

$$\text{Peso Específico Seco} = \frac{294,0}{(300,0 + 527,4) - 715,2}$$

$$\text{Peso Específico Seco} = 2,62 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$\text{P. E. A. Saturado Superficial Seco} = \frac{x}{(x + w) - b}$$

$$\text{P. E. A. Saturado Superficial Seco} = \frac{300,0}{(300,0 + 527,4) - 715,2}$$

$$\text{P. E. A. Saturado Superficial Seco} = 2,674 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{a}{(a + w) - b}$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{294,0}{(294,0 + 527,4) - 715,2}$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = 2,768 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{a}{(a + w) - b}$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{x - a}{a} * 100\%$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{300,0 - 294,0}{294,0} * 100\%$$

$$\% \text{ de Absorción} = 2,041\%$$

Para el Ensayo 2 se realizará el mismo procedimiento.

Tabla N° 30. Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino.

Descripción	Arena Ensayo 1	Arena Ensayo 2
Peso Específico del Agregado Seco	2,620 gr/cm ³	2,603 gr/cm ³
P. E. A. Saturado Sup. Seco	2,674 gr/cm ³	2,652 gr/cm ³
Peso Específico Aparente	2,768 gr/cm ³	2,736 gr/cm ³
% de Absorción	2,041 %	1,878 %

Fuente: Elaboración propia

3.4.7 Ensayo de peso unitario agregados AASHTO T-19 (ASTM C-29)

El peso unitario de unos áridos dados puede determinarse sobre volumen suelto o sobre volumen compactado. Para ello se emplea un recipiente cilíndrico de volumen conocido. Los volúmenes empleados son normalmente 0,1-0,5-1 ,00 pies³ (2,83-14,16-28,31 litros), según el tamaño de los áridos ensayados. Para medir el peso unitario con áridos sueltos se llena el recipiente por un procedimiento normalizado y se determina el peso de los áridos contenidos en el recipiente lleno. Para medir el peso compactado se llena el recipiente en tres capas aproximadamente iguales, aplicando a cada capa determinados procedimientos de agitación o apisonado según el tamaño de los áridos empleados en el ensayo. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T19 y ASTM C29.

Figura N° 14. Realizando el ensayo de peso unitario del agregado 3/8”.



Tabla N° 31. Datos del ensayo de peso unitario de la arena.

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso Unitario Suelto	Peso Muestra + Recipiente	gr.	4835	4900	4888
	Peso del Recipiente	gr.	0	0	0
	Peso del Agregado Seco	gr.	4835	4900	4888
	Volumen Recipiente	cm ³	2935	2935	2935
Peso Unitario Compactado	Peso Muestra + Recipiente	gr.	4835	4900	4888
	Peso del Recipiente	gr.	0	0	0
	Peso del Agregado Seco	gr.	4835	4900	4888
	Volumen Recipiente	cm ³	2935	2935	2935

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de peso unitario

$$\text{Peso Unitario} = \frac{\text{peso del agregado seco}}{\text{volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso Unitario} = \frac{4835,0}{2935,0}$$

$$\text{Peso Unitario} = 1,647 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

Tabla N° 32. Resultados del ensayo de peso unitario de la arena.

Número de Ensayo	Unidad	1	2	3
Peso Unitario Suelto	gr/cm ³	1,647	1,670	1,665
Promedio	gr/cm ³	1,661		
Peso Unitario Compactado	gr/cm ³	1,806	1,798	1,813
Promedio	gr/cm ³	1,806		
Peso Unitario de la Arena	gr/cm ³	1,733		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 33. Datos del peso unitario de la Gravilla 3/8”.

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso Unitario Suelto	Peso Muestra + Recipiente	gr.	13555	13510	13588
	Peso del Recipiente	gr.	0	0	0
	Peso del Agregado Seco	gr.	13555	13510	13588
	Volumen Recipiente	cm ³	9880	9880	9880
Peso Unitario Compactado	Peso Muestra + Recipiente	gr.	14688	14720	14710
	Peso del Recipiente	gr.	0	0	0
	Peso del Agregado Seco	gr.	14688	14720	14710
	Volumen Recipiente	cm ³	9880	9880	9880

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 34. Resultados del ensayo de la Gravilla 3/8”.

Número de Ensayo	Unidad	1	2	3
Peso Unitario Suelto	gr/cm ³	1,372	1,367	1,375
Promedio	gr/cm ³	1,371		
Peso Unitario Compactado	gr/cm ³	1,487	1,490	1,489
Promedio	gr/cm ³	1,488		
Peso Unitario de la Gravilla 3/8”	gr/cm ³	1,430		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 35. Datos del peso unitario de la grava 3/4".

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso Unitario Suelto	Peso Muestra + Recipiente	gr.	13715	13625	13566
	Peso del Recipiente	gr.	0	0	0
	Peso del Agregado Seco	gr.	13715	13625	13566
	Volumen Recipiente	cm ³	9880	9880	9880
Peso Unitario Compactado	Peso Muestra + Recipiente	gr.	14688	14725	14730
	Peso del Recipiente	gr.	0	0	0
	Peso del Agregado Seco	gr.	14688	14725	14730
	Volumen Recipiente	cm ³	9880	9880	9880

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 36. Resultados del ensayo de la Grava 3/4".

Número de Ensayo	Unidad	1	2	3
Peso Unitario Suelto	gr/cm ³	1,388	1,379	1,373
Promedio	gr/cm ³	1,380		
Peso Unitario Compactado	gr/cm ³	1,487	1,490	1,491
Promedio	gr/cm ³	1,489		
Peso Unitario de la Grava 3/4"	gr/cm ³	1,435		

Fuente: Elaboración propia

3.4.8 Ensayo de equivalente de arena AASHTO T-176 (ASTM D-2419)

Este ensayo, desarrollado por el Departamento de Carreteras de California, indica la proporción relativa de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en los áridos empleados en las mezclas asfálticas para pavimentación y en los suelos empleados en capas de base. El ensayo se aplica a la fracción que pasa por el tamiz número 4.

Se coloca una muestra del material en estudio en un cilindro graduado transparente que contiene una solución de cloruro cálcico, glicerina y formaldehído en agua. La muestra y la solución se agitan vigorosamente de una forma normalizada. Se emplea la misma solución para impulsar el material arcilloso hacia arriba, haciéndolo salir de la muestra

a medida que se llena el cilindro, introduciéndola a presión en el fondo mediante un tubo delgado. Después de un período de sedimentación de 20 minutos se lee en la graduación del recipiente la altura máxima de la suspensión de arcilla.

A continuación se introduce en el cilindro un disco pesado de metal que se hace bajar hasta que descansa sobre la parte superior de la arena limpia y se lee la altura de la superficie inferior del disco. Se llama equivalente de arena a la relación de la lectura correspondiente a la superficie superior de la arena a la correspondiente a la capa superior de la arcilla multiplicada por 100. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en el método AASTHO T-176.

Figura N° 15. Midiendo las alturas del ensayo.



Tabla N° 37. Datos del ensayo Equivalente de Arena.

Descripción	Ensayo	
	1	2
Lectura nivel superior	5,3	5,4
Lectura nivel inferior	3,5	3,6

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ de Arena} = \frac{\text{Lectura nivel inferior}}{\text{Lectura nivel superior}} * 100\%$$

$$\% \text{ de Arena} = \frac{3,5}{5,3} * 100\%$$

$$\% \text{ de Arena} = 66,04 \%$$

Tabla N° 38. Resultados del Ensayo Equivalente de Arena.

Descripción	Ensayo	
	1	2
% de Arena	66,04 %	66,67 %
Promedio	66,40 %	

Fuente: Elaboración propia

3.4.9 Ensayo de porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821)

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

Figura N° 16. Partículas laminadas y caras fracturadas.



Tabla N° 39. Datos de ensayo de caras fracturadas.

Descripción		Unidad	Lecturas
Grava 3/4"	Peso Total de Muestra	gr.	1000
	Peso de Caras Fracturadas Retenidas	gr.	822
Gravilla 3/8"	Peso Total de Muestra	gr.	1000
	Peso de Caras Fracturadas Retenidas	gr.	777
Número de ensayos			1

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

Peso Caras No Fracturadas

$$= \text{Peso Total de Muestra} - \text{Peso de Caras Fracturadas}$$

$$\text{Peso Caras No Fracturadas} = 1000 - 822$$

$$\text{Peso Caras No Fracturadas} = 178 \text{ [gr.]}$$

$$\text{Porcentaje de Caras fracturadas} = \frac{\text{Peso de Caras Fracturadas}}{\text{Peso Total de Muestra}} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de Caras fracturadas} = \frac{822}{1000} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de Caras Fracturadas} = 82,20\%$$

Tabla N° 40. Resultados del ensayo de caras fracturadas.

Descripción		Unidad	Lecturas
Grava 3/4"	Peso de Caras No Fracturadas	gr.	178,0
	Porcentaje de Caras Fracturadas	%	82,20
Gravilla 3/8"	Peso de Caras No Fracturadas	gr.	223,0
	Porcentaje de Caras Fracturadas	%	77,70

Fuente: Elaboración propia

3.4.10 Ensayo de determinación de partículas largas y achatadas (D-4791)

Este método describe el procedimiento que debe seguirse, para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los agregados que se va a utilizar. Se define como índice de aplanamiento de una fracción del agregado, al porcentaje en

peso de las partículas que la forman cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción.

También se define como índice de alargamiento de una fracción del agregado, al porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión máxima (longitud) es superior a 9/5 de la dimensión media de la fracción.

Este método no es aplicable para fracciones de agregado inferior a 1/4" (6,3 mm).

Tabla N° 41. Datos del ensayo Índice Laminaridad.

Material	Peso Total de la Muestra	Peso Retenido de Partículas Laminares
3/4"	1000 gr.	35,5 gr.
3/8"	1000 gr.	65,5 gr.

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo del ensayo de índice de laminaridad.

% Total de Partículas Laminares

$$= \frac{\text{Peso Retenido Partículas Laminares}}{\text{Peso Total de la Muestra}} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de Partículas Laminares} = \frac{35,5}{1000} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de Partículas Laminares} = 3,50 \%$$

Tabla N° 42. Resultados del ensayo Índice Laminaridad.

Material	% Total de Partículas Laminares
3/4"	3,50 %
3/8"	6,55 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 43. Datos del ensayo Chatas y Alargadas.

Material	Peso Total de la Muestra	Peso Retenido de Partículas Chatas y Alargadas
3/4"	1000 gr.	42,2 gr.
3/8"	1000 gr.	23,5 gr.

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo del ensayo de índice de laminaridad.

% Total de Partículas Chatas y Alargadas

$$= \frac{\text{Peso Retenido Partículas Chatas y Alargadas}}{\text{Peso Total de la Muestra}} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de Partículas Chatas y Alargadas} = \frac{42,2}{1000} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de Partículas Chatas y Alargadas} = 4,20 \%$$

Tabla N° 44. Resultados del ensayo Chatas y Alargadas.

Material	% Total de Partículas Laminares
3/4"	4,20 %
3/8"	2,35 %

Fuente: Elaboración propia

3.4.11 Ensayo de determinación de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad AASHTO T-89 Y T-90 (ASTM D-4318)

Se define como límite líquido, a la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Dentro del trabajo se tomó en cuenta para realizar este ensayo muestra de arena que pasa del tamiz N°40 (0,43 mm.)

Se define como límite plástico, a la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semi-sólido. Para esta prueba se considera a la muestra como no plástica, por lo tanto no se realizó este ensayo.

Tabla N° 45. Datos y Resultados del ensayo Límites de Plasticidad.

Peso Suelo Húm.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de Húm.	N° de Golpe
42,55 gr.	38,85 gr.	3,70 gr.	15,22 gr.	23,63 gr.	15,66%	6
Número de Ensayos			1			

Fuente: Elaboración propia

3.4.12 Cemento asfáltico

Para caracterizar y evaluar el comportamiento del cemento asfáltico, es necesario realizar los diversos ensayos, para conocer el comportamiento a escala real, en este capítulo realizaremos una breve descripción de los diversos ensayos sobre el cemento asfáltico.

3.4.13 Ensayo de Penetración AASHTO T-49 (ASTM D-5)

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25 °C, que la aguja está cargada con 100 g y que la carga se aplica durante 5 s.

La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima de milímetro. Es evidente que cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración.

Los betunes asfálticos se clasifican en grados según su dureza o consistencia por medio de la penetración. El Instituto del Asfalto ha adoptado cuatro grados de betún asfáltico para pavimentación con penetraciones comprendidas dentro de los márgenes siguientes: 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300.

Además, el Instituto tiene especificaciones para un betún asfáltico de penetración comprendida en el margen 40-50, que se usa en aplicaciones especiales e industriales. Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el Método AASHTO T49 y en el ASTM D5.

Figura N° 17. Midiendo la penetración del cemento asfáltico.



Tabla N° 46. Datos del ensayo penetración del cemento asfáltico 85-100.

Descripción		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 1
Penetración a 25°C, 100g. 5seg.(0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	mm.	90	96
	Lectura N°2	mm.	93	90
	Lectura N°3	mm.	89	92
Número de Ensayos		2		

Fuente: Elaboración propia

Resultado.- Se tiene como resultado una penetración de 91,67 mm. a 25°C, 100g. 5seg.

Teniendo en cuenta la modificación del cemento asfáltico con la adición del aditivo antioxidante en sus diferentes porcentajes se tiene los siguientes datos y resultados de los ensayos de penetración para cada porcentaje de adición.

Figura N° 18. Adición del aditivo al cemento asfáltico.



Tabla N° 47. Datos del ensayo de penetración del cemento asfáltico variando los porcentajes de adición.

% de Adición	Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
2%	Lectura N°1	mm.	88	84
	Lectura N°2	mm.	86	90
	Lectura N°3	mm.	86	87
	Resultado	mm.	86,8	
5%	Lectura N°1	mm.	85	83
	Lectura N°2	mm.	84	84
	Lectura N°3	mm.	86	84
	Resultado	mm.	84,3	
10%	Lectura N°1	mm.	82	79
	Lectura N°2	mm.	83	79
	Lectura N°3	mm.	80	80
	Resultado	mm.	80,5	
15%	Lectura N°1	mm.	75	77
	Lectura N°2	mm.	76	77
	Lectura N°3	mm.	76	77
	Resultado	mm.	76,2	

20%	Lectura N°1	mm.	69	70
	Lectura N°2	mm.	68	71
	Lectura N°3	mm.	67	68
	Resultado	mm.	68,8	
25%	Lectura N°1	mm.	64	66
	Lectura N°2	mm.	64	63
	Lectura N°3	mm.	65	65
	Resultado	mm.	64,5	

Fuente: Elaboración propia

3.4.14 Ensayo de Viscosidad Saybolt-Furol AASHTO T-72 (ASTM D-445)

La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas a las que se emplean durante su aplicación. La viscosidad o consistencia del betún asfáltico se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol o en el ensayo de viscosidad cinemática.

En el ensayo Saybolt-Furol se emplea un viscosímetro Saybolt con un orificio Furol. Se coloca en un tubo normalizado cerrado con un tapón de corcho una cantidad especificada de betún asfáltico. Como las temperaturas a que se determina la viscosidad de los betunes asfálticos son frecuentemente superiores a los 100 °C, el baño de temperatura constante del viscosímetro se llena con algún tipo de aceite. Cuando el asfalto ha alcanzado una temperatura establecida, se quita el tapón y se mide el tiempo necesario en segundos para que pasen a través del orificio Furol 60 ml del material. Cuando más viscosos son los materiales más tiempo es necesario para que pasen a través del orificio. Los valores obtenidos se expresan como segundos Saybolt-Furol (SSF). Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método ASTM E102.

La viscosidad cinemática del betún asfáltico se mide normalmente con viscosímetros de tubo capilar de cristal como el descrito en el método ASTM D445. Como consecuencia de la comodidad del ensayo y de la mayor exactitud de los resultados, hay una reciente tendencia a medir la viscosidad cinemática de los betunes asfálticos y de los asfaltos fluidificados.

Para este ensayo son necesarios, como consecuencia de la amplia gama de viscosidades de los asfaltos, varios viscosímetros calibrados que difieren entre sí en el tamaño del tubo capilar. La base de este ensayo es la medida del tiempo necesario para que fluyan un volumen constante de material bajo condiciones de ensayo, como temperatura y altura de líquido, rígidamente controladas.

Mediante el tiempo medido, en segundos, y la constante de calibración del viscosímetro, es posible calcular la viscosidad cinemática del material en la unidad fundamental, centistokes. El procedimiento de ensayo, los aparatos necesarios y el procedimiento de calibración del viscosímetro se describen en el método ASTM D445.

Figura N° 19. Vertiendo cemento asfáltico para medir su viscosidad.



Tabla N° 48. Datos del ensayo de Viscosidad Saybolt-Furol.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Viscosidad Saybolt 135 °C	seg.	139,0	142,0
Número de Ensayos		2	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos obtenidos se realiza un promedio para tener un valor representativo de los ensayos.

Resultado.- 140,5 segundos.

3.4.15 Ensayo Punto de inflamación AASHTO T-48 (ASTM D-92)

El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

El punto de inflamación de un betún asfáltico se mide por el ensayo del vaso abierto Cleveland según condiciones normalizadas prescritas en los métodos AASHTO T48 y ASTM D92. Un vaso abierto de latón se llena parcialmente con betún asfáltico y se calienta a una velocidad establecida. Se hace pasar periódicamente sobre la superficie de la muestra una pequeña llama, y se define como punto de llama la temperatura a la que se han desprendido vapores suficientes para producir una llamarada repentina.

Figura N° 20. Midiendo la temperatura del asfalto.



Tabla N° 49. Datos del ensayo punto de inflamación.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>279	>277
Número de ensayos		2	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos obtenidos se procederá a realizar un promedio de ambas lecturas para tener un valor representativo del ensayo.

Resultado.- 278 °C

3.4.16 Ensayo Peso específico del asfalto AASHTO T-43 (ASTM D-70)

Aunque normalmente no se especifica, es deseable conocer el peso específico del betún asfáltico que se emplea. Este conocimiento es útil para hacer las correcciones de volumen cuando éste se mide a temperaturas elevadas. Se emplea como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas.

Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada. El peso específico del betún asfáltico se determina normalmente por el método del pignómetro, descrito en los métodos AASHTO T43 y ASTM D70.

Tabla N° 50. Datos del ensayo peso específico.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Peso Picnómetro (a)	gr.	61,99	61,99
Peso Picnómetro + Agua (25°C) (b)	gr.	142,78	142,78
Peso Picnómetro + Muestra (c)	gr.	108,56	102,33
Peso Picnómetro + Agua + Muestra (d)	gr.	143,38	143,22
Peso Específico del Agua a 25 °C (e)	gr/cm ³	0,997077	
Número de Ensayos		2	

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\text{Peso Específico Cemento Asfáltico} = \frac{c}{b + c - a + d} * e$$

Peso Específico Cemento Asfáltico

$$= \frac{108,56}{142,78 + 108,56 - 61,99 + 143,38} * 0,997077$$

$$\text{Peso Específico Cemento Asfáltico} = 1,010 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

Tabla N° 51. Resultados del ensayo peso específico.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Peso Específico de Cemento Asfáltico	gr/cm ³	1,010	1,008
Promedio	gr/cm ³	1,009	

Fuente: Elaboración propia

Lo mismo que en el caso de la penetración se realizó el ensayo para cada porcentaje de adición del cemento asfáltico modificado.

Figura N° 21. Picnómetro con asfalto.



Tabla N° 52. Datos del ensayo peso específico con adición de porcentajes.

% de Adición	Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
2%	Peso Picnómetro	gr.	61,99	61,99
	Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr.	142,78	142,78
	Peso Picnómetro + Muestra	gr.	108,56	102,33
	Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr.	143,38	143,22
	Peso Específico del Agua a 25 °C	gr/cm ³	0,997077	
	Peso Específico C.A.	gr/cm ³	1,017	1,019
	Promedio	gr/cm³	1,018	

5%	Peso Picnómetro	gr.	61,99	61,99
	Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr.	142,78	142,78
	Peso Picnómetro + Muestra	gr.	108,56	102,33
	Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr.	143,38	143,22
	Peso Específico del Agua a 25 °C	gr/cm ³	0,997077	
	Peso Específico C.A.	gr/cm ³	1,026	1,024
	Promedio	gr/cm³	1,025	
10%	Peso Picnómetro	gr.	61,99	61,99
	Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr.	142,78	142,78
	Peso Picnómetro + Muestra	gr.	108,56	102,33
	Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr.	143,38	143,22
	Peso Específico del Agua a 25 °C	gr/cm ³	0,997077	
	Peso Específico C.A.	gr/cm ³	1,034	1,039
	Promedio	gr/cm³	1,036	
15%	Peso Picnómetro	gr.	61,99	61,99
	Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr.	142,78	142,78
	Peso Picnómetro + Muestra	gr.	108,56	102,33
	Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr.	143,38	143,22
	Peso Específico del Agua a 25 °C	gr/cm ³	0,997077	
	Peso Específico C.A.	gr/cm ³	1,047	1,048
	Promedio	gr/cm³	1,048	
20%	Peso Picnómetro	gr.	61,99	61,99
	Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr.	142,78	142,78
	Peso Picnómetro + Muestra	gr.	108,56	102,33
	Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr.	143,38	143,22
	Peso Específico del Agua a 25 °C	gr/cm ³	0,997077	
	Peso Específico C.A.	gr/cm ³	1,077	1,073
	Promedio	gr/cm³	1,075	
25%	Peso Picnómetro	gr.	61,99	61,99
	Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr.	142,78	142,78
	Peso Picnómetro + Muestra	gr.	108,56	102,33
	Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr.	143,38	143,22
	Peso Específico del Agua a 25 °C	gr/cm ³	0,997077	
	Peso Específico C.A.	gr/cm ³	1,100	1,107
	Promedio	gr/cm³	1,104	

Fuente: Elaboración propia

3.4.17 Ensayo Punto de ablandamiento AASHTO T-53 (ASTM D-36)

Los asfaltos de diferentes tipos se ablandan a temperaturas diferentes. El punto de ablandamiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones para los asfaltos de pavimentación, se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos.

Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados.

A continuación se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama punto de ablandamiento del asfalto.

Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo se describen con detalle en los métodos AASHTO T53 y ASTM D36.

Tabla N° 53. Datos obtenidos del ensayo punto de ablandamiento.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de ablandamiento	°C	50,1	49,2
Promedio	°C	49,65	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos obtenidos se procederá a realizar un promedio de ambas lecturas para tener un valor representativo del ensayo.

Resultado.- 49,65 °C

Figura N° 22. Preparando los anillos para el ensayo.



4 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

4.1 RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

4.1.1 Agregados Pétreos

Se presenta los resultados obtenidos de la recolección de información, los mismos que son comparados con las especificaciones propuestas por la norma ASTM.

Tabla N° 54. Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados pétreos.

Ensayo	Agregados	Especificación		Resultado	ASTM
		Mín.	Máx.		
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	Grava 3/4"	-	40%	26,68%	C-131
	Gravilla 3/8"	-	40%	21,90%	
Durabilidad por el Método de los Sulfatos para determinar la desintegración	Grava; Gravilla	-	12%	1,61%	C-88
	Arena	-	12%	2,11%	
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	-	-	-	2,666 gr/cm ³	C-127
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	-	-	-	2,708 gr/cm ³	C-128
Peso unitario	Grava 3/4"	-	-	1,435 gr/cm ³	C-29
	Gravilla 3/8"	-	-	1,430 gr/cm ³	
	Arena	-	-	1,733 gr/cm ³	
Equivalente de Arena	-	45%	-	66,4%	D-2419

Porcentaje de Caras Fracturadas	Grava 3/4"	75%	-	82,2%	D-5821
	Gravilla 3/8"	75%	-	77,7%	
Determinación de partículas largas y achatadas	Grava 3/4"	-	10%	4,22%	D-4791
	Gravilla 3/8"	-	10%	2,35%	
Laminaridad	Grava 3/4"	-	15%	3,50%	
	Gravilla 3/8"	-	15%	6,55%	

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Cemento Asfáltico

Se presenta los resultados obtenidos de la recolección de información, los mismos que son comparados con las especificaciones propuestas por la norma ASTM.

Tabla N° 55. Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico.

Ensayo	Especificación		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Peso Específico	1	1,05	1,009 gr/cm ³	ASTM D-70
Punto de Ablandamiento	41,4	53,2	49,65 °C	ASTM D-36
Punto de Inflamación	232	-	278 °C	ASTM D-92
Penetración	85	100	91,67	ASTM D-5
Viscosidad Saybolt-Furol	85	-	140,5 seg.	ASTM D-102

Fuente: Elaboración propia

4.2 COMBINACIÓN DE AGREGADOS

A continuación se muestran los resúmenes de las granulometrías que se realizaron.

Tabla N° 56. Resumen de la Granulometría Grava 3/4”.

N° Ensayo	% Que Pasa Por Tamiz									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
1	100	94,2	4,0	1,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1
2	100	94,2	5,2	2,6	1,3	0,9	0,7	0,4	0,3	0,1
3	100	93,2	6,0	0,8	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1
RESUMEN ESTADISTICO										
N° de Ensayo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor Máximo	100	94,2	6,0	2,6	1,3	0,9	0,7	0,4	0,3	0,1
Valor Mínimo	100	93,2	4,0	0,8	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1
Valor Promedio	100	93,9	5,1	1,6	0,8	0,6	0,4	0,2	0,2	0,1
Desviación Estándar	0,0	0,58	0,98	0,95	0,43	0,33	0,28	0,11	0,08	0,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 57. Resumen de la Granulometría Gravilla 3/8”.

N° Ensayo	% Que Pasa Por Tamiz									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
1	100	100	99,2	93,2	6,8	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
2	100	100	98,5	93,2	8,9	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2
3	100	100	97,0	94,5	7,5	1,0	0,5	0,4	0,4	0,1
RESUMEN ESTADISTICO										
N° de Ensayo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor Máximo	100	100	99,2	94,5	8,9	1,0	0,5	0,4	0,4	0,2
Valor Mínimo	100	100	97,0	93,2	6,8	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Valor Promedio	100	100	98,2	93,6	7,7	0,7	0,4	0,3	0,3	0,1
Desviación Estándar	0,0	0,0	1,12	0,75	1,07	0,28	0,05	0,07	0,09	0,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 58. Resumen de la Granulometría Arena.

N° Ensayo	% Que Pasa Por Tamiz									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
1	100	100	100	100	98,7	82,0	61,6	31,6	20,0	12,1
2	100	100	100	100	98,3	81,8	59,6	32,3	18,9	13,5
3	100	100	100	100	97,9	80,0	62,4	34,9	19,6	12,4
RESUMEN ESTADISTICO										
N° de Ensayo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor Máximo	100	100	100	100	98,7	82,0	62,4	34,9	20,0	13,5
Valor Mínimo	100	100	100	100	97,9	80,0	59,6	31,6	18,9	12,1
Valor Promedio	100	100	100	100	98,3	81,2	61,2	32,9	19,5	12,7
Desviación Estándar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	1,10	1,44	1,76	0,54	0,74

Fuente: Elaboración propia

En la presente investigación se realizará la mezcla de agregados provenientes de la planta chancadora de materiales pétreos Garzón, ubicada en San Mateo, para la cual se ha determinado que la faja granulométrica de mezcla convencional que realiza el Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), para la construcción de caminos en la ciudad de Tarija es la siguiente faja de trabajo.

Para el diseño de dicha faja se utilizó los materiales que se disponía, tanto para el agregado grueso como para el fino, con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 18% de agregado grueso de 3/4", 32% de grava de 3/8" y 50% de agregado fino para la granulometría de la mezcla.

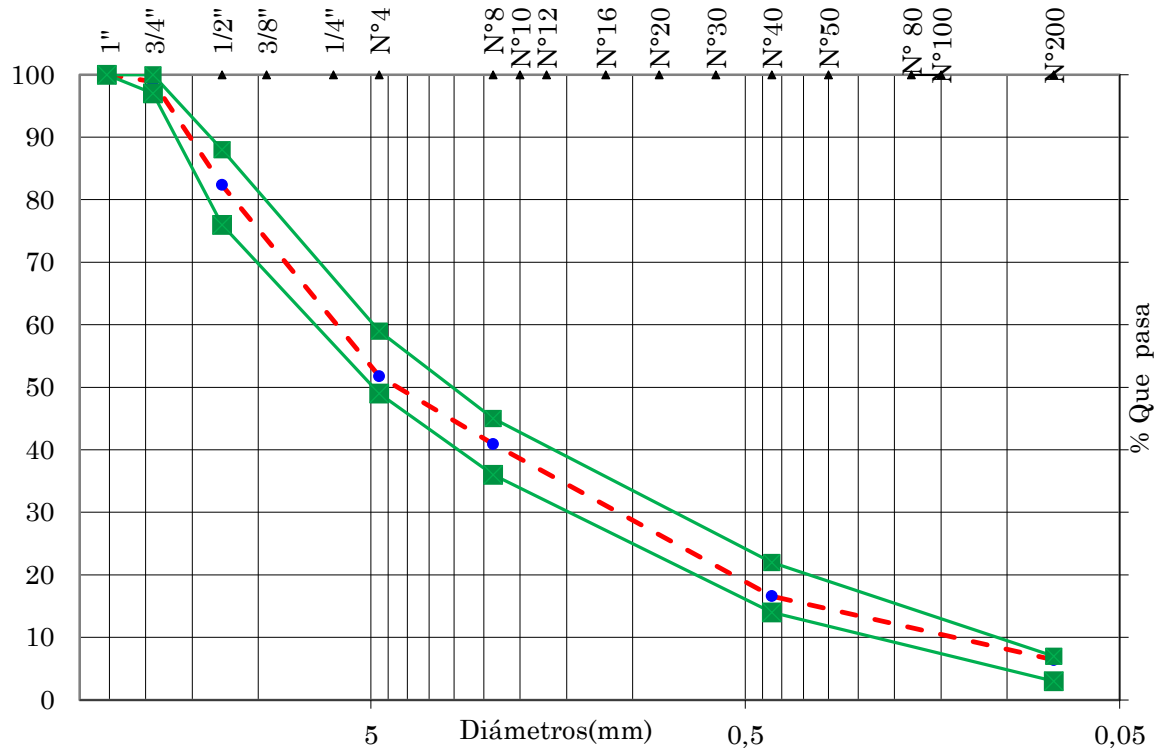
En la siguiente tabla se presenta los pesos del material retenidos en cada tamiz tanto para el agregado grueso y fino.

Tabla N° 59. Dosificación de Materiales Pétreos.

AGREGADO		Grava Garzón		Gravilla Garzón		Arena Garzón		% QUE PASA	FAJA		% TOLERANCIAS	FAJA	
% USADO		18%		32%		50%			CURVA DE TRABAJO			GRAD. MEDIA	
TAMICES		% TOTAL	% COMB.	% TOTAL	% COMB.	% TOTAL	% COMB.		INF.	SUP.		INF.	SUP.
PULG	mm.												
1"	25,4	100	18,0	100	32,0	100	50,0	100	100	100	0	100	100
3/4"	19,1	93,9	16,9	100	32,0	100	50,0	98,9	97	100	0	97	100
1/2"	12,5	5,1	0,9	98,2	31,4	100	50,0	82,3	77	87	5	76	88
3/8"	9,50	1,6	0,3	93,6	30,0	100	50,0	80,2					
#4	4,75	0,8	0,1	7,7	2,5	98,3	49,1	51,8	45	59	7	49	59
#8	2,36	0,6	0,1	0,7	0,2	81,2	40,6	40,9	36	46	5	36	45
#16	1,18	0,4	0,1	0,4	0,1	61,2	30,6	30,8					
#40	0,425	0,2	0,0	0,3	0,1	32,9	16,5	16,6	14	20	3	14	22
#80	0,18	0,2	0,0	0,3	0,1	19,5	9,7	9,9					
#200	0,075	0,1	0,0	0,1	0,0	12,7	6,3	6,4	4	8	2	3	7

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 23. Granulometría combinada y faja de trabajo.



4.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL 85-100

4.3.1 Diseño de la mezcla asfáltica por el método Marshall (ASTM D-159)

Para la determinación del contenido óptimo del cemento asfáltico se procede a realizar el diseño de 18 briquetas mediante el método Marshall, con porcentajes diferentes de cemento asfáltico para conocer el porcentaje óptimo a utilizar.

Determinación de la cantidad aproximada de asfalto.

$$\%A = 0,035 * a + 0,045 * b + K * c + F$$

Donde:

%A = % de asfalto en la mezcla.

a = % Retenido tamiz N°8.

b = % Pasante tamiz N°8.

$c =$ % de agregado que pasa la malla N°200.

$K = 0,15$, si él % que retiene el tamiz 3/4" está entre 11% y 15%.

0,18, si él % que retiene está entre 6% y 10%.

0,20, si él % que retiene es el 5% o menos.

$F =$ de 0 a 2% que varía según la absorción del material (se puede asumir 0,7).

Proceso de cálculo

$a = 59,1$ %

$b = 40,9$ %

$c = 6,4$ %

$K = 0,20$ debido a que el porcentaje retenido en el tamiz 3/4" es 1,1% lo cual es menor al 5%.

$F = 0,7$

$\%A = 0,035(59,1) + 0,045(40,9) + 0,2(5,2) + 0,7$

$\%A = 5,649$ %

El contenido aproximado de asfalto es 5,649%, debido a este resultado se trabajaran en las diferentes dosificaciones con los siguientes porcentajes: 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% y 7,0%.

4.3.1.1 Primera Dosificación con 4,5% de contenido de asfalto.

Tabla N° 60. Dosificación con cemento asfáltico de 4,5%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. en Tamiz	4,50%	
				Peso Parcial	Peso Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,9	1,1	1,1	12,7	12,7
1/2"	82,3	17,7	16,5	189,6	202,3
3/8"	80,2	19,8	2,1	24,1	226,4
N°4	51,8	48,2	28,5	326,3	552,8
N°10	40,9	59,1	10,8	124,1	676,9
N°16	30,8	69,2	10,1	116,3	793,1
N°40	16,6	83,4	14,2	162,5	955,7
N°80	9,9	90,1	6,8	77,4	1033,1
N°200	6,4	93,6	3,5	39,6	1072,7
Filler	0	100,0	6,4	73,3	1146,0
Peso Total=				1146,0	
Números de briquetas a realizar =				3	

Fuente: Elaboración propia

Peso Muestra=	1146,0 gr.
Peso Asfalto (4,5%) =	54,0 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

4.3.1.2 Primera Dosificación con 5,0% de contenido de asfalto.

Tabla N° 61. Dosificación con cemento asfáltico de 5,0%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. en Tamiz	5,0%	
				Peso Parcial	Peso Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,9	1,1	1,1	12,6	12,6
1/2"	82,3	17,7	16,5	188,6	201,2
3/8"	80,2	19,8	2,1	24,0	225,2
N°4	51,8	48,2	28,5	324,6	549,9
N°10	40,9	59,1	10,8	123,5	673,3
N°16	30,8	69,2	10,1	115,7	789,0
N°40	16,6	83,4	14,2	161,7	950,7
N°80	9,9	90,1	6,8	77,0	1027,7
N°200	6,4	93,6	3,5	39,4	1067,1
Filler	0	100,0	6,4	72,9	1140,0
Peso Total=				1140,0	
Números de briquetas a realizar =				3	

Fuente: Elaboración propia

Peso Muestra=	1140,0 gr.
Peso Asfalto (5,0%) =	60,0 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

4.3.1.3 Primera Dosificación con 5,5% de contenido de asfalto.

Tabla N° 62. Dosificación con cemento asfáltico de 5,5%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. en Tamiz	5,5%	
				Peso Parcial	Peso Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,9	1,1	1,1	12,5	12,5
1/2"	82,3	17,7	16,5	187,6	200,2
3/8"	80,2	19,8	2,1	23,9	224,1
N°4	51,8	48,2	28,5	322,9	547,0
N°10	40,9	59,1	10,8	122,8	669,8
N°16	30,8	69,2	10,1	115,0	784,8
N°40	16,6	83,4	14,2	160,8	945,7
N°80	9,9	90,1	6,8	76,6	1022,3
N°200	6,4	93,6	3,5	39,2	1061,5
Filler	0	100,0	6,4	72,5	1134,0
Peso Total=				1134,0	
Números de briquetas a realizar =				3	

Fuente: Elaboración propia

Peso Muestra=	1134,0 gr.
Peso Asfalto (5,5%) =	66,0 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

4.3.1.4 Primera Dosificación con 6,0% de contenido de asfalto.

Tabla N° 63. Dosificación con cemento asfáltico de 6,0%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. en Tamiz	6,0%	
				Peso Parcial	Peso Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,9	1,1	1,1	12,5	12,5
1/2"	82,3	17,7	16,5	186,6	199,1
3/8"	80,2	19,8	2,1	23,8	222,9
N°4	51,8	48,2	28,5	321,2	544,1
N°10	40,9	59,1	10,8	122,2	666,2
N°16	30,8	69,2	10,1	114,4	780,7
N°40	16,6	83,4	14,2	160,0	940,7
N°80	9,9	90,1	6,8	76,2	1016,9
N°200	6,4	93,6	3,5	39,0	1055,9
Filler	0	100,0	6,4	72,1	1128,0
Peso Total=				1128,0	
Números de briquetas a realizar =				3	

Fuente: Elaboración propia

Peso Muestra=	1128,0 gr.
Peso Asfalto (6,0%) =	72,0 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

4.3.1.5 Primera Dosificación con 6,5% de contenido de asfalto.

Tabla N° 64. Dosificación con cemento asfáltico de 6,5%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. en Tamiz	6,5%	
				Peso Parcial	Peso Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,9	1,1	1,1	12,4	12,4
1/2"	82,3	17,7	16,5	185,6	198,0
3/8"	80,2	19,8	2,1	23,6	221,7
N°4	51,8	48,2	28,5	319,5	541,2
N°10	40,9	59,1	10,8	121,5	662,7
N°16	30,8	69,2	10,1	113,8	776,5
N°40	16,6	83,4	14,2	159,1	935,7
N°80	9,9	90,1	6,8	75,8	1011,4
N°200	6,4	93,6	3,5	38,8	1050,3
Filler	0	100,0	6,4	71,7	1122,0
Peso Total=				1122,0	
Números de briquetas a realizar =				3	

Fuente: Elaboración propia

Peso Muestra=	1122,0 gr.
Peso Asfalto (6,5%) =	78,0 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

4.3.1.6 Primera Dosificación con 7,0% de contenido de asfalto.

Tabla N° 65. Dosificación con cemento asfáltico de 7,0%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. en Tamiz	7,0%	
				Peso Parcial	Peso Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,9	1,1	1,1	12,3	12,3
1/2"	82,3	17,7	16,5	184,7	197,0
3/8"	80,2	19,8	2,1	23,5	220,5
N°4	51,8	48,2	28,5	317,8	538,3
N°10	40,9	59,1	10,8	120,9	659,1
N°16	30,8	69,2	10,1	113,2	772,4
N°40	16,6	83,4	14,2	158,3	930,6
N°80	9,9	90,1	6,8	75,4	1006,0
N°200	6,4	93,6	3,5	38,6	1044,6
Filler	0	100,0	6,4	71,4	1116,0
Peso Total=				1116,0	
Números de briquetas a realizar =				3	

Fuente: Elaboración propia

Peso Muestra=	1116,0 gr.
Peso Asfalto (7,0%) =	84,0 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

4.3.2 Ensayo de viscosidad vs temperatura para la elaboración de mezclas asfálticas convencionales.

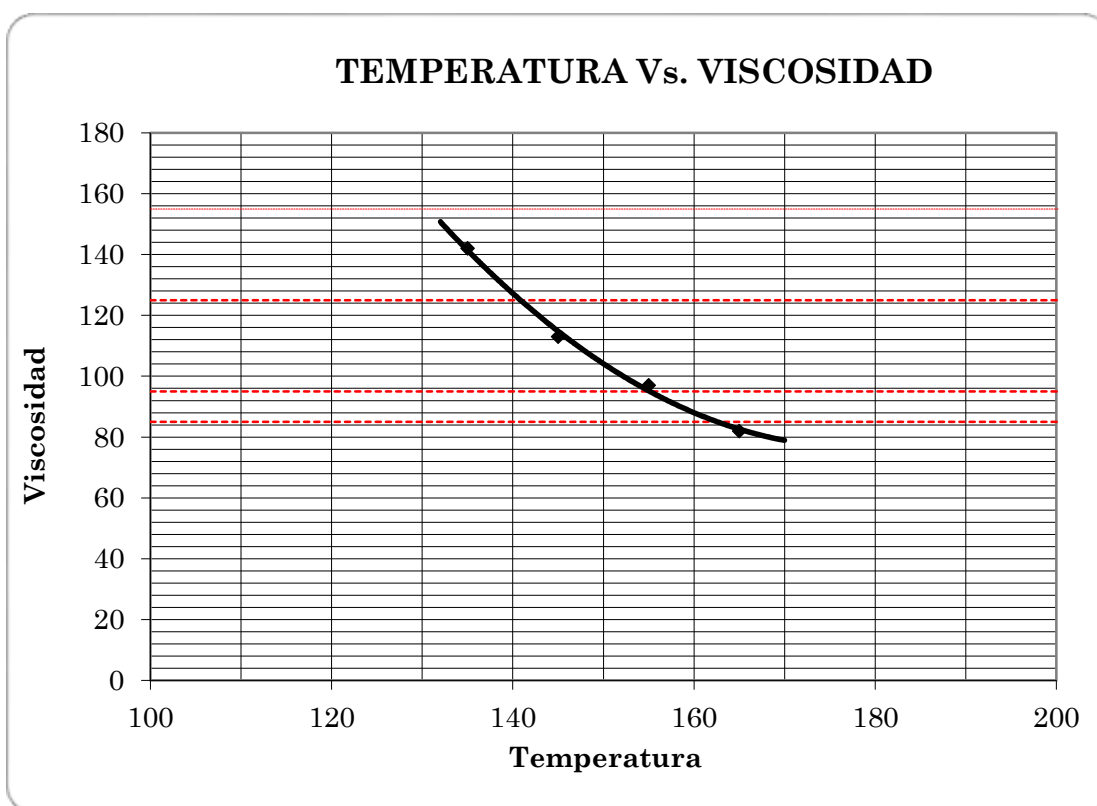
Este ensayo consiste en variar las temperaturas del cemento asfáltico para poder conocer la temperatura de aplicación y compactación de las briquetas que se realizará.

Tabla N° 66. Variaciones de temperatura y viscosidad.

Punto	Temperatura °C	Viscosidad (seg)
1	135	142
2	145	113
3	155	97
4	165	82

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 24. Gráfica del ensayo de viscosidad vs temperatura.



De acuerdo a la tabla de datos obtenidos de las diferentes variaciones de temperatura y viscosidad se procede a elaborar una gráfica de los puntos, para poder determinar una curva para aproximar las temperaturas de aplicación y compactación.

a) Aplicación.- Específica: Viscosidad 85-95 Saybolt-Furol.

Temperatura 153 y 157 °C

b) Compactado.- Específica: Viscosidad 125-155 Saybolt-Furol.

Temperatura 133 y 141 °C

En el ensayo de viscosidad - temperatura del cemento asfáltico podemos observar la temperatura óptima de aplicación donde se podrá mezclar los agregados y el cemento asfáltico y también se observa la temperatura óptima de compactado con el martillo a 75 golpes para tráfico pesado.

4.4 DESARROLLO DE LA ELABORACIÓN DE LAS BRIQUETAS

Equipo:

- Martillo de compactación.
- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de probetas.
- Balanza $A \pm 0.1$ gr.
- Bandejas metálicas.
- Placa de calentamiento.
- Termómetro
- Espátula.
- Medidor de la estabilidad.
- Mezcla de agregados propios de la región.
- Asfalto 85-100

Procedimiento

Antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpian y calientan a una temperatura entre 100 y 150°C. Por un lado se pesan en bandeja separadas las diversas fracciones de áridos calculado para un grupo de briquetas, luego cada bandeja es colocada en la placa de calentamiento para calentar su contenido a una temperatura de 175 a 190 °C. Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 a 140°C.

Durante su calentamiento el agregado y sobre todo el asfalto deben agitarse para evitar sobrecalentamientos locales.

Se pesan luego sobre un plato las diversas fracciones de áridos de acuerdo con los pesos acumulativos. Se mezclan perfectamente los agregados y se forma un cráter en la mezcla, se coloca la bandeja sobre la balanza y se vierte sobre los agregados el asfalto caliente, hasta completar el peso total de agregados más asfalto calculado para un porcentaje de la mezcla total.

Figura N° 25. Pesando la muestra de agregados y cemento asfáltico.



Se mezcla el asfalto con los agregados, hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 107°C ni en ningún caso someterse a recalentamiento.

Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4" de diámetro interior y 3" de altura. La compactación se hace usando un martillo especial compuesto de:

Un disco circular de 3 7/8" de diámetro que se fija sobre la superficie de la mezcla a compactarse; un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza a lo largo de una guía y cae sobre el disco, el peso del martillo es de 10 libras y la altura de caída libre es de 18".

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briqueta en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 15 briquetas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.

4.5 DESARROLLO DEL ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA

Una vez extraído las briquetas de los moldes se proceden a realizar el ensayo de flujo y estabilidad en la prensa.

Figura N° 26. Desmontando el molde de la briqueta.



Primero se debe medir con un vernier las alturas en cuatro puntos de la briqueta y de esta manera determinar su altura media que será corregida mediante un factor de corrección.

Antes de realizar el ensayo las muestras deben ser se sumergidas en baño de agua a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140 \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos.

Figura N° 27. Peso al aire de la briqueta.



Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas. La temperatura de las mismas se debe mantener entre $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ (70 a $100\text{ }^{\circ}\text{F}$). Si es inferior, deberán calentarse en baño de agua hasta alcanzar la temperatura indicada. Se lubrican las varillas de guía con una película delgada de aceite de tal forma que la mordaza superior deslice fácilmente sin pegarse. Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que el indicador del dial del anillo de carga se encuentre en la posición correspondiente a cero.

Se coloca la briqueta en las mordazas y aplica la carga, a una velocidad de deformación constante de $50.8\text{ mm por minuto}$ ($2'' / \text{minuto}$) hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias

para producir la rotura de la muestra a 60 °C (150 °F) se anota como valor de Estabilidad Marshall.

Mientras se realiza el ensayo de Estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (Flujo) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima; se lee y anota esta lectura como valor de flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.

Figura N° 28. Prensa Marshall para el ensayo de Estabilidad y Fluencia.



4.6 PROCESO DE CÁLCULO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 85-100

Solo se realizara un cálculo demostrativo para la briqueta con porcentaje de cemento asfáltico de 4,5%.

4.6.1 Identificación de briquetas.

Para la identificación de las briquetas se las enumero en el caso del porcentaje en estudio 4,5% se identificó como: B1, B2 y B3.

4.6.2 Altura de las briquetas.

Se miden las alturas dividiendo a la briketa en cuatro para poder determinar cuatro alturas y sacar un promedio que represente el valor significativo de las alturas, después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 4,5% sus alturas correspondientes son las siguientes:

Tabla N° 67. Alturas medidas de cada briketa.

Identificación	Alturas (cm)	Promedio de alturas (cm)
B1	6,49	6,49
	6,49	
	6,48	
	6,50	
B2	6,45	6,47
	6,49	
	6,46	
	6,48	
B3	6,50	6,50
	6,53	
	6,48	
	6,49	

Fuente: Elaboración propia

4.6.3 Base de Mezcla y Agregado.

Para la base de mezcla se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 4,5%. Mientras que para la base de agregado se realiza el siguiente procedimiento de cálculo.

$$Base\ de\ agregado = \frac{Base\ de\ mezcla * 100}{100 - Base\ de\ la\ mezcla}$$

$$Base\ de\ agregado = \frac{4,5 * 100}{100 - 4,5}$$

$$Base\ de\ agregado = 4,71$$

4.6.4 Peso de briqueta en el aire.

El peso de la briqueta en el aire consiste en medir su peso una vez desmoldada la misma y limpiada en su superficie.

Tabla N° 68. Peso al aire de las briquetas.

Identificación	Peso briqueta en el aire (gr)
B1	1192,2
B2	1190,0
B3	1187,5

Fuente: Elaboración propia

4.6.5 Peso de briqueta en el aire saturado superficialmente seco (S.S.S.)

El peso de la briqueta saturado superficialmente seco consiste en medir su peso una vez secada la briqueta después de estar sumergida en agua por un lapso de 30 minutos a 25°C.

Tabla N° 69. Peso briqueta saturada superficialmente seca.

Identificación	Peso briqueta en el aire S.S.S. (gr)
B1	1193,5
B2	1192,6
B3	1190,0

Fuente: Elaboración propia

4.6.6 Peso de briqueta sumergida en el agua.

El peso de la briqueta sumergida en agua consiste en medir su peso una vez transcurrido 30 minutos sumergida en agua a 25°C.

Tabla N° 70. Peso briqueta sumergida en agua.

Identificación	Peso briqueta sumergida en agua (gr)
B1	675,0
B2	670,1
B3	676,2

Fuente: Elaboración propia

4.6.7 Volumen de la briqueta.

Para este proceso de cálculo se lo realizara para la briqueta identificada como B1.

Vol. de briqueta

$$= \text{Peso briqueta en el aire SSS} - \text{Peso de briqueta sumergida}$$

$$\text{Vol. de briqueta} = 1193,5 - 675,0$$

$$\text{Vol. de briqueta} = 518,5 \text{ [gr]}$$

Debido a que el peso es del agua y su peso específico es 1 gr/cm³ se considera:

$$\text{Vol. de briqueta} = 518,5 \text{ [cm}^3\text{]}$$

4.6.8 Densidad de la briqueta.

Para este proceso de cálculo se lo realizara para la briqueta identificada como B1.

4.6.8.1 Densidad real de la briqueta.

$$\text{Densidad Real} = \frac{\text{Peso de la briqueta en el aire}}{\text{Volumen de la muestra}}$$

$$\text{Densidad Real} = \frac{1992,2 \text{ gr}}{518,5 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad Real} = 2,299 \text{ [gr/cm}^3\text{]}$$

4.6.8.2 Densidad máxima teórica de la briqueta.

Densidad MáxT

$$= \frac{100}{\frac{\% \text{ de asfalto}}{\text{peso específico asfalto}} + \frac{100 - \% \text{ de asfalto}}{\text{peso específico agregado grueso}}}$$

$$\text{Densidad MáxT} = \frac{100}{\frac{4,5}{1,009} + \frac{100 - 4,5}{2,685}}$$

$$\text{Densidad MáxT} = 2,498 \text{ [gr/cm}^3\text{]}$$

4.6.9 Porcentaje de Vacíos.

Para este proceso de cálculo se lo realizara para la briqueta identificada como B1.

4.6.9.1 Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv).

$$Vv = \frac{\text{Densidad MáxT} - \text{Densidad Real Promedio}}{\text{Densidad MáxT}} * 100\%$$

$$Vv = \frac{2,498 - 2,296}{2,498} * 100\%$$

$$Vv = 8,086\%$$

4.6.9.2 Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM).

$$VAM = \frac{\% \text{ de asfalto} * \text{Densidad Real Promedio}}{\text{Peso específico de asfalto}} + \% \text{ de vacios}(Vv)$$

$$VAM = \frac{4,5 * 2,296}{1,009} + 8,086$$

$$VAM = 18,326 \%$$

4.6.9.3 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV).

$$RBV = \frac{VAM - Vv}{VAM} * 100\%$$

$$Vv = \frac{18,326 - 8,086}{18,326} * 100\%$$

$$Vv = 55,877\%$$

4.6.10 Estabilidad y Fluencia.

La estabilidad y la fluencia son propiedades medidas a partir de realizar el ensayo en la prensa Marshall.

Tabla N° 71. Datos del ensayo de Estabilidad y Fluencia.

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad (kg.)	Fluencia (plg.)
B1	1135,0	235,0
B2	945,0	200,0
B3	1003,0	200,0

Fuente: Elaboración propia

Se procede a realizar una corrección de calibración de la prensa Marshall mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Estabilidad Real} = \text{Lectura dial} * \text{Factor conversión}$$

Donde:

Lect. Dial = Es la lectura medida en la prensa Marshall.

Factor conversión = Es el factor de conversión de kg. a lb. 2,2046.

Tabla N° 72. Estabilidad Real.

Identificación	Estabilidad		
	Lectura Dial (kg.)	Real (lb)	Promedio
B1	1135,0	2502,2	2265,6
B2	945,0	2083,3	
B3	1003,0	2211,2	

Fuente: Elaboración propia

Después del cálculo de estabilidad real se procederá corregir por la altura de la briqueta con la siguiente fórmula:

$$\text{Estabilidad Corregida} = \text{Estabilidad} * \text{Factor Corrección de Altura}$$

Donde:

Factor Correc. Altura = Es el factor de corrección de acuerdo a la altura de la briqueta según el método Marshall cuando la altura es diferente de 63,5 mm.

Tabla N° 73. Alturas promedio y factor de corrección por altura.

Identificación	Promedio de alturas (cm)	Factor de corrección por altura	Promedio del factor de corrección
B1	6,49	0,965	0,966
B2	6,47	0,970	
B3	6,50	0,963	

Fuente: Manual de la ABC vol. 4A tabla A0608_1 Factores de Corrección por altura para estabilidad Marshall (Normativa AASHTO).

Tabla N° 74. Estabilidad corregida.

Identificación	Estabilidad Real Promedio (lb)	Promedio del factor de corrección	Estabilidad Corregida (lb)
B1	2265,6	0,966	2188,6
B2			
B3			

Fuente: Elaboración propia.

Para la corrección de la fluencia medida en la prensa Marshall se realiza la conversión a pulgadas:

$$Fluencia = \frac{Lectura\ dial}{25,4}$$

Tabla N° 75. Corrección de Fluencia.

Identificación	Lectura dial	Fluencia 1/100"	Promedio
	Fluencia (plg.)		
B1	235,0	9,3	8,33
B2	200,0	7,9	
B3	200,0	7,9	

Fuente: Elaboración propia

Por tanto se tiene los siguientes resultados:

Tabla N° 76. Resultados de la estabilidad y fluencia.

Identificación	Estabilidad (lb)		Fluencia	
	Real	Promedio	1/100''	Promedio
B1	2502,2	2265,6	9,3	8,33
B2	2083,3		7,9	
B3	2211,2		7,9	

Fuente: Elaboración propia

4.7 RESULTADOS DEL DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 85-100

Después de terminar con el proceso de cálculo se tiene:

Tabla N° 77. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional 85-100.

% de Asfalto	Identificación	Altura Promedio (cm)	Densidad Real Promedio (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida Promedio (lb)	Fluencia 1/100'' Promedio
4,5	B1	6,49	2,296	8,08	55,88	18,32	2188,6	8,33
	B2	6,47						
	B3	6,50						
5,0	B4	6,42	2,323	6,29	64,66	17,80	2479,6	9,45
	B5	6,48						
	B6	6,44						
5,5	B7	6,52	2,346	4,62	73,45	17,41	2690,3	11,35
	B8	6,42						
	B9	6,40						
6,0	B10	6,40	2,351	3,70	79,08	17,68	2636,7	13,71
	B11	6,39						
	B12	6,46						

6,5	B13	6,36	2,341	3,37	81,74	18,45	2424,0	15,75
	B14	6,47						
	B15	6,44						
7,0	B16	6,36	2,336	2,89	84,88	19,09	2292,1	16,67
	B17	6,49						
	B18	6,41						

Fuente: Elaboración propia

Obtenido todos estos valores se procedió a dibujar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones.

- Porcentaje de Asfalto vs. densidad de la probeta.
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.
- Porcentaje de Asfalto vs. vacíos de agregado mineral (VAM)
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (RBV).
- Porcentaje de Asfalto vs. estabilidad corregida.
- Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo).

Figura N° 29. Porcentaje de Asfalto vs Densidad de la Briqueta.

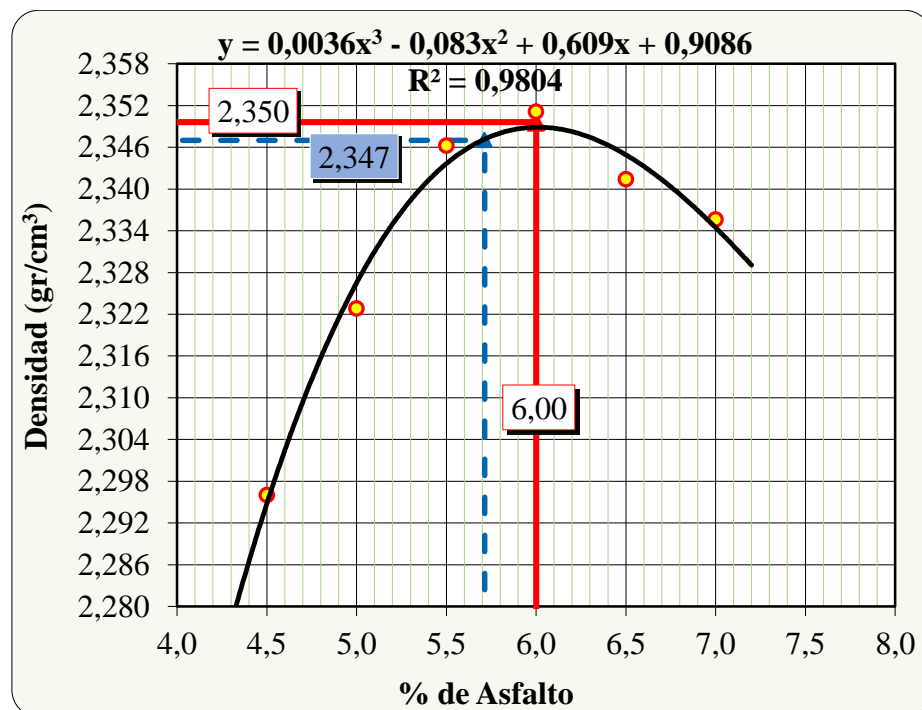


Figura N° 30. Porcentaje de Asfalto vs Vacíos de la mezcla (Vv).

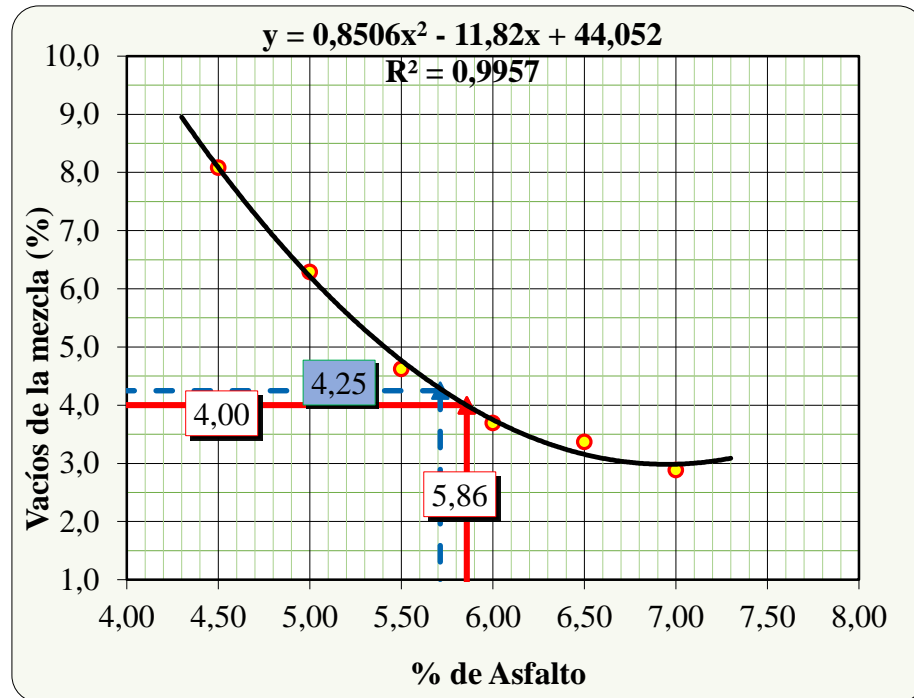


Figura N° 31. Porcentaje de Asfalto vs RBV.

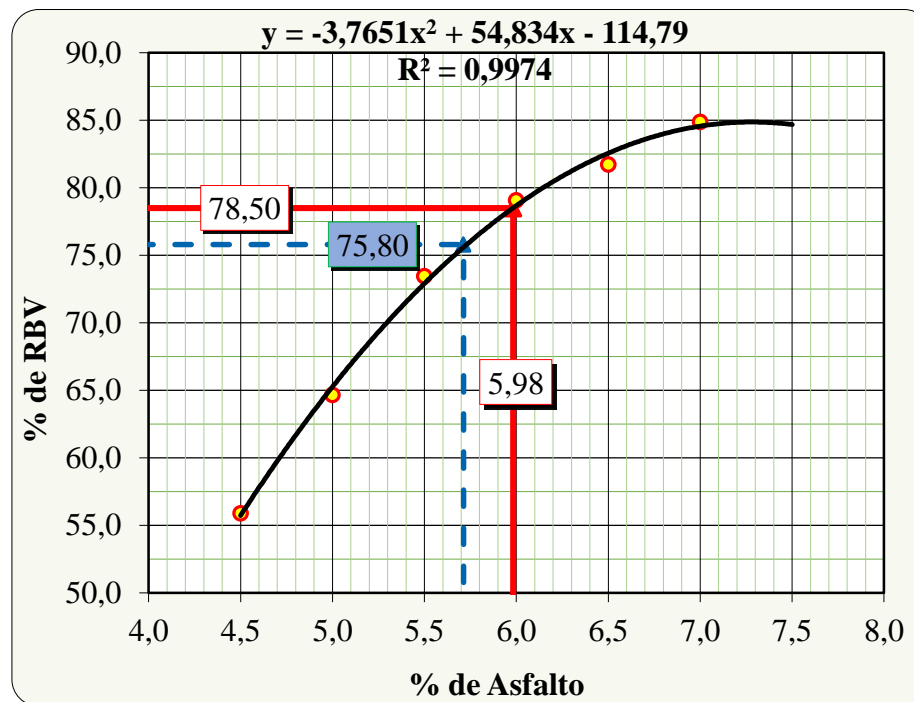


Figura N° 32. Porcentaje de Asfalto vs VAM.

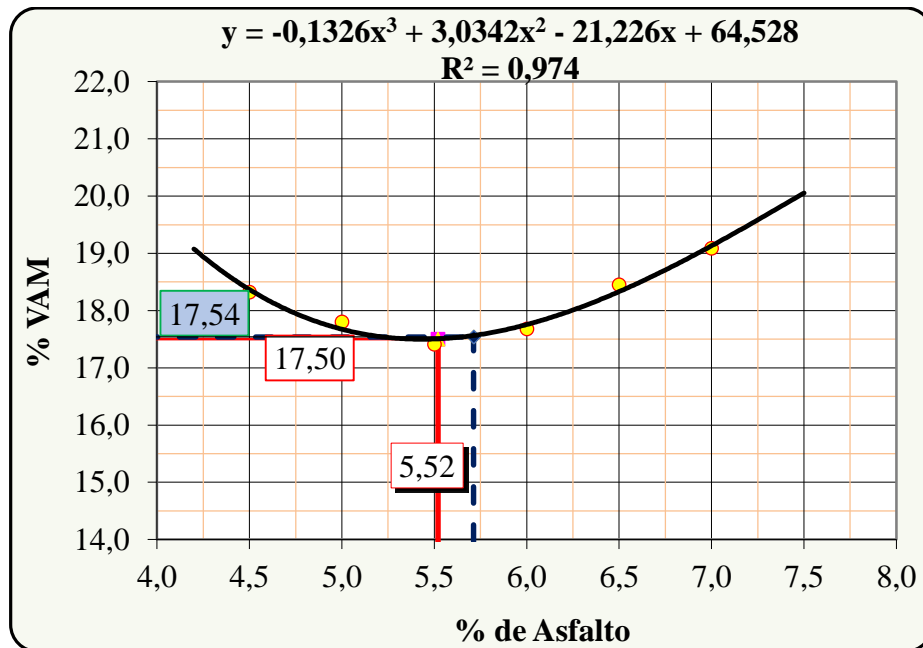


Figura N° 33. Porcentaje de Asfalto vs Estabilidad.

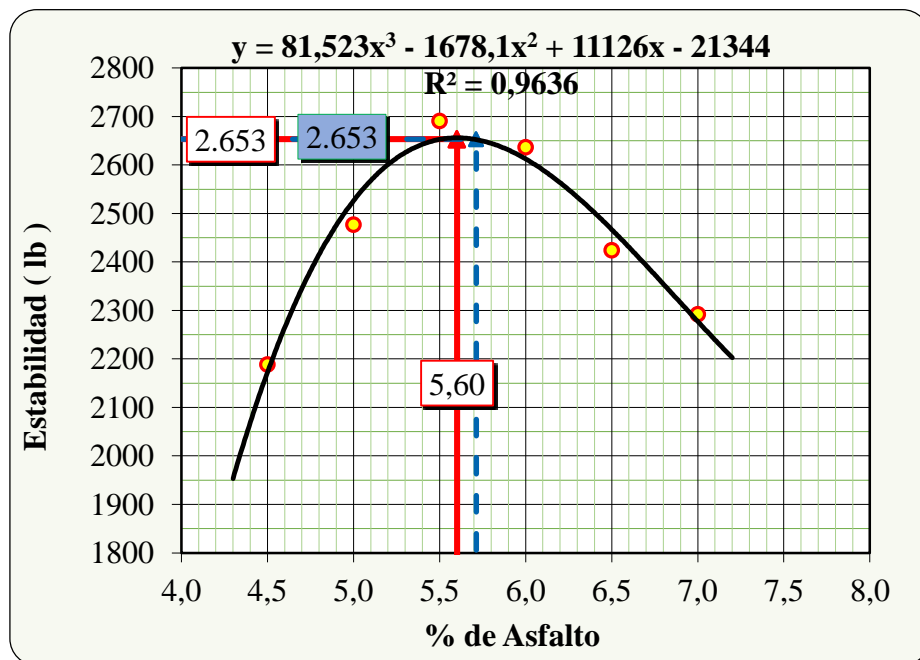
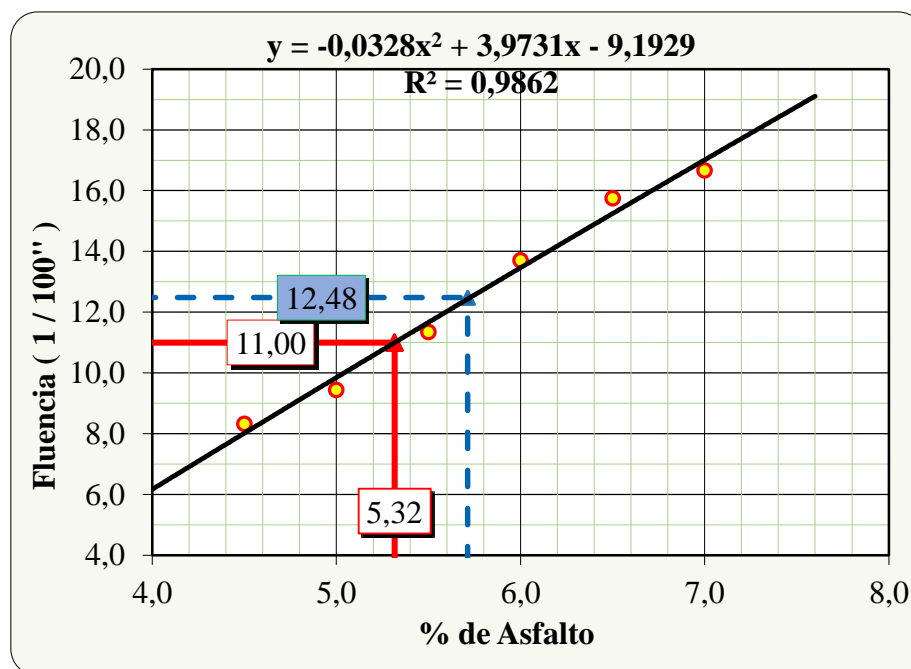


Figura N° 34. Porcentaje de Asfalto vs Fluencia.



De acuerdo a las gráficas obtenidas se tiene:

Tabla N° 78. Resultados de las gráficas del ensayo Marshall.

Valores				
Características	% de Asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones Técnicas	
Densidad	6,00	2,350	-----	-----
% Vacíos	5,86	4,0	3	5
R.B.V.	5,98	78,50	75	82
V.A.M	5,52	17,50	13	
Estabilidad (lb)	5,60	2653,1	> 1800 lb. (75 golpes)	
Fluencia 1/100"	5,32	11,0	8	14
Promedio (%)	5,71	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las graficas		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 79. Resultados del porcentaje óptimo propuesto.

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de Asfalto	Valores con % óptimo	Especificaciones Técnicas	
Densidad	5,71	2,347	-----	-----
% Vacíos	5,71	4,25	3	5
R.B.V.	5,71	75,80	75	82
V.A.M	5,71	17,54	13	
Estabilidad (lb)	5,71	2653	> 1800 lb. (75 golpes)	
Fluencia 1/100"	5,71	12,48	8	14
% óptimo de asfalto propuesto			5,71	

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje óptimo de asfalto es de 5,71% que será utilizado para la realización de las mezclas convencionales (Porcentaje 0% de aditivo) y mezclas con adición de aditivo antioxidante, modificando los porcentajes de adición.

4.8 PREPARACIÓN DE BRIQUETAS CON EL PORCENTAJE ÓPTIMO

Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico que es igual al 5,71% del total de la briqueta de 1200 gramos, y calculado anteriormente la temperatura de mezclado y compactado de las briquetas se procede a pesar las muestras para su respectiva comparación, en la siguiente tabla se muestran los pesos retenidos en cada tamiz repartidos de manera homogénea para la realización de briquetas convencionales con cemento asfáltico 85-100, manteniendo la combinación de agregados de 18% de grava 3/4", 32% de gravilla 3/8" y 50% de arena.

Tabla N° 80. Dosificación con el contenido óptimo de asfalto de 5,71%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,71%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,9	1,1	1,1	12,5	12,5
1/2"	82,3	17,7	16,5	187,2	199,7
3/8"	80,2	19,8	2,1	23,8	223,6
N°4	51,8	48,2	28,5	322,2	545,7
N°10	40,9	59,1	10,8	122,5	668,3
N°16	30,8	69,2	10,1	114,8	783,1
N°40	16,6	83,4	14,2	160,5	943,6
N°80	9,9	90,1	6,8	76,4	1020,0
N°200	6,4	93,6	3,5	39,1	1059,1
Filler	0	100,0	6,4	72,3	1131,5
Peso Total				1131,5	

Fuente: Elaboración propia

Peso Muestra=	1131,5 gr.
Peso Asfalto (4,5%) =	68,5 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

Tabla N° 81. Datos obtenidos del ensayo Marshall con porcentaje óptimo de asfalto.

% de Asfalto	Identificación	Altura Promedio (cm)	Peso Seco al aire (gr.)	Peso Sumergido al agua (gr.)	Peso Sumergido superficial seco(gr.)	Lectura Dial Estabilidad (lb)	Lectura Dial Fluencia
5,71	C1	6,38	1180,2	679,2	1182,6	1175,0	340,0
	C2	6,40	1186,5	682,5	1187,9	1132,0	360,0
	C3	6,32	1192,2	688,0	1194,6	1250,0	335,0
	C4	6,35	1180,3	679,6	1182,6	1180,0	340,0
	C5	6,38	1185,6	682,5	1187,9	1211,0	345,0
	C6	6,33	1190,4	687,3	1194,2	1170,0	350,0
	C7	6,44	1192,2	688,3	1194,8	1194,0	340,0
	C8	6,41	1188,3	684,0	1190,2	1200,0	345,0
	C9	6,38	1190,3	687,1	1194,0	1190,0	345,0
5,71	C1A	6,35	1198,0	688,9	1200,2	1075,0	320,0
	C2A	6,42	1192,2	689,2	1194,8	1100,0	330,0
	C3A	6,44	1187,6	683,4	1189,2	1020,0	330,0

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta que las briquetas C1A, C2A y C3A fueron realizadas para saber los valores de la estabilidad remanente a las 24 horas de sumergida en el baño María.

Siguiendo con el procedimiento expuesto en el punto *Proceso de cálculo de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional 85-100*. Se tiene los siguientes resultados.

Tabla N° 82. Resultados de las mezclas asfálticas con porcentaje de adición.

% de Asfalto	Identificación	PROPIEDADES MECÁNICAS						
		Altura Promedio (cm)	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia I/100
5,71	C1	6,38	2,344	4,39	75,16	17,66	2571,0	13,4
	C2	6,40	2,348	4,26	75,74	17,55	2464,4	14,2
	C3	6,32	2,353	4,02	76,80	17,35	2777,8	13,2
	C4	6,35	2,347	4,30	75,54	17,59	2601,4	13,6
	C5	6,38	2,346	4,33	75,42	17,61	2649,7	13,6
	C6	6,33	2,348	4,23	75,88	17,52	2592,3	13,8
	C7	6,44	2,354	4,01	76,89	17,33	2573,1	13,4
	C8	6,41	2,347	4,26	75,72	17,55	2605,8	13,6
	C9	6,38	2,348	4,23	75,85	17,53	2603,8	13,6
		Promedio		2,348	4,22	75,90	17,52	2604,4
5,71	C1A	6,35	2,343	4,44	74,91	17,71	2369,9	12,6
	C2A	6,42	2,358	3,83	77,69	17,19	2382,6	13,0
	C3A	6,44	2,348	4,24	75,80	17,54	2198,1	13,0
		Promedio		2,350	4,17	76,13	17,48	2316,9

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto la resistencia remanente de 24 horas es:

$$Resistencia\ Remanente = \frac{Estabilidad\ promedio\ remanente}{Estabilidad\ promedio\ normal} * 100\%$$

$$Resistencia\ Remanente = \frac{2316,9}{2604,4} * 100\%$$

$$Resistencia\ Remanente = 88,96\%$$

4.9 PREPARACIÓN DE BRIQUETAS CON EL PORCENTAJE ÓPTIMO VARIANDO EL PORCENTAJE DE ADICIÓN DEL ADITIVO

Se mantendrá la dosificación de agregados con el porcentaje óptimo del ensayo Marshall el cual tendrá 5,71% de contenido de asfalto. Para este caso se procede a modificar al asfalto variando los porcentajes de adición, tomando en cuenta que la modificación de la mezcla asfáltica es en base al asfalto.

Tabla N° 83. Variación de porcentajes de adición del aditivo.

Porcentaje de Adición	Peso del Cemento asfáltico (gr)	Peso del Aditivo Antioxidante (gr)
0%	500	0
2%	500	10
5%	500	25
10%	500	50
15%	500	75
20%	500	100
25%	500	125

Fuente: Elaboración propia

Se toma en cuenta que para la dosificación de mezclas asfálticas y ensayos del cemento asfáltico se necesitará un aproximado de uso de 500 gr. de asfalto para cada una de las variaciones de adición.

4.10 ELABORACIÓN DE LAS BRIQUETAS CON LOS PORCENTAJES DE ADICIÓN

El proceso de elaboración y recolección de datos es el mismo que se realizó para el diseño de la mezcla asfáltica por lo que se presenta los resultados obtenidos de los ensayos.

Figura N° 35. Muestra del polvo deshidratado de la cáscara de uva.



Figura N° 36. Mezcla del aditivo y el cemento asfáltico.



Tabla N° 84. Datos obtenidos del ensayo Marshall de mezclas asfálticas con porcentajes de aditivo.

% de Aditivo	Identificación	Altura Promedio (cm)	Peso Seco al aire (gr)	Peso Sumergido al agua (gr)	Peso Sumergido superficial seco(gr)	Lectura Dial Estabilidad (lb)	Lectura Dial Fluencia
0,0	C1	6,38	1180,2	679,2	1182,6	1175,0	340,0
	C2	6,40	1186,5	682,5	1187,9	1132,0	360,0
	C3	6,32	1192,2	688,0	1194,6	1250,0	335,0
	C4	6,35	1180,3	679,6	1182,6	1180,0	340,0
	C5	6,38	1185,6	682,5	1187,9	1211,0	345,0
	C6	6,33	1190,4	687,3	1194,2	1170,0	350,0
	C7	6,44	1192,2	688,3	1194,8	1194,0	340,0
	C8	6,41	1188,3	684,0	1190,2	1200,0	345,0
	C9	6,38	1190,3	687,1	1194,0	1190,0	345,0
2,0	C10	6,25	1180,8	688,8	1182,8	1002,0	305,0
	C11	6,33	1189,7	693,2	1192,5	953,0	310,0
	C12	6,38	1187,5	693,2	1190,5	991,0	310,0
5,0	C13	6,52	1198,7	696,6	1203,0	1295,0	315,0
	C14	6,42	1184,0	687,3	1186,8	1250,0	330,0
	C15	6,40	1192,2	692,4	1195,6	1156,0	335,0
10,0	C16	6,40	1190,2	684,3	1193,6	1333,0	360,0
	C17	6,39	1187,5	682,2	1190,2	1355,0	390,0
	C18	6,46	1188,0	682,6	1191,5	1402,0	375,0
15,0	C19	6,36	1188,9	670,8	1194,6	784,0	390,0
	C20	6,47	1188,8	670,2	1191,8	671,0	400,0
	C21	6,44	1182,5	668,0	1186,5	800,0	450,0
20,0	C22	6,36	1171,7	657,5	1181,2	455,0	420,0
	C23	6,49	1190,2	665,0	1196,2	425,0	450,0
	C24	6,41	1195,2	668,5	1200,0	400,0	430,0
25,0	C25	6,36	1210,0	663,2	1215,1	303,0	500,0
	C26	6,49	1185,3	648,3	1187,5	302,0	525,0
	C27	6,41	1187,9	650,3	1190,3	250,0	500,0

Fuente: Elaboración propia

4.11 PROCESO DE CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LOS PORCENTAJES DE ADICIÓN.

El proceso de cálculo sigue siendo el mismo expuesto en el punto 4.6. *Proceso de cálculo de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional 85-100.* Por lo tanto se presentará la tabla de resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Tabla N° 85. Resultados de las mezclas asfálticas con porcentaje de adición.

% de Aditivo	Identificación	PROPIEDADES MECÁNICAS						
		Altura Promedio (cm)	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100
0,0	C1	6,38	2,344	4,39	75,16	17,66	2571,0	13,4
	C2	6,40	2,348	4,26	75,74	17,55	2464,4	14,2
	C3	6,32	2,353	4,02	76,80	17,35	2777,8	13,2
	C4	6,35	2,347	4,30	75,54	17,59	2601,4	13,6
	C5	6,38	2,346	4,33	75,42	17,61	2649,7	13,6
	C6	6,33	2,348	4,23	75,88	17,52	2592,3	13,8
	C7	6,44	2,354	4,01	76,89	17,33	2573,1	13,4
	C8	6,41	2,347	4,26	75,72	17,55	2605,8	13,6
	C9	6,38	2,348	4,23	75,85	17,53	2603,8	13,6
2,0	C10	6,25	2,390	2,64	83,54	16,05	2268,7	12,0
	C11	6,33	2,383	2,95	81,92	16,31	2111,5	12,2
	C12	6,38	2,388	2,74	83,02	16,13	2168,4	12,2
5,0	C13	6,44	2,367	3,60	78,57	16,80	2790,7	12,4
	C14	6,30	2,370	3,54	78,84	16,75	2791,6	13,0
	C15	6,38	2,369	3,59	78,62	16,79	2529,4	13,2
10,0	C16	6,42	2,337	5,04	71,87	17,92	2887,3	15,7
	C17	6,46	2,338	5,02	71,98	17,90	2905,1	15,4
	C18	6,37	2,334	5,14	71,44	18,01	3075,4	14,8

15,0	C19	6,66	2,270	7,92	60,97	20,28	1610,7	15,4
	C20	6,60	2,279	7,53	62,24	19,95	1395,3	15,7
	C21	6,58	2,281	7,47	62,44	19,90	1670,0	17,7
20,0	C22	6,36	2,237	9,54	55,48	21,42	1000,6	16,5
	C23	6,47	2,241	9,41	55,86	21,31	908,8	17,7
	C24	6,44	2,249	9,08	56,82	21,02	862,0	16,9
25,0	C25	6,36	2,192	11,66	49,31	23,00	666,3	19,7
	C26	6,49	2,198	11,42	49,88	22,79	642,5	20,7
	C27	6,41	2,200	11,36	50,04	22,74	542,9	19,7

Fuente: Elaboración propia

4.12 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.

Teniendo los resultados de las propiedades mecánicas provenientes del ensayo Marshall, variando los porcentajes de adición del aditivo antioxidante, se procede a evaluar el comportamiento estadístico de los mismos.

4.12.1 Briquetas con el porcentaje óptimo 0% de aditivo.

Tabla N° 86. Resumen de resultados de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con 0% de adición.

DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES MECÁNICAS						
	Altura Promedio (cm)	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100
C1	6,38	2,344	4,39	75,16	17,66	2571,0	13,4
C2	6,40	2,348	4,26	75,74	17,55	2464,4	14,2
C3	6,32	2,353	4,02	76,80	17,35	2777,8	13,2
C4	6,35	2,347	4,30	75,54	17,59	2601,4	13,6
C5	6,38	2,346	4,33	75,42	17,61	2649,7	13,6
C6	6,33	2,348	4,23	75,88	17,52	2592,3	13,8
C7	6,44	2,354	4,01	76,89	17,33	2573,1	13,4
C8	6,41	2,347	4,26	75,72	17,55	2605,8	13,6
C9	6,38	2,348	4,23	75,85	17,53	2603,8	13,6
Media	6,38	2,35	4,22	75,90	17,52	2604,40	13,60
Desviación estándar	0,038	0,003	0,130	0,587	0,112	82,138	0,283
Límite superior (M+desv)	6,415	2,352	4,355	76,476	17,633	2686,504	13,883
Límite inferior (M-desv)	6,338	2,345	4,096	75,302	17,410	2522,229	13,317

Fuente: Elaboración propia

Al tener los siguientes resultados, viendo que los rangos de la desviación estándar es menor en consideración al valor de la media, se puede tomar en cuenta los valores de la media aritmética como el valor representativo para el porcentaje 0% de adición, en cada una de las propiedades establecidas.

4.12.2 Briquetas con el porcentaje óptimo 2% de aditivo.

Tabla N° 87. Resumen de resultados de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con 2% de adición.

DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES MECÁNICAS						
	Altura Promedio (cm)	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100
C10	6,25	2,390	2,64	83,54	16,05	2268,7	12,0
C11	6,33	2,383	2,95	81,92	16,31	2111,5	12,2
C12	6,38	2,388	2,74	83,02	16,13	2168,4	12,2
Media	6,32	2,387	2,78	82,83	16,16	2182,87	12,13
Desviación estándar	0,066	0,004	0,158	0,827	0,133	79,592	0,115
Límite superior (M+desv)	6,386	2,391	2,935	83,654	16,296	2262,459	12,249
Límite inferior (M-desv)	6,254	2,383	2,618	82,000	16,030	2103,274	12,018

Fuente: Elaboración propia

Al tener los siguientes resultados, viendo que los rangos de la desviación estándar es menor en consideración al valor de la media, se puede tomar en cuenta los valores de la media aritmética como el valor representativo para el porcentaje 2% de adición, en cada una de las propiedades establecidas.

4.12.3 Briquetas con el porcentaje óptimo 5% de aditivo.

Tabla N° 88. Resumen de resultados de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con 5% de adición.

DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES MECÁNICAS						
	Altura Promedio (cm)	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100
C13	6,44	2,367	3,60	78,57	16,80	2790,7	12,4
C14	6,30	2,370	3,54	78,84	16,75	2791,6	13,0
C15	6,38	2,369	3,59	78,62	16,79	2529,4	13,2
Media	6,37	2,369	3,58	78,68	16,78	2703,9	12,87
Desviación estándar	0,070	0,001	0,032	0,144	0,026	151,122	0,416
Límite superior (M+desv)	6,444	2,370	3,609	78,820	16,806	2855,022	13,283
Límite inferior (M-desv)	6,303	2,369	3,545	78,533	16,754	2552,778	12,450

Fuente: Elaboración propia

Al tener los siguientes resultados, viendo que los rangos de la desviación estándar es menor en consideración al valor de la media, se puede tomar en cuenta los valores de la media aritmética como el valor representativo para el porcentaje 5% de adición, en cada una de las propiedades establecidas.

4.12.4 Briquetas con el porcentaje óptimo 10% de aditivo.

Tabla N° 89. Resumen de resultados de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con 10% de adición.

DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES MECÁNICAS						
	Altura Promedio (cm)	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100
C16	6,42	2,337	5,04	71,87	17,92	2887,3	15,7
C17	6,46	2,338	5,02	71,98	17,90	2905,1	15,4
C18	6,37	2,334	5,14	71,44	18,01	3075,4	14,8
Media	6,42	2,336	5,07	71,76	17,94	2955,9	15,3
Desviación estándar	0,045	0,002	0,064	0,285	0,059	103,843	0,458
Límite superior (M+desv)	6,462	2,338	5,131	72,049	18,002	3059,777	15,758
Límite inferior (M-desv)	6,372	2,334	5,002	71,478	17,885	2852,090	14,842

Fuente: Elaboración propia

Al tener los siguientes resultados, viendo que los rangos de la desviación estándar es menor en consideración al valor de la media, se puede tomar en cuenta los valores de la media aritmética como el valor representativo para el porcentaje 10% de adición, en cada una de las propiedades establecidas.

4.12.5 Briquetas con el porcentaje óptimo 15% de aditivo.

Tabla N° 90. Resumen de resultados de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con 15% de adición.

DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES MECÁNICAS						
	Altura Promedio (cm)	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100
C19	6,66	2,270	7,92	60,97	20,28	1610,7	15,4
C20	6,60	2,279	7,53	62,24	19,95	1395,3	15,7
C21	6,58	2,281	7,47	62,44	19,90	1670,0	17,7
Media	6,61	2,28	7,64	61,88	20,04	1558,67	16,27
Desviación estándar	0,042	0,006	0,244	0,797	0,206	144,553	1,250
Límite superior (M+desv)	6,655	2,283	7,884	62,681	20,250	1703,220	17,517
Límite inferior (M-desv)	6,572	2,271	7,396	61,086	19,837	1414,113	15,016

Fuente: Elaboración propia

Al tener los siguientes resultados, viendo que los rangos de la desviación estándar es menor en consideración al valor de la media, se puede tomar en cuenta los valores de la media aritmética como el valor representativo para el porcentaje 15% de adición, en cada una de las propiedades establecidas.

4.12.6 Briquetas con el porcentaje óptimo 20% de aditivo.

Tabla N° 91. Resumen de resultados de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con 20% de adición.

DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES MECÁNICAS						
	Altura Promedio (cm)	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100
C22	6,36	2,237	9,54	55,48	21,42	1000,6	16,5
C23	6,47	2,241	9,41	55,86	21,31	908,8	17,7
C24	6,44	2,249	9,08	56,82	21,02	862,0	16,9
Media	6,42	2,24	9,34	56,05	21,25	923,80	17,03
Desviación estándar	0,057	0,006	0,237	0,691	0,207	70,507	0,611
Límite superior (M+desv)	6,480	2,248	9,580	56,744	21,457	994,307	17,644
Límite inferior (M-desv)	6,366	2,236	9,106	55,363	21,043	853,293	16,422

Fuente: Elaboración propia

Al tener los siguientes resultados, viendo que los rangos de la desviación estándar es menor en consideración al valor de la media, se puede tomar en cuenta los valores de la media aritmética como el valor representativo para el porcentaje 20% de adición, en cada una de las propiedades establecidas.

4.12.7 Briquetas con el porcentaje óptimo 25% de aditivo.

Tabla N° 92. Resumen de resultados de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con 25% de adición.

DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES MECÁNICAS						
	Altura Promedio (cm)	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100
C25	6,36	2,192	11,66	49,31	23,00	666,3	19,7
C26	6,49	2,198	11,42	49,88	22,79	642,5	20,7
C27	6,41	2,200	11,36	50,04	22,74	542,9	19,7
Media	6,42	2,20	11,48	49,743	22,843	617,23	20,03
Desviación estándar	0,066	0,004	0,159	0,384	0,138	65,465	0,577
Límite superior (M+desv)	6,486	2,201	11,639	50,127	22,981	682,699	20,611
Límite inferior (M-desv)	6,354	2,193	11,321	49,360	22,705	551,768	19,456

Fuente: Elaboración propia

Al tener los siguientes resultados, viendo que los rangos de la desviación estándar es menor en consideración al valor de la media, se puede tomar en cuenta los valores de la media aritmética como el valor representativo para el porcentaje 25% de adición, en cada una de las propiedades establecidas.

4.13 ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.

Como los resultados son muy próximos entre sí, además teniendo en cuenta que se tiene tres datos para cada porcentaje, nueve para el porcentaje 0% y ver que los valores de los mismos son similares se asumirá la media aritmética para continuar con el control y la evaluación de los resultados de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

4.14 ESTIMACIÓN DE PORCENTAJE ÓPTIMO DE ADICIÓN.

Con los resultados ya obtenidos se puede graficar los puntos de variación de asfalto para ver el comportamiento y tendencias que puedan determinar un porcentaje óptimo de los porcentajes de adición expuestos como lo son: 2%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de aditivo antioxidante a la mezcla asfáltica.

Figura N° 37. Densidad vs % de aditivo.

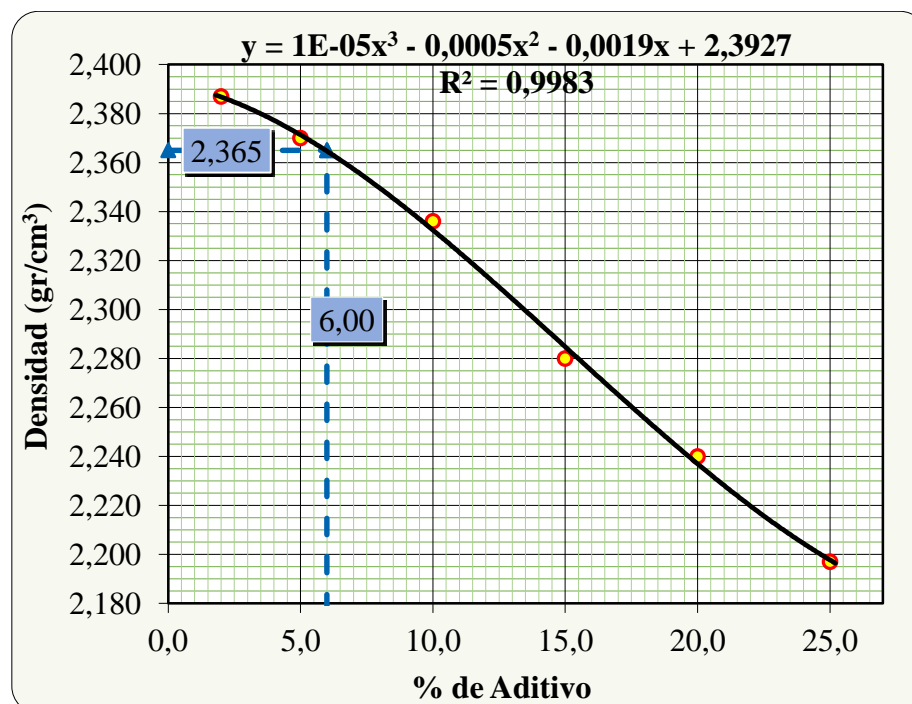


Figura N° 38. % Vacíos de la mezcla vs % de aditivo.

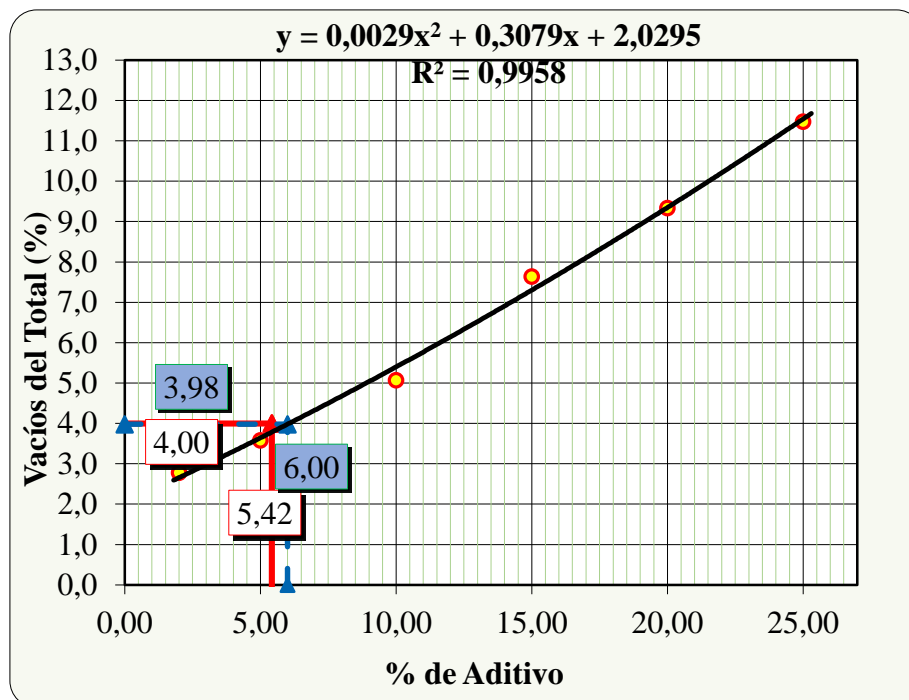


Figura N° 39. % Vacíos llenos de asfalto vs % de aditivo.

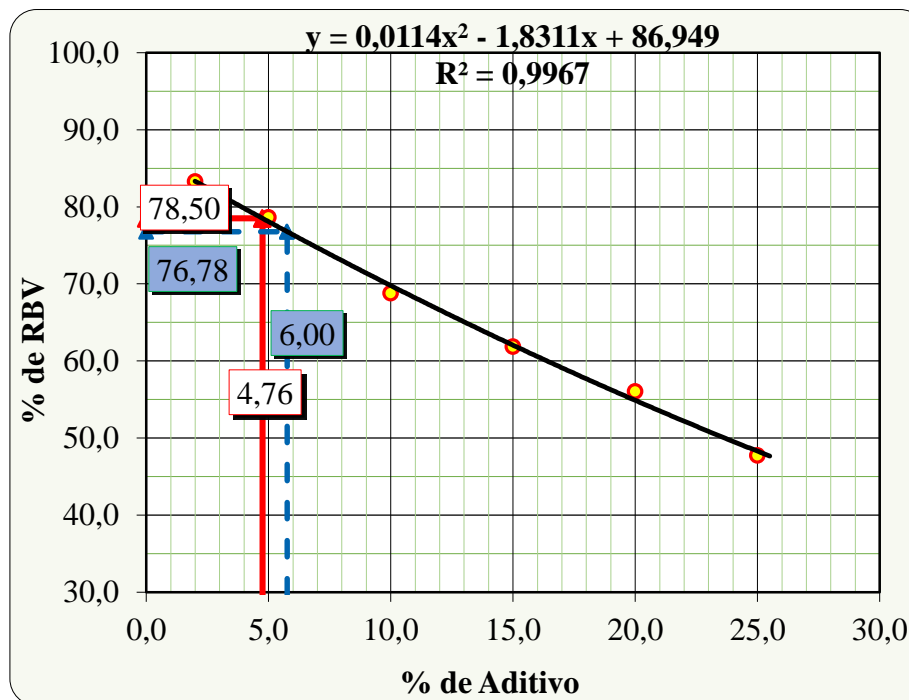


Figura N° 40. % Vacíos de agregado mineral vs % de aditivo.

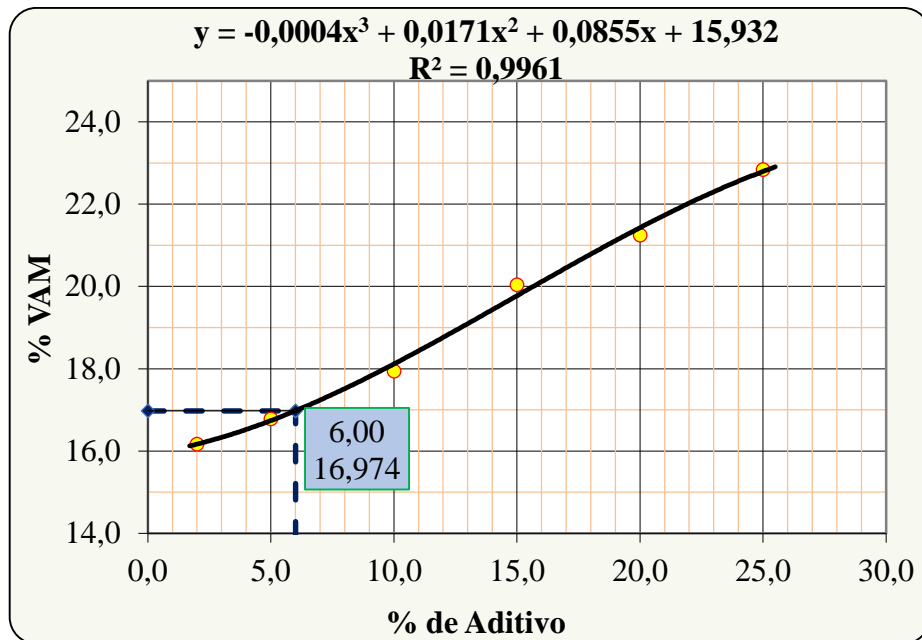


Figura N° 41. Estabilidad vs % de aditivo.

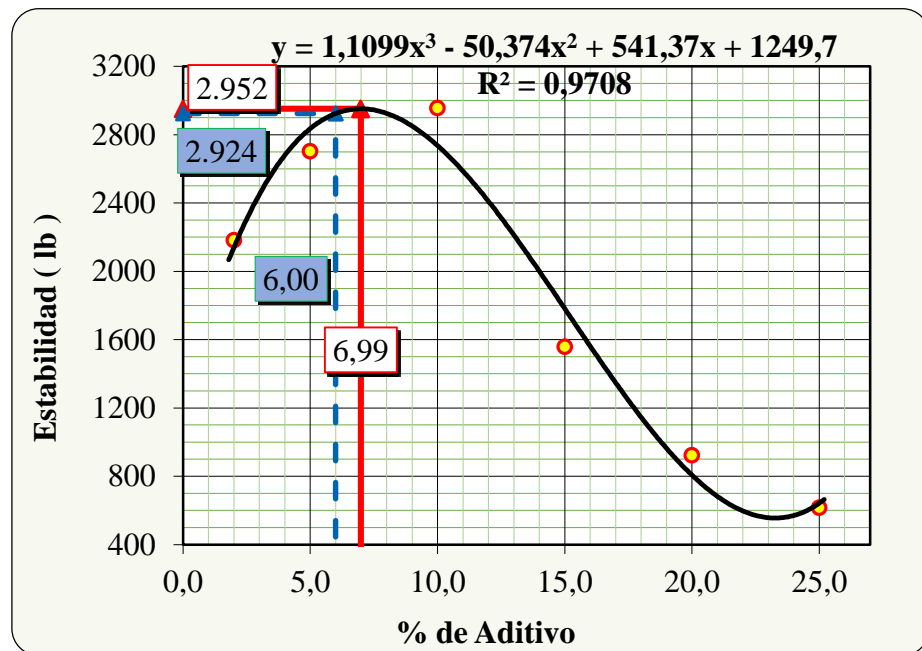
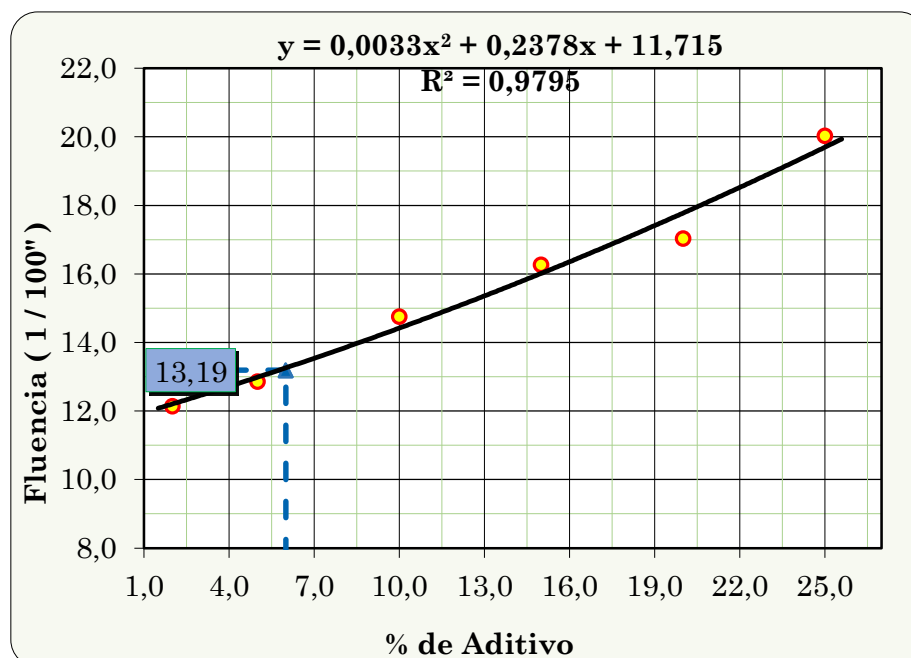


Figura N° 42. Fluencia vs % de aditivo.



De acuerdo con el manual del instituto de asfalto se tiene:

Tabla N° 93. Criterios de porcentajes óptimo en diseños Marshall.

Criterios para mezcla del método Marshall	Tránsito Pesado	
	Min.	Máx.
Compactación (Números de Golpe)	75	
Estabilidad	8000 N 1800 lb	-
Fluencia 1/100	8	14
% de vacíos	3	5
% de RBV	75	82
% de VAM tamaño máximo 3/4"	13	-

Fuente: Manual del Instituto de Asfalto

De acuerdo con la tabla de los criterios se puede realizar una comparación con el valor máximo de estabilidad, 4% de vacíos (según norma) y la media de los límites de RBV (78,5%).

Tabla N° 94. Valores obtenidos de las gráficas.

CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	----	----	-----	-----
% VACIOS	6,06	4,0	3	5
R.B.V.	4,94	78,5	75	82
V.A.M	----	----	13	-----
ESTABILIDAD (Lb)	6,98	2951,7	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	----	----	8	14
PROMEDIO (%)	6,00	Determinación del contenido óptimo de Aditivo Promedio de las Gráficas Vv, RBV y Estabilidad.		

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados de la tabla N°89 se toma un promedio para evitar dejar valores máximos y considerables del diseño después se verifica si cumple con todas las especificaciones.

Tabla N° 95. Resultados de las propiedades con el % óptimo propuesto.

CARACTERISTICAS	% DE ADITIVO	RESULTADO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	6,00	2,365	-----	-----
% VACIOS	6,00	3,98	3	5
R.B.V.	6,00	76,80	65	75
V.A.M	6,00	16,97	13	-----
ESTABILIDAD (lb)	6,00	2924	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	6,00	13,19	8	14
% OPTIMO DE ADITIVO PROPUESTO			6,00	

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el porcentaje propuesto aprovecha al máximo los límites recomendados de la norma, cumpliéndolas, el porcentaje óptimo elegido es del 6,00% de adición del aditivo antioxidante.

Es decir el porcentaje óptimo de asfalto es 5,71% del diseño Marshall, pero el porcentaje óptimo de adición de aditivo antioxidante es 6,00% este valor es para modificar las cantidades de cemento asfáltico que se utilicen.

4.15 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADITIVO ANTIOXIDANTE A PARTIR DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Para cada caso se tomaran los resultados de cada propiedad y de cada porcentaje con el que se trabajó en la investigación, teniendo en cuenta que los porcentajes de adición son 0%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%, esto con la finalidad de evaluar y analizar los resultados obtenidos y su incidencia o efecto que produce el aditivo dentro de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

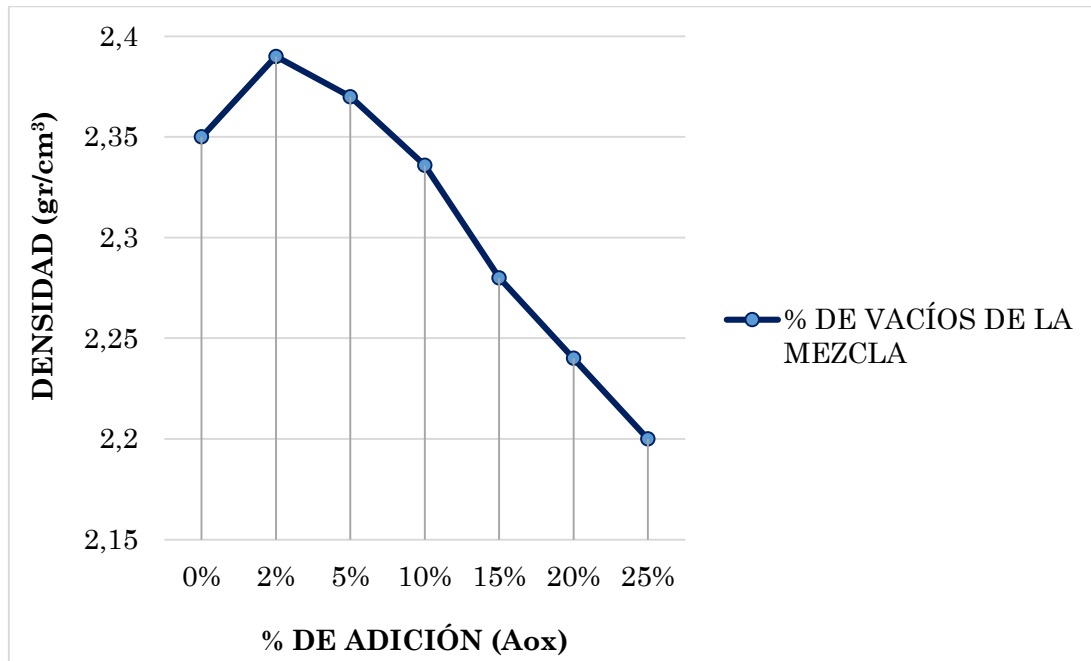
Tabla N° 96. Resultados de las propiedades mecánicas.

N°	DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES MECÁNICAS					
		Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100
1	Mezcla Asfáltica con 5,71% de asfalto (Óptimo) sin porcentaje de adición (0% de Aox).	2,35	4,22	75,9	17,52	2604,4	13,6
2	Mezcla Asfáltica con 5,71% de asfalto (Óptimo) con 2% de adición de Aox.	2,387	2,78	82,83	16,17	2182,8	12,14
3	Mezcla Asfáltica con 5,71% de asfalto (Óptimo) con 5% de adición de Aox.	2,370	3,58	78,68	16,78	2703,9	12,86
4	Mezcla Asfáltica con 5,71% de asfalto (Óptimo) con 10% de adición de Aox.	2,336	5,07	71,76	17,94	2955,9	14,76
5	Mezcla Asfáltica con 5,71% de asfalto (Óptimo) con 15% de adición de Aox.	2,28	7,64	61,88	20,04	1558,7	16,27
6	Mezcla Asfáltica con 5,71% de asfalto (Óptimo) con 20% de adición de Aox.	2,24	9,34	56,05	21,25	923,80	17,03
7	Mezcla Asfáltica con 5,71% de asfalto (Óptimo) con 25% de adición de Aox.	2,20	11,48	49,74	22,84	617,23	20,03

Fuente: Elaboración propia

4.15.1 Densidad Vs. % de Adición aditivo antioxidante

Figura N° 43. Evaluación de densidades.



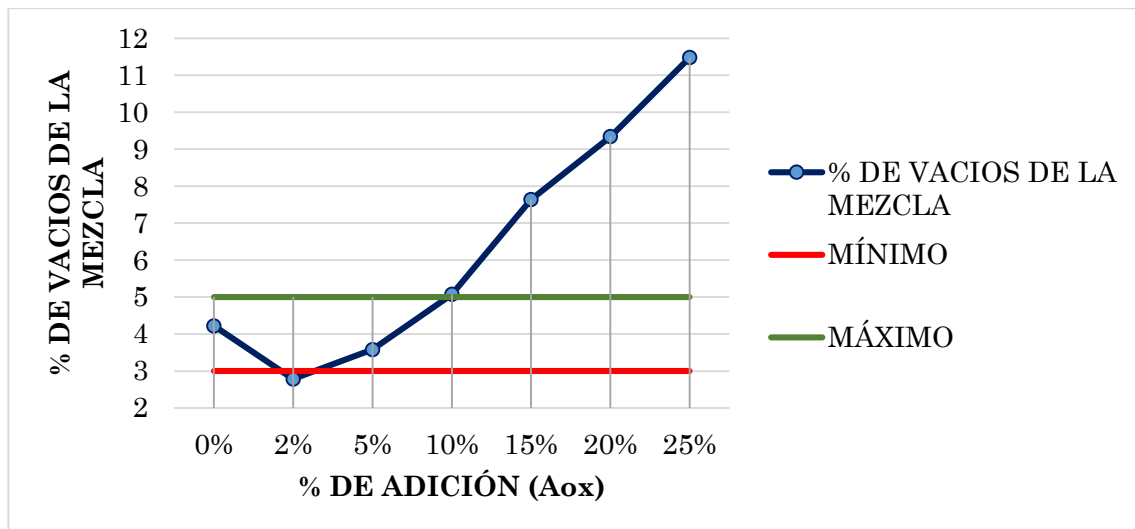
Análisis de resultados:

De acuerdo a la gráfica se ve un ligero aumento de la densidad de la mezcla cuando esta por el 2% y 5% de adición además a partir del 15% desciende menos del valor sin porcentaje de adición.

Asimismo se nota claramente la tendencia que a mayor cantidad de aditivo reduce el valor de la densidad.

4.15.2 % de Vacíos de la mezcla Vs. % de Adición aditivo antioxidante

Figura N° 44. Evaluación de % de vacíos de la mezcla.



Análisis de resultados:

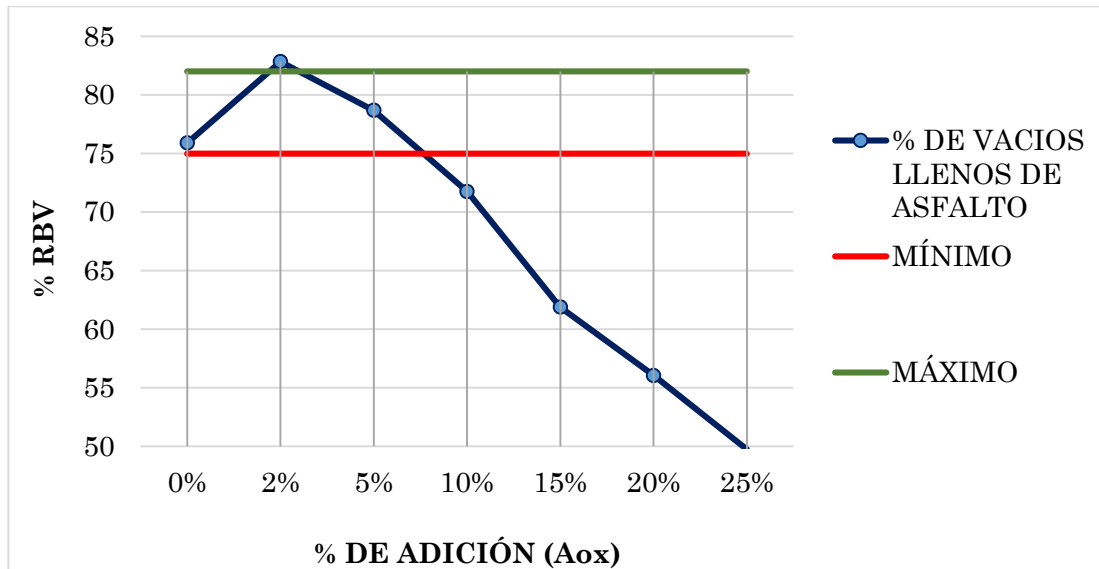
De acuerdo con la gráfica se puede ver que con menos del 5% de aditivo se obtienen porcentajes de vacíos menor que las briquetas elaboradas sin aditivo (0%).

El valor del porcentaje al 2% de Aox es inferior al valor mínimo que nos indica la norma que es del 3% de vacíos.

También se ve que con mayor cantidad de aditivo se incrementa el porcentaje de vacíos de la mezcla, lo cual es malo ya que se tiene en cuenta que la norma nos deja tener como máximo un 5% de vacíos totales dentro de la mezcla, esto ocurre a partir del 10% de adición de Aox.

4.15.3 % de Vacíos llenos de asfalto Vs. % de Adición aditivo antioxidante

Figura N° 45. Evaluación de % de vacíos llenos de asfalto.



Análisis de resultados:

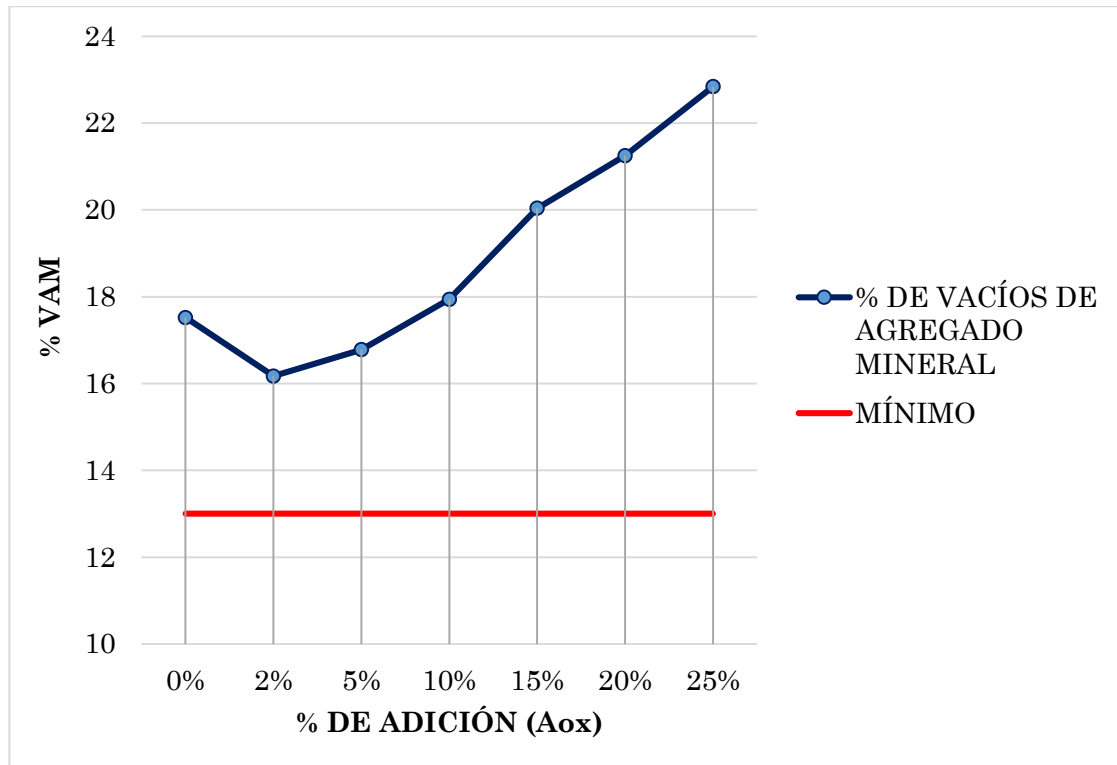
Con el uso de mayor cantidad de aditivo se ve que será menor el porcentaje de vacíos llenos de asfalto; es decir, es decreciente.

El porcentaje del 2% de Aox es mayor al valor máximo establecido por la norma de 82% de RBV. Además se puede observar que al 2 y 5% de aditivo se incrementa el valor obtenido de porcentaje de vacíos llenos de asfalto de las briquetas sin aditivo (0%).

Por último se tiene que tomar en cuenta que a partir del 10% de Aox ya no cumple con el mínimo valor establecido por la norma que es del 75% de RBV.

4.15.4 % de Vacíos de Agregado Mineral Vs. % de Adición aditivo antioxidante

Figura N° 46. Evaluación de % de vacíos de agregado mineral.



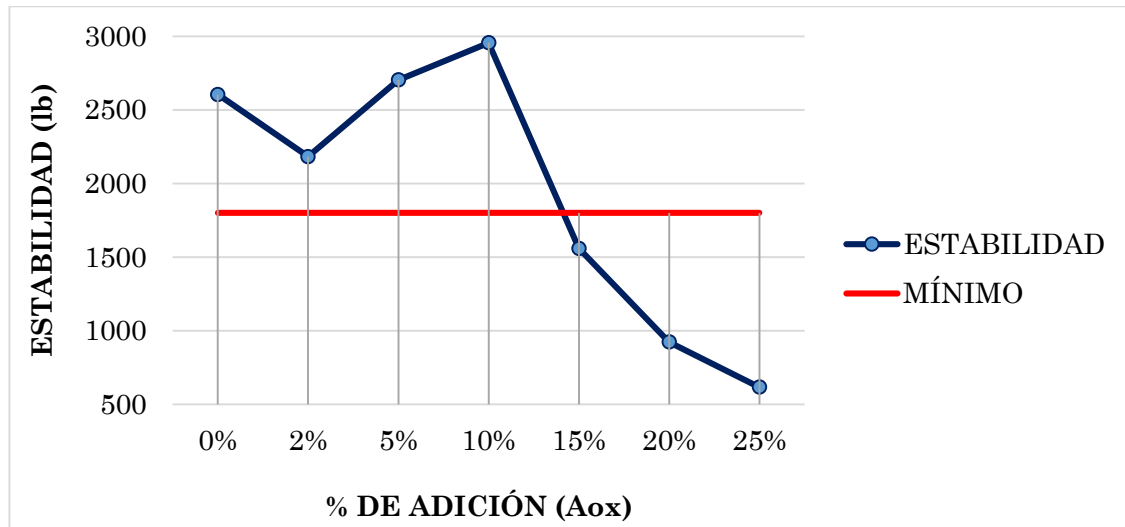
Análisis de resultados:

Con el uso de mayor cantidad de aditivo se tendrá mayor porcentaje de vacíos de agregado mineral; teniendo tendencia creciente. Además se puede observar que al 2 y 5% de aditivo el valor obtenido de porcentaje de vacíos de agregado mineral es menor al de las briquetas sin aditivo (0%).

Por último se puede destacar que todas las briquetas elaboradas con y sin aditivo cumplen con el mínimo valor establecido en la norma para el diseño Marshall que es del 13% de VAM.

4.15.5 Estabilidad Vs. % de Adición aditivo antioxidante

Figura N° 47. Evaluación de Estabilidades.



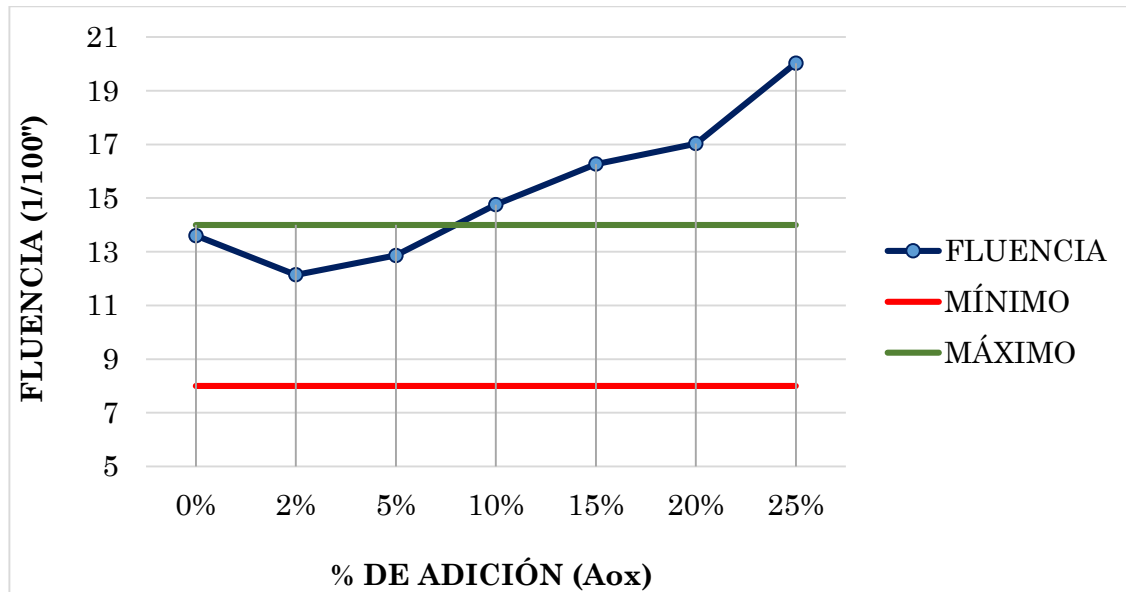
Análisis de resultados:

Observando la gráfica apreciamos que existe una mejora producida entre el 5 y 10% de adición de aditivo con respecto a la estabilidad de las briquetas sin porcentajes de aditivo antioxidante (0%).

Además es a partir del 15% que la estabilidad es menor a 1800 lb. que es el valor mínimo de estabilidad para tránsito pesado, establecido por la norma para el diseño de mezclas asfálticas por el método Marshall, por lo que ya no se consideraría para diseños de esta índole.

4.15.6 Fluencia Vs. % de Adición aditivo antioxidante

Figura N° 48. Evaluación de fluencias.



Análisis de resultados:

La fluencia tiene un comportamiento creciente de acuerdo a mayor cantidad de aditivo adicionemos a la mezcla asfáltica, en todos los porcentajes se cumple con el valor mínimo establecido que es de 8, mientras que el límite superior que nos da la norma es de 14 por lo que a partir del 10% ya no se cumple con el máximo valor impuesto por la norma del diseño de mezclas asfálticas por el método Marshall.

4.16 ANÁLISIS DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ADITIVO.

El análisis se lo realizara a partir de la muestra sin porcentaje de adición, teniendo en cuenta que ambas mezclas asfálticas tienen el mismo porcentaje de asfalto y agregados, además se evaluara de acuerdo a las normas establecidas para el diseño Marshall.

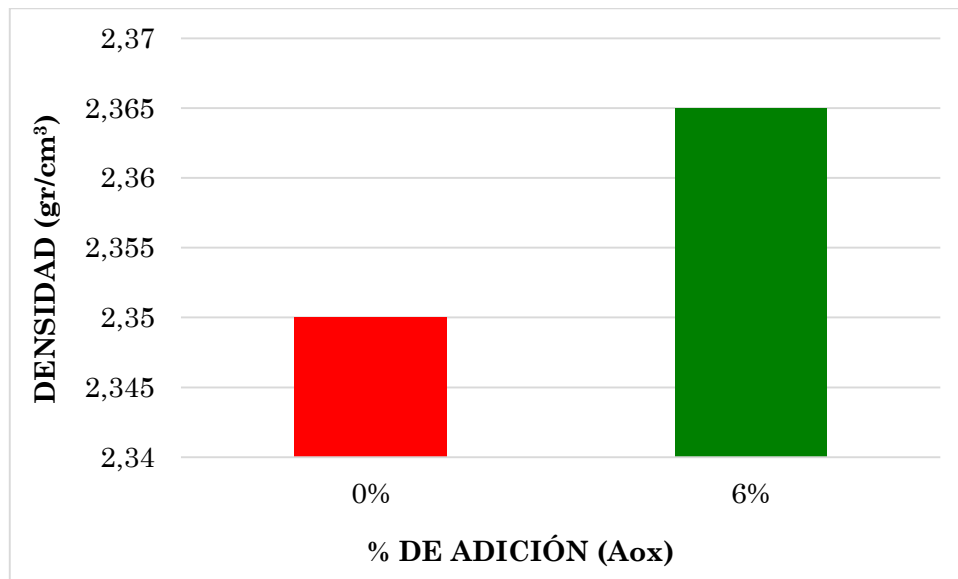
Tabla N°92. Propiedades mecánicas de porcentajes óptimos.

N°	DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES MECÁNICAS					
		Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (Ib)	Fluencia 1/100
1	Mezcla Asfáltica con 5,71% de asfalto (Óptimo) sin porcentaje de adición (0% de Aox).	2,35	4,22	75,9	17,52	2604,4	13,6
2	Mezcla Asfáltica con 5,71% de asfalto (Óptimo) con 6% de adición de Aox (Óptimo).	2,345	4,06	76,78	17,20	2909	13,19
3	Máximo permitido por la norma para el diseño Marshall.	-	5,0	82,0	-	-	14,0
4	Mínimo permitido por la norma para el diseño Marshall.	-	3,0	75,0	13,0	1800	8,0

Fuente: Elaboración propia.

4.16.1 Densidad Vs. % Óptimo de Adición Aox

Figura N° 49. Densidad óptima con y sin aditivo.

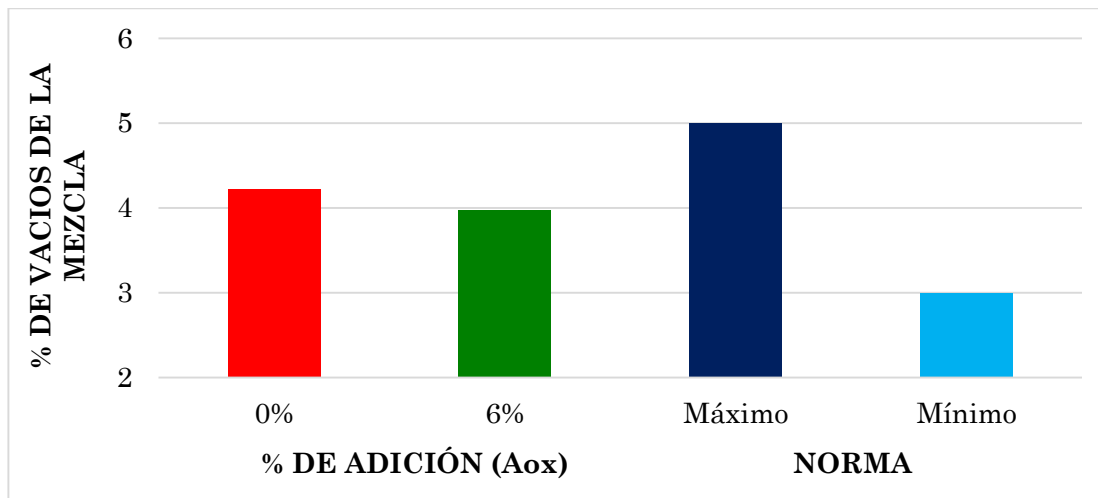


Análisis de resultados:

Se puede ver que con el aditivo aumenta un $0,015 \text{ gr/cm}^3$ en relación con la densidad de las briquetas con el mismo contenido de asfalto pero sin adición del aditivo.

4.16.2 % de Vacíos de la mezcla Vs. % Óptimo de Adición Aox

Figura N° 50. Porcentaje de vacíos de la mezcla óptima con y sin aditivo.

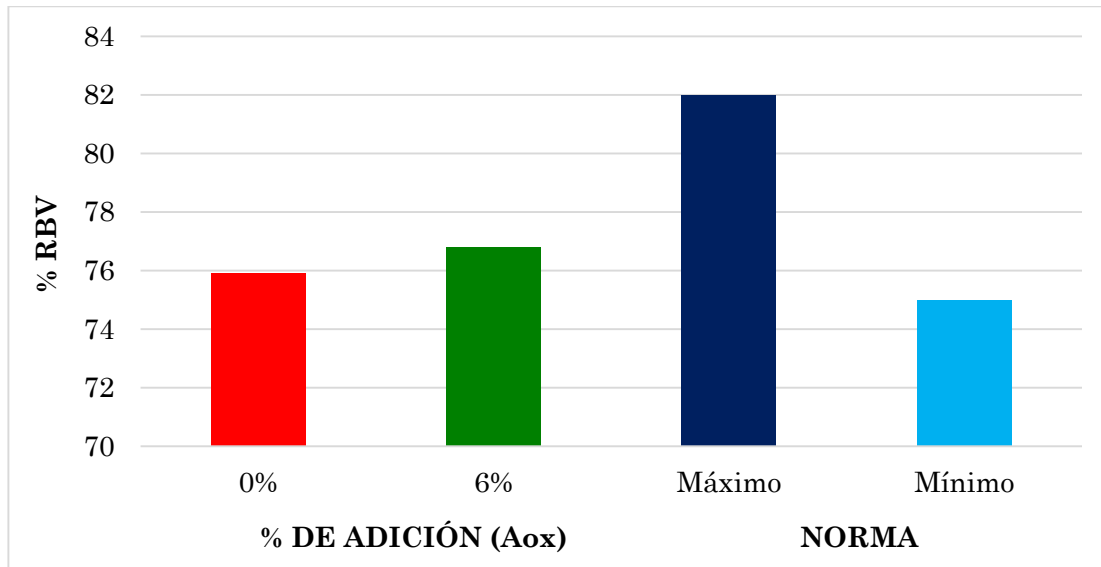


Análisis de resultados:

En esta parte debemos hacer alusión de que la norma nos indica que el porcentaje de vacíos debe estar entre 3-5% por lo que ambos cumplen, pero la mezcla con 6,00% de adición de aditivo (óptimo) está por debajo del valor sin adición de aditivo (0%).

4.16.3 % de Vacíos llenos de Asfalto Vs. % Óptimo de Adición Aox

Figura N° 51. Porcentajes de vacíos llenos de asfalto óptimos con y sin aditivo.

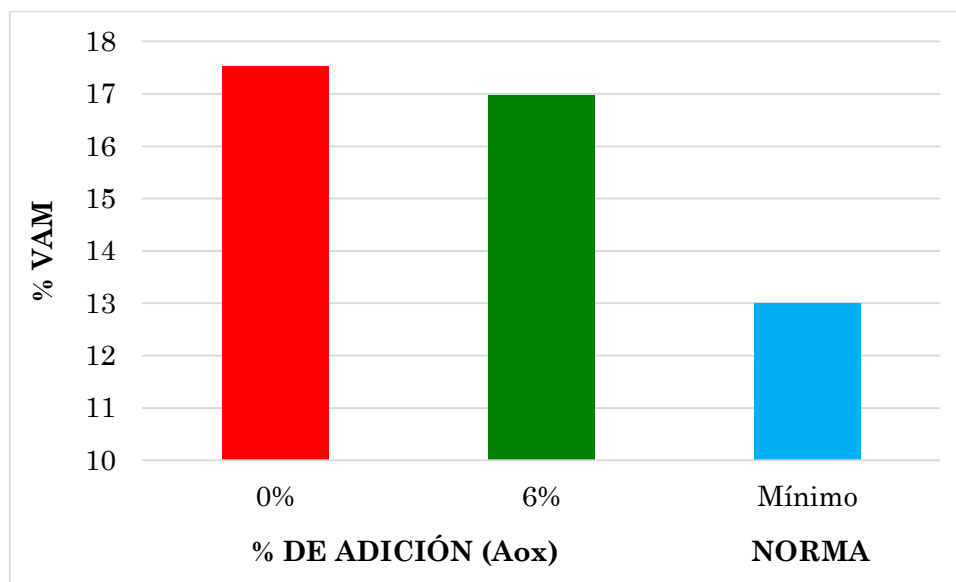


Análisis de resultados:

Con el uso del aditivo (6,00%) dentro de la mezcla asfáltica podemos ver que se aumenta ligeramente el % de RBV, también notamos que ambos cumplen con el mínimo de 75% para mezclas asfálticas de tránsito pesado.

4.16.4 % de Vacíos de agregado mineral Vs. % Óptimo de Adición Aox

Figura N° 52. Porcentajes de vacíos de agregado mineral óptimos con y sin aditivo.

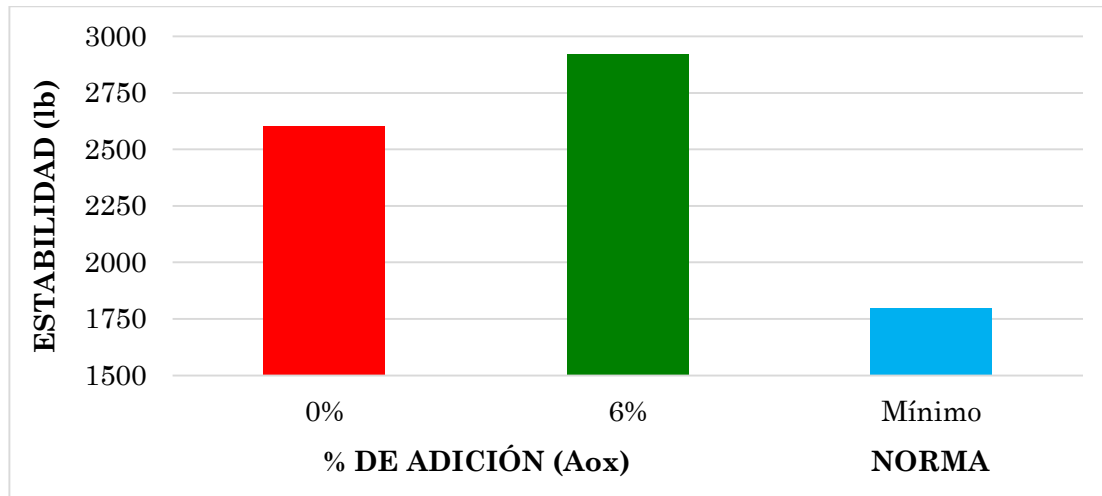


Análisis de resultados:

Es en este punto donde se puede ver que ambos porcentajes de vacíos de agregado mineral son muy similares que además cumplen con la especificación de la norma que nos indica un mínimo de 13% teniendo en cuenta que el tamaño máximo nominal de los agregados es de 3/4".

4.16.5 Estabilidad Vs. % Óptimo de Adición Aox

Figura N° 53. Estabilidades óptimas con y sin aditivo.



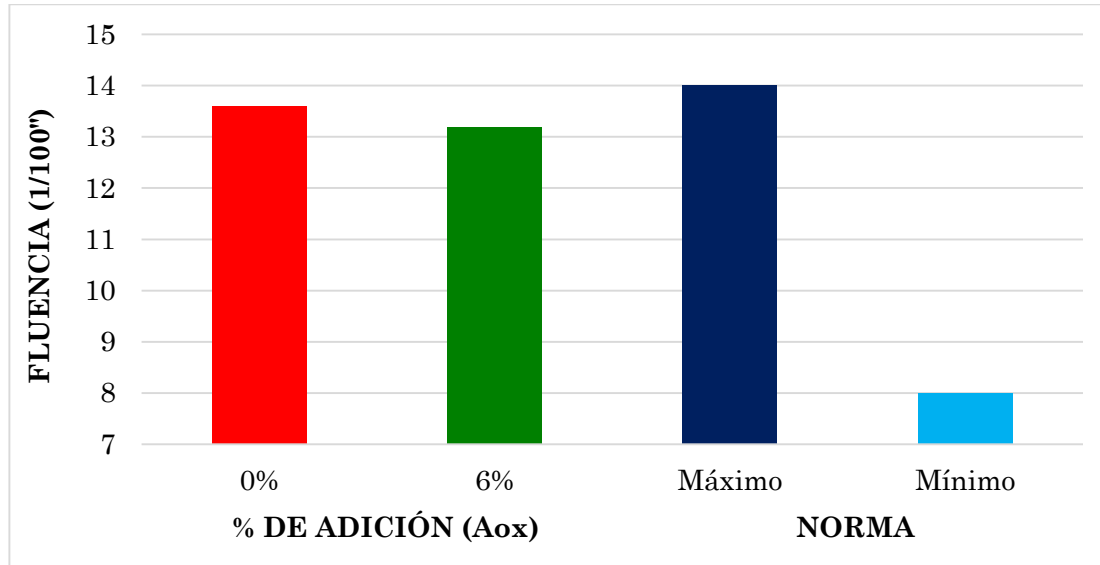
Análisis de resultados:

Se puede observar que con la presencia de aditivo antioxidante se encuentra una mejora considerable dentro de la estabilidad de la mezcla asfáltica cumpliendo con el mínimo para tránsito pesado establecido por norma que es de 1800 lb.

Esta mejora (incremento) es de aproximadamente del 11%.

4.16.6 Fluencia Vs. % Óptimo de Adición Aox

Figura N° 54. Fluencias óptimas con y sin aditivo.



Análisis de resultados:

Con la adición del aditivo antioxidante dentro de la mezcla asfáltica se puede ver que aumenta el valor de la fluencia, con el porcentaje óptimo de aditivo (6,00%) se puede ver que reduce el valor de la fluencia aunque nos encontramos muy cerca al límite impuesta por la norma que nos indica que la fluencia para tránsito pesado es entre 8 - 14 (1/100").

4.17 RESULTADOS DE LAS VARIABLES.

4.17.1 Variable independiente

Teniendo en cuenta que en el punto *1.7.2 Identificación de variables* se dedujo para la presente investigación como variable independiente a las cantidades (porcentajes de adición) de Aditivo Antioxidante (polvo deshidratado de cáscara de uva post proceso enológico).

4.17.2 Variable dependiente

Como variable dependiente se tiene a las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas que son:

- Estabilidad
- Fluencia
- % de vacíos de aire
- % de vacíos de agregado mineral (VAM)
- % de vacíos llenos de asfalto (RBV)
- Densidad.

4.17.3 Relación y resumen de resultados de las variables

Tabla N° 97. Resultados y relación de variables.

		VARIABLE DEPENDIENTE PROPIEDADES MECÁNICAS					
		Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100”
VARIABLE INDEPENDIENTE PORCENTAJES DE ADICIÓN	0%	2,350	4,22	17,52	75,90	2604,4	13,60
	2%	2,387	2,78	16,17	82,83	2182,8	12,14
	5%	2,370	3,58	16,78	78,68	2703,9	12,86
	10%	2,336	5,07	17,94	71,76	2955,9	14,76
	15%	2,280	7,64	20,04	61,88	1558,7	16,27
	20%	2,240	9,34	21,25	56,05	923,8	17,03
	25%	2,200	11,48	22,84	49,74	617,2	20,03
	Óptimo 6%	2,365	3,98	16,97	76,80	2924,0	13,19

Fuente: Elaboración propia.

En la presente tabla se muestra como varían y se relacionan ambas variables de la investigación, donde se remarca los resultados obtenidos del porcentaje óptimo de adición del aditivo antioxidante.

4.18 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.

Dentro de la presente investigación se tiene la siguiente hipótesis:

Si se realiza la adición de un antioxidante proveniente del residuo de la industria enológica, siendo el polvo deshidratado de la cáscara de uva su componente, dentro de una mezcla asfáltica y verificando ciertos porcentajes de adición, entonces se obtendrá posibles mejoras en las distintas propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas que podrá ser evaluada en busca de los criterios necesarios para su aplicación.

Al terminar los análisis de resultados se puede verificar que la hipótesis es válida ya que con el porcentaje óptimo de adición de aditivo (6%) si se obtiene mejoras, en algunos casos menores y en otros un poco más significativos, dentro de las propiedades mecánicas establecidas (estabilidad, fluencia, % de vacíos de la mezcla, % de vacíos de agregado mineral, % de vacíos llenos de asfalto, densidad).

4.19 ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN.

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

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

El costo constituye, además, la base para la formación de los precios de los productos elaborados. Por ello es tan importante la obtención del máximo de producción, con el mínimo indispensable de gastos, para garantizar así el gradual incremento de las ganancias o utilidades. Para el presente estudio se analiza los costos de producción de la planta de mezcla asfáltica, dichos costos analizados no se incluye ningún valor por el concepto de utilidad porque lo que se pretende es determinar el costo neto de producción de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada a partir de la adición de antioxidante.

Dosificación de la mezcla convencional:

Tabla N° 98. Dosificación para la mezcla.

Calculo de la dosificación de la mezcla convencional	
Materiales	Porcentaje
Agregado de 3/4" (18%)	16,97%
Agregado de 3/8" (32%)	30,17%
Arena (50%)	47,15%
Cemento asfáltico	5,71%

Fuente: Elaboración propia.

Composición de la mezcla:

Agregado= 94,29%

Cemento asfáltico= 5,71%

Peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones= 2250 kg/m³.

Tabla N° 99. Dosificación para 1 m³.

Material	Peso (kg)	Peso específico (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agregado de 3/4"	381,83	2594	0,15
Agregado de 3/8"	678,82	2608	0,26
Arena	1060,88	2612	0,41
Cemento asfáltico	128,47	1009	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 100. Dosificación del cemento asfáltico modificado para 1 m³.

% de adición	Peso Cemento asfáltico (kg)	Peso de aditivo (kg)	Peso de cemento asfáltico + aditivo (kg)
2%	125,90	2,57	128,47
5%	122,05	6,42	
10%	115,62	12,85	
15%	109,20	19,27	
20%	102,78	25,69	
25%	96,35	32,12	
Óptimo 6%	120,76	7,71	

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del análisis de costos de elaboración del aditivo se tiene lo siguiente:

- La materia prima tiene un costo cero.
- El proceso de molienda que se realiza para transformar la cáscara de uva en polvo deshidratado se puede realizar dentro de los molinos que muelen maíz y trigo, su costo es de 1 Bs/kg.
- El transporte tomando en cuenta que se realice en una volqueta de 12 m³ (1270 kg) tiene un costo de 227,85 Bs/hr, por lo que se asume el traslado en 0,7 hr

teniendo como resultado 159,5 Bs. este precio para la volqueta llena por lo que se tendría una estimación de 0,13 Bs/kg.

Tabla N° 101. Costo de producción del aditivo por kg.

MATERIAL	COSTO (Bs)
Materia prima (cáscara de uva post proceso enológico)	0
Molienda	1,00
Transporte	0,13
Total	1,13

Fuente: Elaboración propia.

Planilla de precio unitario para la mezcla convencional:

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO (MEZCLA : CONVENCIONAL)						
ACTIVIDAD COLOCADO DE CARPETA :						
UNIDAD: m ³						
CANTIDAD: 1,00						
TIPO DE CAMBIO Bs/\$us:						6,91
	A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
1	-	Diesel	lt	18,00	3,72	66,96
2	-	Arena clasificada	m ³	0,41	145,00	59,45
3	-	Cemento asfáltico 85-100	kg	128,47	10,29	1.321,96
4	-	Grava triturada clasificada 3/4"	m ³	0,15	152,00	22,80
5	-	Grava triturada clasificada 3/8"	m ³	0,26	162,00	42,12
>	D	TOTAL MATERIALES			(A)	1.513,29
	B	MANO DE OBRA				
1	-	Obrero	Hr	0,07	13,18	0,92
2	-	Capataz	Hr	1,80	18,02	32,44
3	-	Chofer	Hr	0,00	16,44	0,00
4	-	Ayudante de maquinaria y equipo	Hr	0,03	13,18	0,40

5	-	Operador de planta	Hr	0,09	24,85	2,24
6	-	Operador de equipo liviano	Hr	0,08	16,44	1,32
7	-	Operador	Hr	0,82	18,02	14,78
>	E	SUBTOTAL MANO DE OBRA			(B)	52,08
	F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	37,07
	O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	13,32
>	G	TOTAL MANO DE OBRA			(E+F+O)=	102,47
	C	EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
1	-	Terminadora de asfalto	Hr	0,08	350	28,00
2	-	Cargador frontal de ruedas	Hr	0	420,7	0,00
3	-	Compactador rodillo liso y pata de cabra autoprop.	Hr	0,04	304,66	12,19
4	-	Escoba mecanica autopropulsada	Hr	0,03	70,60	2,12
5	-	Planta calentamiento de asfalto	Hr	0,09	964,97	86,85
6	-	Rodillo neumatico TPS 10000	Hr	0,08	332,33	26,59
7	-	Volquete 12 m3 o 20 Tn	Hr	0,03	227,85	6,84
		Herramientas menores		5,00%	(G)	5,12
>	I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS			(C+H)	167,70
>	J	SUB TOTAL			(D+G+I)	1783,46
>	L	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		15,50%	(J)	276,44
>	M	PARCIAL			(J+L)	2.059,89
>	N	UTILIDAD		10,00%	(M)	205,99
>	Q	TOTAL PRECIO UNITARIO			(M+N)	2.265,88
>		PRECIO ADOPTADO				2.265,88
Son: Dos mil doscientos sesenta y cinco con 88/100 Bolivianos						

Planilla de precio unitario para la mezcla modificada a partir del óptimo de adición:

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO: CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO (MEZCLA MODIFICADA)						
ACTIVIDAD : COLOCADO DE CARPETA						
UNIDAD: m ³						
CANTIDAD: 1,00						
TIPO DE CAMBIO Bs/\$us:						6,91
	A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
1	-	Diesel	lt	18,00	3,72	66,96
2	-	Arena clasificada	m ³	0,41	145,00	59,45
3	-	Cemento asfáltico 85-100	kg	120,76	10,29	1.242,62
4	-	Grava triturada clasificada 3/4"	m ³	0,15	152,00	22,80
5	-	Grava triturada clasificada 3/8"	m ³	0,26	162,00	42,12
6	-	Residuo Enológico (6%)	kg	7,71	1,13	8,71
>	D	TOTAL MATERIALES			(A)	1.442,66
	B	MANO DE OBRA				
1	-	Obrero	Hr	0,07	13,18	0,92
2	-	Capataz	Hr	1,80	18,02	32,44
3	-	Chofer	Hr	0,00	16,44	0,00
4	-	Ayudante de maquinaria y equipo	Hr	0,03	13,18	0,40
5	-	Operador de planta	Hr	0,09	24,85	2,24
6	-	Operador de equipo liviano	Hr	0,08	16,44	1,32
7	-	Operador	Hr	0,82	18,02	14,78
>	E	SUBTOTAL MANO DE OBRA			(B)	52,08
	F	Cargas sociales		71,18%	(E)=	37,07
	O	Impuestos al valor agregado		14,94%	(E+F)=	13,32
>	G	TOTAL MANO DE OBRA			(E+F+O)=	102,47
	C	EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
1	-	Terminadora de asfalto	Hr	0,08	350	28,00
2	-	Cargador frontal de ruedas	Hr	0,0	420,7	0,00
3	-	Compactador rodillo liso y pata de cabra autopro.	Hr	0,04	304,66	12,19

4	-	Escoba mecánica autopropulsada	Hr	0,03	70,60	2,12
5	-	Planta calentamiento de asfalto	Hr	0,09	964,97	86,85
6	-	Rodillo neumático TPS 10000	Hr	0,08	332,33	26,59
7	-	Volquete 12 m ³ o 20 Tn	Hr	0,03	227,85	6,84
		Herramientas menores		5,00%	(G)	5,12
>	I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS			(C+H)	167,70
>	J	SUB TOTAL			(D+G+I)	1712,83
>	L	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		15,50%	(J)	265,49
>	M	PARCIAL			(J+L)	1.978,32
>	N	UTILIDAD		10,00%	(M)	197,83
>	Q	TOTAL PRECIO UNITARIO			(N+P)	2.176,16
>		PRECIO ADOPTADO				2.176,16
Son: Dos mil ciento setenta y seis 16/100 Bolivianos						

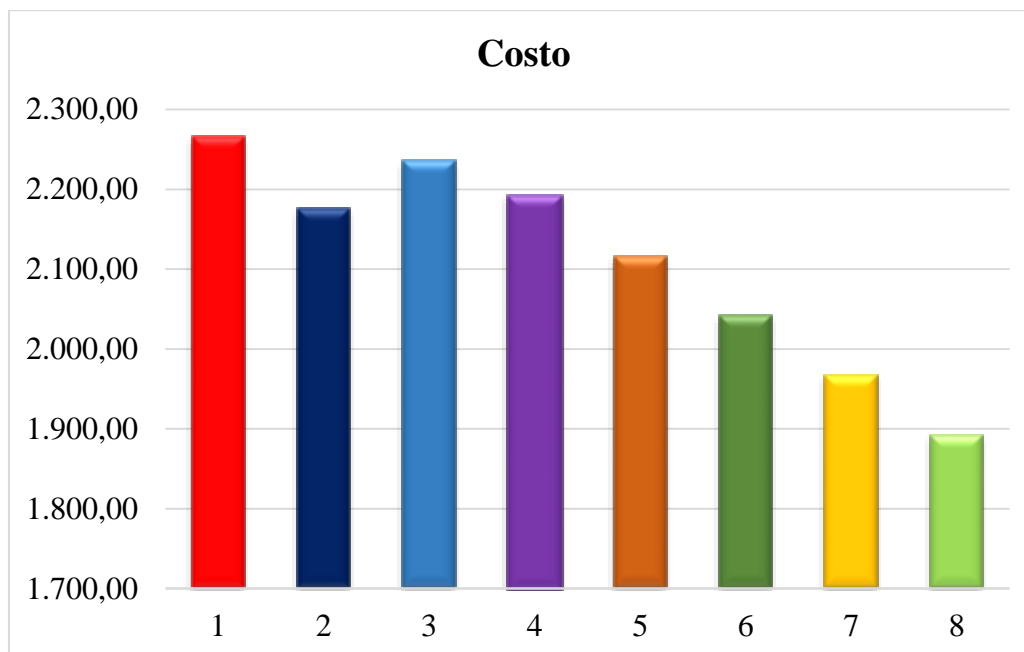
Análisis de precios unitarios realizados para las demás mezclas asfálticas:

Tabla N° 102. Costos de producción.

N°	DESCRIPCIÓN	Costo (Bs)
1	Mezcla convencional (óptimo de asfalto)	2.265,88
2	Mezcla con óptimo de adición de aditivo (6%)	2.176,16
3	Mezcla convencional + 2% de adición de aditivo	2.235,97
4	Mezcla convencional + 5% de adición de aditivo	2.191,17
5	Mezcla convencional + 10% de adición de aditivo	2.116,34
6	Mezcla convencional + 10% de adición de aditivo	2.041,62
7	Mezcla convencional + 20% de adición de aditivo	1.966,91
8	Mezcla convencional + 25% de adición de aditivo	1.892,08

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 55. Costos de las diferentes mezclas asfálticas.



En la tabla N°102 se puede observar los costos para la producción en planta de la mezcla asfáltica convencional, mezcla asfáltica modificada debido a la adición de aditivo antioxidante y la incidencia que tiene el uso de este aditivo dentro de las mezclas asfálticas se observa dentro de la figura N°55.

Las planillas de precios unitarios para las diferentes mezclas a distinto porcentajes de adición se encuentran en los anexos.

4.20 VARIACIÓN EN PORCENTAJE DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN EN PLANTA.

En la siguiente tabla se observara como fluctúa el costo de producción de:

- Mezcla asfáltica convencional vs Mezcla asfáltica con porcentaje de adición.

Tabla N° 103. Variación de costos.

Costo por m ³ (Bs)			Incremento de costo	
% de adición aditivo	Convencional	Mezcla asfáltica con % de adición	Diferencia mezcla convencional vs mezcla con % adición (Bs)	Porcentaje de Variación (%)
6% óptimo	2265,88	2176,16	89,73	3,96
2%		2235,97	29,91	1,32
5%		2191,17	74,71	3,30
10%		2116,34	149,55	6,60
15%		2041,62	224,26	9,90
20%		1966,91	298,97	13,19
25%		1892,08	373,81	16,50

Fuente: Elaboración propia.

Los valores demostrados en la tabla N°103 demuestran la variación del precio debido a los incrementos realizados por la adición del aditivo dentro de la mezcla asfáltica.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Una vez terminada la investigación se tiene las siguientes conclusiones:

- Se concluyó que el trabajo de investigación cumplió con los objetivos planteados.
- Se pudo realizar una evaluación del efecto que produce el aditivo antioxidante que es la cáscara de uva dentro de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica con cemento asfáltico convencional.
- De acuerdo a la hipótesis planteada se verificó en la investigación que las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, se incrementan y reducen de acuerdo a la variación del porcentaje de adición añadidas en las mezclas, teniendo en cuenta que se llegó a obtener un porcentaje óptimo en dicho porcentaje se considera que las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica si mejoran.
- La elaboración de las mezclas con adición del aditivo antioxidante, polvo deshidratado de la cáscara de uva, siguen lineamientos de fabricación de las mezclas convencionales, tomando en cuenta que la adición es directa al cemento asfáltico.
- Dentro del análisis de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico modificado con el aditivo antioxidante se pudo evidenciar que la penetración es menor por lo que en si el aditivo aumenta la rigidez del cemento asfáltico.
- De acuerdo a los resultados obtenidos se puede evidenciar que la densidad de las mezclas asfálticas decrece a mayor cantidad de adición de antioxidante.
- El porcentaje de vacíos total de la mezcla aumenta a medida que se incremente el valor de adición en la mezcla.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV) disminuye mientras se aumente más cantidad de aditivo.
- El porcentaje de vacíos de agregado mineral (VAM) aumenta a mayor cantidad de la adición de aditivo en la mezcla.
- La estabilidad sufre un fenómeno de incremento entre el 2-10% de adición de aditivo mientras reduce bruscamente a partir del 15%.

- La fluencia tiene un comportamiento creciente que a medida que se aumente el porcentaje de adición su valor de fluencia igual aumenta.
- Debido a los fenómenos que ocurren en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica se pudo realizar un análisis para determinar un valor óptimo de adición que permita tener los valores más representativos del efecto que produce la adición del antioxidante dentro de la mezcla asfáltica; siendo el valor óptimo del 6,00%.

Tabla N° 104. Tabla resumen de resultados.

DESCRIPCIÓN	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (V _v)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100"
Mezcla Asfáltica con 5,71% de asfalto (Óptimo) sin porcentaje de adición (0% de Aox).	2,350	4,22	75,9	17,52	2604,4	13,6
Mezcla Asfáltica con 5,71% de asfalto (Óptimo) con 6% de adición de Aox (Óptimo).	2,345	4,06	76,8	17,20	2909,0	13,2
Máximo permitido por la norma para el diseño Marshall.	-	5,00	82,0	-	-	14,0
Mínimo permitido por la norma para el diseño Marshall.	-	3,00	75,0	13,00	1800,0	8,0

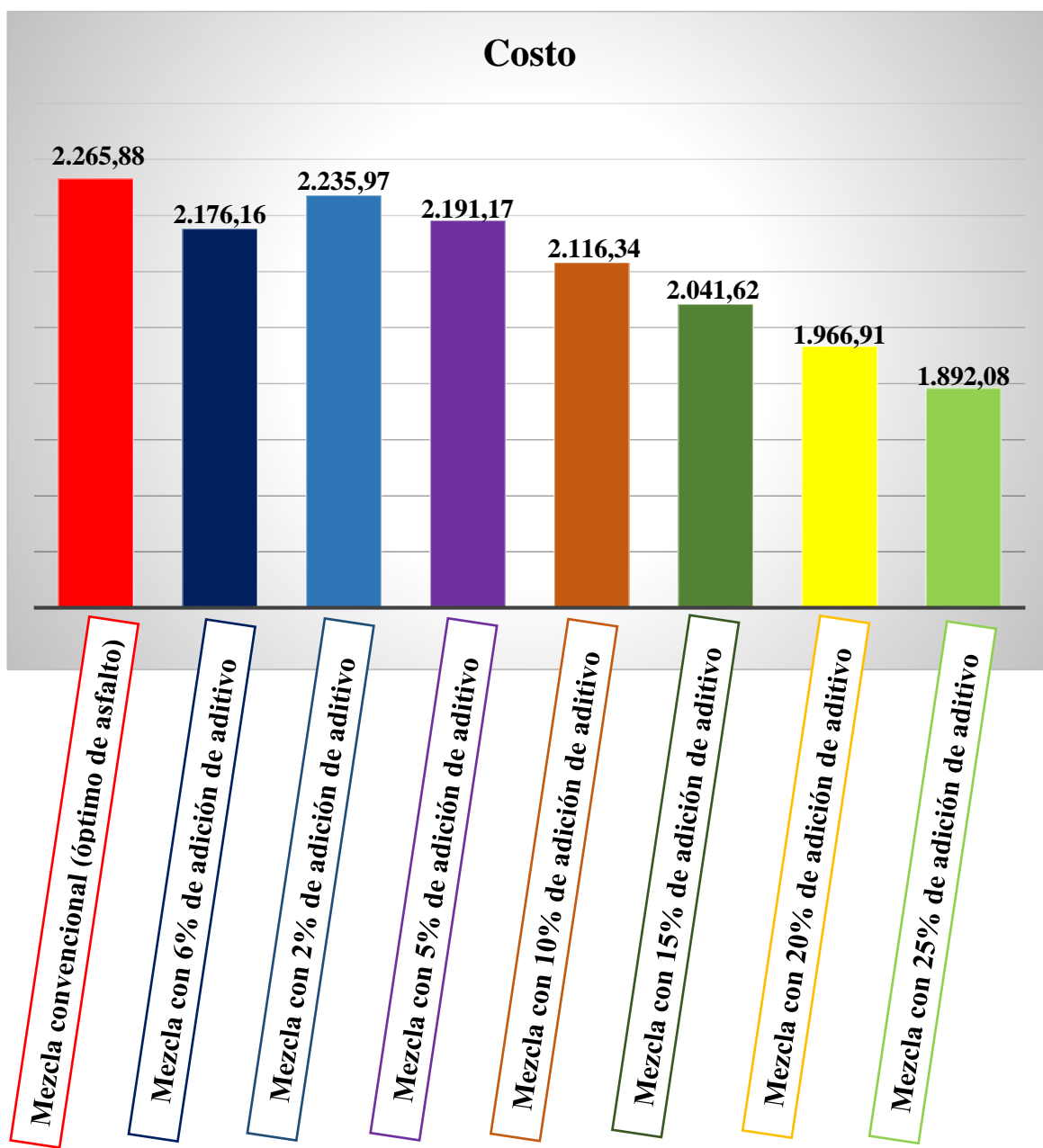
Fuente: Elaboración propia.

- En cada una de las propiedades se logró evaluar su comportamiento a partir de los valores mínimos y máximos de la norma para el diseño de las mezclas asfálticas por el método Marshall, verificando hasta que porcentajes de adición de aditivo se logra mantener en los rangos impuestos.
- Es a partir del 10% de adición de aditivo que se pudo evidenciar que las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica no cumplen con los valores establecidos para el diseño por el método Marshall, por lo tanto es el valor máximo de adición que se

puede añadir a la mezcla asfáltica sin perjudicar ni afectar negativamente sus propiedades.

- Al finalizar se propone los precios por metro cúbico, debido a que el aditivo reduce ligeramente el precio de las mezclas convencionales esto se debe a que el aditivo al ser residuo no contempla precio alguno.

Figura N° 56. Variación de costo por m³.



5.2 RECOMENDACIONES

Una vez concluido el trabajo de investigación se tiene las siguientes recomendaciones:

- En el presente trabajo de grado por disponibilidad de tiempo se realizó 3 briquetas para cada porcentaje de polvo deshidratado de cáscara de uva, se recomienda realizar más ensayos para obtener una mayor representatividad en los datos a analizar y evaluar sus propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.
- Se debe tener en cuenta la temperatura de aplicación y la temperatura de compactado mediante un previo ensayo de viscosidad vs temperatura, para poder aplicar estos valores al ensayo de diseño en este caso el ensayo Marshall.
- Golpear con el martillo compactador a una velocidad y altura constante debido a que el ensayo Marshall es una práctica demasiado cuidadosa debido a que un pequeño error puede hacer fallar los resultados.
- Evitar sobrecalentar varias veces el cemento asfáltico debido a que pierde sus propiedades, por lo que se debe calentar el material solo al momento de realizar los ensayos.
- Tener sumo cuidado durante el proceso de medición y obtención de datos para que se pueda verificar si cumple o se encuentra dentro de los parámetros establecidos o de lo contrario poder rechazar con seguridad.
- Para la fabricación de mezclas con la adición de aditivo se debe preparar cantidades necesarias ya que el cemento asfáltico con aditivo no se debe recalentar debido a que se puede afectar las viscosidades.