

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1 INTRODUCCIÓN

La mayoría de las vías se construyen en pavimentos flexibles, adicionalmente la capa asfáltica de dichas estructuras en su mayoría se fabrica con mezclas de concreto asfálticas. Para la elaboración de estas mezclas asfálticas se requiere de materiales granulares naturales, siendo necesaria la extracción de éstos mediante la explotación de canteras en los cerros, en ríos y otros lugares, formando parte del proceso de la contaminación del medio ambiente.

Conscientes de este problema, se sustituyen los materiales naturales por materiales producto del reciclaje de la construcción, este proyecto incursiona en la búsqueda de una nueva alternativa de llenante mineral o filler como es el polvo de ladrillo gambote.

El filler es un mineral no arcilloso que pasa el tamiz N°200 y es incorporado 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. Una pequeña cantidad de llenante mineral puede reducir el contenido óptimo de asfalto. Debido a que el llenante mineral es un factor importante que afecta a la durabilidad, deberá ser controlado estrictamente en su cantidad y su calidad.

Si bien es cierto que el porcentaje en peso del llenante mineral en una mezcla asfáltica es bajo, no deja de ser despreciable y puede contribuir e involucrar la producción de agregados por medio de escombros de ladrillo que reemplacen los agregados naturales no renovables que son empleados en la fabricación de mezclas asfálticas.

En el presente trabajo se pretende evaluar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, utilizando como filler el polvo de ladrillo gambote proveniente del residuo de las construcciones de tal manera se pueda verificar si existe alguna mejora en las propiedades mecánicas de mezcla asfáltica. Dentro del aporte teórico, el trabajo se enfoca en la teoría respecto al diseño de mezclas asfálticas, de sus características y propiedades mecánicas. 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 polvo de ladrillo es proviene de residuos de las construcciones en nuestro medio.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El constante avance tecnológico que existe obliga a experimentar con nuevos productos, métodos y formas de aplicación de los 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 la influencia que presentan las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica al adicionar polvo de ladrillo gambote proveniente de residuos de construcciones o demoliciones como reemplazo del filler.

Estos residuos como ser el polvo de ladrillo gambote tienen un bajo potencial contaminante, pero se depositan generalmente de manera incontrolada, dando lugar a importantes impactos negativos, tanto desde el punto de vista ecológico como paisajístico.

Esta investigación se realizó con la finalidad de demostrar que el filler o relleno mineral, componente de la mezcla asfáltica, sí influye en diversos factores de la misma. Asimismo, como varían respecto al filler natural, además de generar conciencia y demostrar que los residuos de las construcciones o demoliciones sí pueden tener otros usos, evitando así los impactos negativos que producen.

Por todo lo anteriormente mencionado, surge la necesidad de considerar para la presente investigación el analizar la variación del comportamiento mecánico (estabilidad, fluencia, % de vacíos de aire, % de vacíos de agregado mineral, y densidades), al adicionar diferentes porcentajes del polvo de ladrillo gambote como reemplazo del filler en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas. Para realizar esta evaluación proponemos realizar una comparación entre la mezcla asfáltica convencional, y otra

modificada con el polvo de ladrillo gambote como reemplazo del filler en la mezcla asfáltica de esta manera poder observar los posibles cambios que presentarán dichas propiedades.

En el aspecto económico

La reducción de la vida útil en vías es más notoria y con ello, el aumento de los costos para su mantenimiento; esto se puede dar por diferentes razones como son: un mal diseño del pavimento, también puede influir el clima, pero en primera instancia se puede ver afectado por la utilización de materiales de baja calidad y que no cumplen con los rangos de calidad establecidos. Por ello, se ha despertado el interés en realizar investigaciones para ver las causas de ello y buscar soluciones; además de generar puestos de trabajo para realizar el proceso de recolección, triturado, clasificación que forman parte del proceso de reutilización.

En el aspecto ambiental

En la actualidad existe una problemática con respecto a los residuos de construcción y demolición, debido a que éstos no cuentan con un lugar de concentración y son arrojados en diferentes puntos de la ciudad, contaminando principalmente al suelo y el aire. Por ello al reciclar este tipo de desechos se reduce la contaminación por el proceso de elaboración del filler.

En el aspecto técnico

Resultó provechoso realizar esta investigación, ya que los materiales a ser analizados son muy accesibles, y a través de los resultados se demostró la influencia del filler sobre las propiedades de una mezcla asfáltica. La obtención del polvo de ladrillo gambote no resultó complicada, ya que al ser un material frágil se puede pulverizar con facilidad; en este caso se optó por pulverizarlo en una máquina trituradora, obteniendo de esta manera el polvo de ladrillo que luego pasa a ser tamizado por el tamiz N°200.

En el aspecto social

Disminuir el impacto visual negativo y el desorden mejorando la imagen de la ciudad de Tarija.

1.3 SITUACIÓN PROBLÉMICA

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.

Hoy en día se adicionan agentes modificadores para la mezcla asfáltica con el objeto de mejorar su comportamiento mecánico a temperaturas altas y bajas de servicio, ya que al adicionar estos agentes cumplen con lo establecido para su utilización en carreteras.

Con el presente estudio proponemos usar el polvo de ladrillo gambote como filler, donde se pretende detectar posibles variaciones en el comportamiento mecánico de las propiedades de las mezclas asfálticas, para así restar los problemas que tienen las mezclas asfálticas convencionales y posibles mejoras a sus propiedades como su durabilidad, estabilidad.

1.3.1 Determinación del Problema

¿Si se reemplaza el filler natural por un filler proveniente del residuo de las construcciones y demoliciones como lo es el polvo de ladrillo gambote, se mejorarán las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Evaluar los cambios que experimentan las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, utilizando como filler el polvo de ladrillo gambote proveniente de los residuos de las construcciones o demoliciones, de tal manera se pueda verificar la influencia en las propiedades mecánicas de mezcla asfáltica.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el procedimiento a ejecución, los ensayos de control y su análisis a través del método Marshall.
- Establecer la caracterización de los agregados.
- Establecer las características del polvo de ladrillo gambote como filler.

- Identificar la dosificación óptima de asfalto, filler y agregados; de tal manera que la mezcla asfáltica obtenida cumpla con especificaciones de la norma AASTHO.
- Comparar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modifica con el nuevo filler, con una mezcla asfáltica convencional.
- Comparar el costo de las mezclas asfálticas convencionales con la mezcla asfáltica modificada.

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis

Adicionando el polvo de ladrillo gambote como filler, se mejorarán las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en comparación con el filler natural.

1.5.2 Identificación de las Variables

1.5.2.1 Variables independientes

% filler natural.

% filler de polvo de ladrillo gambote.

1.5.2.2 Variables dependientes

Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

1.5.3 Conceptualización y Operacionalización

Tabla N° 1.1: Operacionalización de las Variables Independientes.

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
% de filler natural.	El filler mineral se compondrá de arena fina con partículas muy finas que pasen el tamiz N°200, perfectamente seco y no contendrá grumos.	Arena fina	Muestra que pase el tamiz N°200.	0,1,2,3,4,5%
% de filler del polvo de ladrillo gambote.	Residuo generado de las construcciones o demoliciones, en estado, limpio de residuos de las construcciones.	Polvo de ladrillo gambote	Muestra que pase el tamiz N°200.	0,1,2,3,4,5%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 1.2: Operacionalización de las Variables Dependientes.

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor / Acción
Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas	Se refiere a aquellas propiedades que se manifiestan cuando aplicamos una carga de servicio.	Método Marshall	1. Estabilidad	Mínima de 818,8kg a 75 golpes.
			2. Fluencia	8mm-14mm. (0,01pulgadas) a 75golpes
			3. % de vacíos de aire	3 - 5
			4. % de Vacíos de Agregado Mineral V.A.M	13
			5. Densidad	---

Fuente: Elaboración Propia.

1.6 DISEÑO METODOLÓGICO

1.6.1 Unidad de Estudio, Población y Muestra.

1.6.1.1 Unidad de estudio

Comportamiento mecánico de las propiedades de mezclas asfálticas cuando se usará el polvo de ladrillo gambote como reemplazo del filler:

Estabilidad

Fluencia

% de vacíos de aire

% de Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M)

Densidad

1.6.1.2 Población

Distintas combinaciones de dosificaciones entre las mezclas asfálticas y el polvo de ladrillo gambote, proveniente del residuo de construcciones (porcentajes del polvo de ladrillo gambote: 0%, 1%, 2%, 3%, 4% y 5%).

1.6.1.3 Muestra

Cantidad de filler (porcentajes) del filler natural y del polvo de ladrillo gambote en las mezclas asfálticas utilizando agregados propios de la región.

1.6.2 Tamaño de Muestra

Se realizará la evaluación de las propiedades mecánicas mediante el ensayo de laboratorio Marshall, observando los cambios producidos cuando se varía la cantidad del filler, en las mezclas asfálticas.

Se utilizará la técnica de muestreo estratificado donde:

Tabla N° 1.3: Datos nivel confianza 95%	
z	1,96 (valor del NC)
p	0,5 (probabilidad de que ocurra el suceso)
q	0,5 (no probabilidad de que ocurra el suceso)
e	0,05 (error probable)

Fuente: Elaboración Propia.

Calculando N

N= Población.

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

Calculando n para la muestra estratificada:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i * p_i * q_i}{N * \frac{e^2}{z^2} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n N_i * p_i * q_i} = 192 \text{ elementos}$$

Número de muestras para un nivel de confianza del 95% y un error del 5%.

Tabla N° 1.4: Planilla de Muestreo.

Ensayos	Cantidad (Ni)	pi	qi	pi*qi	Ni*pi*qi	wi	ni	Asumido
Granulometría de áridos	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0,0156	3,0	3
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	0,972	1
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0,0156	3,0	3
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0,0156	3,0	3
Peso unitario	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0,0156	3,0	3
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
Hidrómetro	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0052	0,972	1
Caracterización del cemento asfáltico								
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	68	0,5	0,5	0,25	17	0,1771	34,04	34
Fluencia	68	0,5	0,5	0,25	17	0,1771	34,04	34
% de vacíos de aire	68	0,5	0,5	0,25	17	0,1771	34,04	34
% de V.A.M (Vacíos de Agregado Mineral)	68	0,5	0,5	0,25	17	0,1771	34,04	34
Peso unitario	68	0,5	0,5	0,25	17	0,1771	34,04	34
Total	384				97	0,999		196

Fuente: Elaboración Propia.

1.7 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realiza en la ciudad de Tarija, además de su respectiva aplicación. Para esta investigación se utilizarán áridos propios de la región, de esta manera se realizará una evaluación del efecto que produce un material reciclado, como es el polvo de ladrillo gambote, dentro de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

En el 1° Capítulo se desarrolla todo lo que se pretende realizar en la investigación, los objetivos que se tienen durante el transcurso del proyecto y el objetivo final al cual se pretende llegar; la justificación que se da para que la investigación tenga validez, que es lo que se pretende solucionar y que se quiere dar a conocer, los beneficios que se tendrán con la realización de la investigación.

El 2° Capítulo está enfocado en la recopilación de información bibliográfica y antecedentes, análisis de información de proyectos similares y la revisión de la normativa.

Este capítulo contendrá toda la información necesaria para la realización de la investigación, dando los conceptos necesarios para los ensayos y las normativas a seguir hasta el final de la investigación.

En el Capítulo 3° se comienza con la realización de los ensayos, es decir la parte práctica una vez ya conocido lo teórico, se realizará la selección del material en la cantera, obtención del polvo de ladrillo gambote, ensayos a los materiales de la cantera y a la determinación de las propiedades del filler mediante ensayos.

También se caracteriza los agregados con la descripción de cada uno de ellos, se hará un análisis de los materiales que entrarán en la investigación, tomando por separado el filler natural y el filler polvo de ladrillo gambote.

En el Capítulo 4° continuaremos la parte práctica dando inicio a la etapa de cálculo, diseño y el análisis de los ensayos necesarios para el cumplimiento de los objetivos de la investigación, se realizarán los ensayos de las mezclas asfálticas para obtener el contenido óptimo del cemento asfáltico y a la modificación del filler natural por el polvo de ladrillo gambote. Se presentan resultados con los datos obtenidos de la comparación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional y la modificada con polvo de ladrillo gambote.

El Capítulo 5° contiene las conclusiones y recomendaciones de la investigación, si se cumplió con los objetivos establecidos en la planificación del proyecto, y con la hipótesis establecida, el análisis comparativo de costos de la mezcla asfáltica convencional y modifica.

El tiempo empleado en realizar la investigación es de aproximadamente 3 meses donde se hará uso de los laboratorios de la universidad, en donde se realizarán todos los respectivos ensayos de caracterización de los materiales y la obtención de datos para la presente investigación.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFALTICA

Las mezclas asfálticas se pueden definir como una combinación de agregados minerales, aglomerados mediante un ligante asfáltico y mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden cubiertos por una película uniforme de asfalto. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades de la mezcla y su rendimiento.

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.

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.

2.2 DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

El objetivo principal del diseño de mezclas asfálticas de pavimentación, consiste en determinar una combinación entre los agregados que produzcan una mezcla con:

- Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- Buena estabilidad para satisfacer las demandas de tránsito sin producir desplazamientos.
- Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de colocación.

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

2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

En general, todos los betunes presentan una serie de características físicas comunes, tales como su color oscuro, la facultad de presentar buena adhesividad con la superficie de las partículas minerales o su inmisibilidad con el agua.

En cuanto a su comportamiento mecánico, debe decirse que es muy complejo y que depende de varios factores, como son la sollicitación aplicada, el tiempo durante el que ésta actúa o la temperatura ambiente.

Las propiedades más destacables de los betunes desde el punto de vista de la técnica de construcción de carreteras son las siguientes:

- **Adhesividad**

Facilidad que presenta el betún para adherirse a la superficie de una partícula mineral. Esta característica es muy importante en mezclas asfálticas, donde betún y áridos deben formar un conjunto homogéneo y continuo. Para mejorarla, puede recurrirse al uso de activantes.

- **Viscosidad**

Se define como la resistencia que oponen las partículas a separarse, debido a los rozamientos internos que ocurren en el seno del fluido. En el caso de los betunes varían con la temperatura, lo que da una idea de su susceptibilidad térmica.

- **Susceptibilidad Térmica**

Indica la propensión que presenta el betún a variar propiedades teológicas especialmente la viscosidad con la temperatura. Gracias a esta propiedad pueden manejarse con facilidad a altas temperaturas, presentando una mayor estabilidad a temperatura ambiente.

- **Plasticidad**

Define el comportamiento mecánico del betún ante diferentes estados físicos y temporales de carga. Un betún poco plástico no soportará deformaciones excesivas sin que se produzcan grietas.

- **Durabilidad**

La mezcla contiene suficiente cemento asfáltico, asegurando un adecuado espesor de película rodeando las partículas de agregados, así se minimiza el endurecimiento del

cemento asfáltico. El curado durante la producción y la puesta en servicio también contribuye a esta característica. Por otro lado, la mezcla compactada no debería tener altos porcentajes de vacíos que aceleren el proceso de curado.

Tabla N° 2.1: Causas y Efectos de una 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.	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente.

- **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. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado o la granulometría.

Tabla N° 2.2: Causas y Efectos de Problemas en 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: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente.

2.4 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA

Una muestra de mezcla de pavimentación 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 la densidad de la mezcla, vacíos de aire, o simplemente vacíos, vacíos en el agregado mineral y el contenido de asfalto.

2.5 MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS

La experiencia que se tiene con el método Marshall es muy amplia y positiva cuando se trata de dosificar hormigones asfálticos (mezclas gruesas, es decir con tamaños máximos superiores a 5mm, de granulometría continua y no abiertas) en caliente.

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 25mm (1plg). Puede ser usado para el diseño en laboratorio o para el control de campo de pavimentos.

Los parámetros con los que se trabaja en el método Marshall son la densidad, estabilidad, deformación, porcentaje de huecos rellenos de betún. La variación de los mismos con respecto al contenido de ligante de la mezcla (expresado normalmente en porcentaje en peso sobre el peso seco de áridos).

2.5.1 Consideraciones Generales

Las mezclas asfálticas están formadas por un material pétreo bien graduado y cemento asfáltico. 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:

Suficiente estabilidad en la mezcla como para satisfacer las exigencias del servicio y las demandas del tránsito, sin distorsiones o desplazamientos. 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.

Suficiente trabajabilidad como para permitir una eficiente operación constructiva en la elaboración de la mezcla y su compactación.

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.

Para que una carpeta sea estable, impermeable y duradera, se deben controlar los siguientes factores son la granulometría del material pétreo, contenido de asfalto y la característica del cemento asfáltico

2.5.1.1 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.

2.5.1.2 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 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, dando como resultado una carpeta quebradiza.

2.5.1.3 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 PROPIEDADES MÉTODO MARSHALL

Es una característica mensurable capaz de calificar un comportamiento o una respuesta del mismo a sollicitaciones externas.

2.6.1 Fluencia

Es la deformación total expresada en mm que experimenta la probeta desde el comienzo de la aplicación de la carga en el ensayo de estabilidad, hasta el instante de producirse la falla.

2.6.2 Estabilidad

Esta propiedad se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir la deformación y el desplazamiento, debidos a las cargas que resultan del tránsito vehicular. Un pavimento es estable cuando conserva su forma; y es inestable cuando desarrolla deformaciones permanentes, corrugaciones y otros signos de desplazamiento de la mezcla.

La estabilidad depende, sobre todo de la fricción interna y la cohesión. La fricción interna depende de la textura superficial, forma de la partícula, y granulometría del agregado; así como de la densidad de la mezcla, la cantidad y el tipo de asfalto; mientras que la cohesión depende del contenido de asfalto. La cohesión se incrementa con el incremento del contenido de asfalto, hasta un punto óptimo, después del cual el aumento en el contenido de asfalto forma una película demasiado gruesa en las partículas de asfalto, lo que produce una pérdida de fricción entre las partículas de agregado.

2.6.3 Porcentaje de Vacíos de la Mezcla

El porcentaje de vacíos óptimo de diseño de una mezcla asfáltica debe estar entre el 3% y 5%, los contenidos de vacíos menores a 3% para el porcentaje óptimo del ligante pueden originar que la mezcla excude y se produzca ahuellamientos a altas temperaturas.

2.6.4 Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral (V.A.M)

Otro parámetro relacionado con el ahuellamiento y la exudación, que están relacionados al contenido de vacíos. El V.A.M es una propiedad que depende de las propiedades de los agregados de la granulometría y del contenido de asfalto.

2.6.5 Densidad

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

2.7 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.

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz N°200.

El filler o polvo mineral de aportación es un producto comercial de naturaleza pulverulenta (cemento normalmente o cenizas volantes de central térmica) o un polvo en general calizo, especialmente preparado para utilizarlo en mastico para mezclas asfálticas.

Cuando se trata de un producto comercial, se garantiza perfectamente su control y se conocen sus propiedades tanto físicas como químicas y su futuro comportamiento en la mezcla. Cuando se utiliza el otro tipo de filler, (de recuperación), que es aquel que se obtiene de las plantas asfálticas, no se sabe exactamente cuáles son sus componentes y en ocasiones varía su composición con el tiempo y puede estar o no, dentro de las normativas, debido a que es un residuo.

Este polvo mineral forma parte de un sistema de partículas finamente divididas, las cuales pueden encontrarse dispersas en el asfalto, actuando como un medio que puede modificar su consistencia y propiedades mecánicas. A este polvo se le denomina filler, ya que forma parte de un sistema de unión con el asfalto, se dice que su función principal es de actuar como un “llenante o rellenedor” al formar parte de un sistema más grande compuesto por asfalto y los agregados pétreos llamados mezcla asfáltica.

2.7.1 Características del Filler

2.7.1.1 Finura

Al ocupar parcialmente los espacios libres dejados por la estructura granular compactada y conformada por las partículas mayores, reduce el volumen de vacíos de la mezcla

evitando un aumento pronunciado de la cantidad de ligante asfáltico. El polvo mineral consigue cumplir con su función rellena, dependiendo del volumen de vacíos existente una vez que se haya compactado la estructura granular y en función de la granulometría y de las partículas de mayor tamaño.

La densidad aparente del polvo mineral es una medida relativa del grado de finura del polvo, cualidad muy importante para las características finales de las mezclas.

2.7.1.2 Acción estabilizante frente al agua

Se incrementa la durabilidad de las mezclas asfálticas frente a la acción del agua debido a que se reduce parcialmente la porosidad de la estructura granular, evitando el acceso del agua al interior; y por otro lado, debido a que algunos polvos minerales presentan una mayor afinidad con el ligante asfáltico, mejoran la resistencia a la acción de desplazamiento que ejerce el agua sobre el ligante asfáltico.

Las características de finura y comportamiento se hayan vinculadas el tamaño y forma de las partículas de la composición química de los rellenos minerales. Las funciones del polvo mineral no pueden apartarse del contenido y consistencia del ligante asfáltico en la mezcla.

2.7.2 Procedencia del Polvo Mineral

El polvo mineral podrá proceder de los agregados, separándose de ellos por un producto comercial o especialmente preparado.

Las proporciones del polvo mineral de aportación a emplear en la mezcla deben cumplir lo que fijan las normas, debido a que es un material que se debe de utilizar en proporciones adecuadas en cada tipo de mezcla y condiciones, para obtener un resultado óptimo.

2.7.3 Efecto del Agregado Mineral

2.7.3.1 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.

2.7.3.2 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 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).

2.7.3.3 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.

2.7.3.4 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.

2.7.3.5 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 también 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.

2.8 POLVO DE LADRILLO COMO FILLER

El filler tiene un papel fundamental en el comportamiento de las mezclas asfálticas debido a que forma parte del esqueleto mineral y soporta las tensiones por rozamiento interno o por contacto entre las partículas. Rellena los vacíos del esqueleto de agregados gruesos y finos, por lo tanto, impermeabiliza y densifica el esqueleto. Sustituye parte del asfalto que de otra manera sería necesario para conseguir unos vacíos en mezcla suficientemente bajos.

Proporciona puntos de contacto entre agregados de mayor tamaño y los encaja limitando sus movimientos, aumentando así la estabilidad del conjunto. Facilita la compactación, actuando a modo de rodamiento entre los agregados más gruesos.

La arcilla con la que se elabora el ladrillo es un material sedimentario de partículas muy pequeñas de silicatos hidratados de alúmina, además de otros minerales. Se considera el adobe como el precursor del ladrillo, puesto que se basa en el concepto de utilización de barro arcilloso para la ejecución de muros, aunque el adobe no experimenta los cambios físico-químicos de la cocción. El ladrillo es la versión irreversible del adobe, producto de la cocción a altas temperaturas (350 °C).

2.8.1 Tipos de Ladrillo

- **Ladrillo perforado:** que son todos aquellos que tienen perforaciones en la tabla que ocupen más del 10% de la superficie de la misma. Muy popular para la ejecución de fachadas de ladrillo visto.

- **Ladrillo de arcilla calcinada:** bloques prismáticos, con masa sólida compuesto principalmente de arcilla o suelos arcillosos, con pequeñas proporciones de agregados finos, debidamente dosificados.
- **Ladrillo macizo:** aquellos con menos de un 10% de perforaciones en la tabla. Algunos modelos presentan rebajes en dichas tablas y en las testas para ejecución de muros sin llagas.
- **Ladrillo gambote:** simulan los antiguos ladrillos de fabricación artesanal, con apariencia tosca y caras rugosas. Tienen buenas propiedades ornamentales.
- **Ladrillo hueco:** son aquellos que poseen perforaciones en el canto o en la testa, que reducen el volumen de cerámica empleado en ellos. Son los que se usan para tabiquería que no vaya a sufrir cargas especiales.

2.9 POLVO DE LADRILLO GAMBOTE

Este punto está referido a la utilización de un relleno mineral como ser el polvo de ladrillo gambote proveniente de los residuos de las construcciones y demoliciones que pasan por un proceso de trituración y posteriormente a ser tamizado por el tamiz N°200 para su utilización en las mezclas asfálticas preparadas y distribuidas en caliente, el relleno mineral que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante de la mezcla asfáltica o de ser el caso, como mejorador de adherencia utilizado en la mezcla.

2.9.1 Ventajas y Desventajas del uso del Polvo de Ladrillo Gambote como Filler en las Propiedades Mecánicas de Mezclas Asfálticas

Para las ventajas y desventajas de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas se tomarán los resultados de los porcentajes óptimos de reemplazo del filler natural por polvo de ladrillo gambote que son 1,05% - 3,95% correspondientemente, esto con la finalidad de evaluar y analizar los resultados obtenidos y su efecto que produce al reemplazarse el filler polvo de ladrillo gambote dentro de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

2.9.1.1 Ventajas

- Mejorar el cerrado de la mezcla sin el empleo exagerado de asfalto. Esto debido a que el filler actúa como relleno de vacíos, lo cual permite disminuir espacios libres existentes entre agregados mayores. Esto además depende de los vacíos de

la mezcla, ya que cuando el agregado está bien graduado y la forma de sus partículas, permiten una ajustada distribución.

- Incrementar la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica. Debido a que el filler aumenta de manera importante la viscosidad del asfalto, mejor dicho, la combinación es un sistema de alta viscosidad el cual participa de manera importante en la resistencia ante la deformación.
- Incrementar la durabilidad de la mezcla, debido a que el filler actúa como relleno de vacíos, lo que permite disminuir la porosidad dificultando la entrada de agentes agresivos como agua y aire, además de que es el principal aglomerante dentro de la mezcla asfáltica y mantiene unidos a los agregados gruesos.
- Por ser un material proveniente del reciclado de las construcciones o demoliciones, ayuda al medio ambiente.
- Reduce el contacto agua-asfalto-agregado, es decir una mayor durabilidad y una disminución de la penetración del aire y agua en el pavimento.

2.9.1.2 Desventajas

- Al incorporar el filler polvo de ladrillo gambote significaría un proceso previo de trituración por lo que conllevaría un incremento al precio de la mezcla.
- El polvo que levante el ladrillo al momento de su trituración y posteriormente su tamizado.

2.10 MARCO REFERENCIAL

El presente trabajo de investigación está muy influenciado en dos trabajos de investigación previos realizados en la Universidad San Carlos de Guatemala de Chiclayo (Lima) en la Facultad de Ingeniería, titulado: “Evaluación del efecto de la cal hidratada y el polvo de ladrillo utilizado como relleno mineral en las propiedades de una mezcla asfáltica”, teniendo de autor a: Fiorella Lizeth Valera Nuñez, que fue presentado y defendido en el año 2018.

El estudio mencionado es utilizado como una guía en el uso y manejo al reemplazar un nuevo filler a la mezcla asfáltica en caliente, además que esta investigación propone una alternativa de cómo poder realizar los estudios de caracterización del filler polvo de

ladrillo gambote y sus posibles variaciones en los porcentajes óptimos de la mezcla asfáltica.

También podemos observar una comparación entre las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, siendo esta la razón por lo cual la presente investigación toma en cuenta el material proveniente del residuo de las construcciones y demoliciones previamente triturados y posteriormente que pase el tamiz N°200.

La segunda investigación fue realizada en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo que fue presentada en VII Congreso Mexicano del Asfaltos, titulado: “Estudio del efecto del tipo de filler en las propiedades reológicas del "mastico"”, que tiene como autor a: Ing. Israel Sandoval Navarro, que fue presentada el año 2011.

El estudio mencionado es utilizado como una guía en el uso y manejo de la información del Capítulo 2°, además que en esta investigación se estudia el efecto de diferentes tipos de filler sobre las propiedades de mezclas asfálticas, siendo esta la razón por lo cual la presente investigación toma en cuenta los resultados obtenidos en el trabajo anterior y en este para poder determinar el uso de una nueva alternativa como ser el filler polvo de ladrillo gambote, como reemplazo del filler natural en las mezclas asfálticas y poder determinar si es el apto o no para pavimentación.

2.11 MARCO NORMATIVO

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

Tabla N°2.3: Normas Aplicadas para el Cemento Asfáltico.

Cemento asfáltico		
Ensayos	Norma ASTM	Norma AASHTO
Penetración	D-5	T-49
Punto de inflamación	D-92	T-48
Ductilidad	D-113	T-51
Peso específico	D-70	T-43
Punto de ablandamiento	D-36	T-53

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°2.4: Normas Aplicadas para los Agregados.

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
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
Hidrómetro	D-422	-

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 2.5: Criterio de Diseño Marshall para Superficies y Bases.

Criterio mezclas método Marshall	Tráfico	
	Pesado	
	Mínimo	Máximo
Compactación N° golpes/cara	75	
Estabilidad, lb (N)	1800 (8000)	
Flujo 0,01pulg (0,25mm)	8	14
Vacíos de aire, %	3	5
V.A.M (Vacíos Agregado Mineral)	13	-

Fuente: Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos.

2.12 ANÁLISIS Y TENDENCIA DEL INVESTIGADOR

A partir de la teoría estudiada en la presente investigación que se enfoca directamente en el concepto de las mezclas asfálticas, en sus componentes como lo son: los agregados tanto gruesos como finos, el cemento asfáltico, filler; además, como esta investigación propone una opción de mezcla asfáltica modificada mediante el reemplazo del filler es de carácter natural que también se orienta sobre la obtención del polvo del ladrillo gambote, que es proveniente del residuo de las construcciones y demoliciones.

Otro punto importante del tema son las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica como lo son: estabilidad, fluencia, % de vacíos de aire, % de vacíos de agregado mineral y la densidad de la mezcla, siendo fundamentado y explicado; además que se explica el ensayo Marshall que nos determina el diseño de mezclas asfálticas, es por ello que esta parte es muy significativa para entender claramente lo que se espera obtener de cada una de las propiedades.

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 realizar los correspondientes ensayos y valorar los resultados dándole el sentido científico a la investigación.

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN, USO Y APLICACIÓN

3.1.1 Criterios de Selección de Agregados Pétreos

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 la alcaldía y que según los estudios previos se ha demostrado tener muy buenas características y condiciones para el diseño de mezclas asfálticas.

3.1.2 Criterios de Selección de Filler

Dentro de la selección del filler como es el polvo de ladrillo gambote proveniente del residuo de las construcciones y demoliciones, siendo este proveniente de la trituración del ladrillo, se tomó en cuenta el criterio de un estudio previo titulado, "Evaluación del efecto de la cal hidratada y el polvo de ladrillo utilizado como relleno mineral en las propiedades de una mezcla asfáltica", que realiza un estudio al uso del polvo de ladrillo como reemplazo del filler para poder determinar de qué manera influye.

Por lo tanto, se adquirió el material, polvo de ladrillo gambote del complejo deportivo "García Agreda", ubicado en las canchas de tenis que son instalaciones deportivas que sirven a toda la población de Tarija.

Para la selección del filler natural, éste fue proveniente de la planta chancadora Garzón.

3.1.3 Criterios de la Variación de Porcentaje del Filler

Según el estudio previo realizado sobre la utilización del polvo de ladrillo como reemplazo del filler titulado, "Evaluación del efecto de la cal hidratada y el polvo de ladrillo utilizado como relleno mineral en las propiedades de una mezcla asfáltica", se recomienda aplicar

porcentajes que oscilen entre 0–100% de inclusión del filler modificado, 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.

La primera etapa de la investigación es la elaboración de una mezcla asfáltica convencional, para ello fue necesario realizar ensayos previos a los componentes que conforman una mezcla asfáltica, éstos son la grava, gravilla, arena y el filler natural, todo esto nos permitió obtener el óptimo contenido de cemento asfáltico en porcentaje. Siendo estos ensayos desarrollados con materiales de la planta chancadora Garzón, procedente de San Mateo.

En el desarrollo de la segunda etapa, se elaboraron briquetas con polvo de ladrillo gambote como material rellenedor o filler, siendo este procedente de material reciclado, exactamente de los residuos de la construcción o demolición

Ya una vez obtenido el óptimo porcentaje de Cemento Asfáltico (C.A) se comenzó con la elaboración de briquetas reemplazando el filler, en este caso el filler natural por el polvo de ladrillo gambote, se realizaron 18 briquetas (3 por cada variación de porcentaje) variando el porcentaje de polvo de ladrillo gambote sobre el porcentaje de 5% de la mezcla obtenido en el diseño. Los porcentajes utilizados con la relación del filler natural–polvo de ladrillo gambote fueron 5%-0%, 4%-1%, 3%-2%, 2%-3%, 1% - 4% y 5% polvo de ladrillo gambote. Estas fueron ensayadas por Marshall para determinar con qué porcentaje trabaja mejor la mezcla y para hacer un comparativo entre el convencional y el modificado.

La elaboración de briquetas, y la rotura de las mismas se realizó en la prensa Marshall en el laboratorio de asfaltos de la facultad de Ingeniería Civil de la universidad.

En el desarrollo de la tercera etapa de la investigación se elaboraron briquetas con un porcentaje de filler del 5% del total de peso de la briketa (1200kg), siendo en su totalidad 3,95% polvo de ladrillo gambote y 1,05% filler natural.

De igual manera que la etapa dos la elaboración de briquetas, y la rotura de las mismas se realizó en la prensa Marshall en el laboratorio de asfaltos de la Facultad de Ingeniería Civil de la universidad.

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 la alcaldía.

3.2 CRITERIOS DEL NÚMERO DE ENSAYOS

3.2.1 Criterio del Número de Ensayos para el Agregado Pétreo

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

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

Abrasión del agregado grueso máquina de los Ángeles. - Se realiza 1 ensayo de los agregados de grava 3/8" y gravilla 3/4".

Peso específico y absorción del agregado grueso. - Se realizan 2 ensayos de peso específico y absorción del agregado grueso de los agregados de grava 3/8" y gravilla 3/4" y se sacara su promedio.

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

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

Equivalente de la arena. - Se realizan 3 ensayos de equivalente de la arena, de los cuales se saca un promedio.

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

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

Hidrómetro. - Se realiza 1 ensayo para el filler polvo de ladrillo gambote.

Tabla N° 3.1: Número de Ensayos de los Agregados Pétreos.

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Granulometría	3
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	1
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	2
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	2
Peso unitario	3
Equivalente de arena	3
Porcentaje de caras fracturadas	1
Determinación de partículas largas y achatadas	1
Hidrómetro	1

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2 Criterio del Número de Ensayos para el Cemento Asfáltico

Ensayo de penetración. - Se realizan 3 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

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

Ensayo de peso específico. - Se realizan 3 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

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

Ensayo de ductilidad. - Se realiza 1 ensayo de ductilidad del cemento asfáltico 85-100.

Tabla N° 3.2: Número de ensayos del cemento asfáltico.

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Penetración	3
Punto de ablandamiento	2
Punto de inflamación	2
Peso específico	3
Ductilidad	1

Fuente: Elaboración Propia.

3.3 FILLER POLVO DE LADRILLO GAMBOTE

3.3.1 Aplicabilidad del Reemplazo del Filler dentro de la Elaboración de Mezclas Asfálticas

Al ser el polvo de ladrillo gambote un residuo proveniente de las construcciones o demolición 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, a partir de los resultados el efecto que produciría el nuevo filler dentro de las propiedades mecánicas.

Si se toma en cuenta que el material que se añadirá a la mezcla asfáltica es el polvo del ladrillo gambote, donde el material seco y cocido es sometido a un proceso de trituración que considera un procedimiento más, además del transporte que conllevaría el traslado del material.

Por tal motivo en la presente investigación se realiza una evaluación para determinar el valor de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas al reemplazar el filler natural por el polvo de ladrillo gambote, conjuntamente se propone un análisis dentro de los costos de las mezclas asfálticas convencionales y las modificadas.

3.3.2 Otros Usos del Material

El material al ser residuos de la construcción o demolición, ha llegado a tener diferentes usos como fuente de elaboración para revoques en el exterior de las viviendas, para canchas de tenis, además de ser un componente de algunos medicamentos de fabricación natural.

3.3.3 Proceso de Obtención del Material

Para efectos de esta investigación, se decide incorporar el polvo de ladrillo gambote como reemplazo del filler con el fin simplificar el proceso de los residuos de las construcciones o demoliciones.

El material es triturado y tamizado para obtener la fracción pasante de la malla N°200, con lo cual se obtiene el polvo de ladrillo gambote. En conclusión, el proceso de la obtención del polvo de ladrillo gambote consiste en triturar el ladrillo para la obtención

de la materia prima, luego tamizar por la malla N°200, hasta conseguir el polvo de ladrillo gambote.

Posteriormente el polvo de ladrillo gambote es incorporado en la mezcla asfáltica.

3.3.4 Caracterización del Preparado del Filler

Dentro de la investigación se utiliza el filler proveniente del residuo de las construcciones o demoliciones (polvo del ladrillo gambote), como se indica en el punto 3.1.2

3.4 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.4.1 Ubicación de la Fuente de los Materiales a Utilizarse

Agregado pétreo. - Los materiales pétreos de la investigación son provenientes de la planta chancadora Garzón ubicada en San Mateo. Se verificará si los agregados son de buena calidad mediante los ensayos de caracterización.

Se toma en cuenta como agregado pétreo a los materiales:

Grava 3/4”.

Grava 3/8” (gravilla).

Arena triturada.

Filler natural.

Coordenadas:

Tabla N° 3.3: Coordenadas de la Ubicación del Agregado Pétreo.

Coordenadas	
Geográficas	Latitud: 21°28'19,25'' S Longitud: 64°44'46,79'' W
U.T.M	Este: 319062,154 Norte: 7624602,402

Fuente: Elaboración Propia.

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.

Coordenadas:

Tabla N° 3.4: Coordenadas de la Ubicación del Cemento Asfáltico.

Coordenadas	
Geográficas	Latitud: 21°46'55'' S Longitud: 64°46'13'' W
U.T.M	Este: 316971,152 Norte: 7590258,956

Fuente: Elaboración Propia.

Adición del nuevo filler (polvo de ladrillo gambote proveniente del residuo de las construcciones y demoliciones). - Para la investigación el material fue obtenido del complejo deportivo García Agreda (canchas de tenis) de Tarija, siendo un material reciclado y luego triturado para su utilización.

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

3.4.2.1 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

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

El objetivo es determinar los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material seco, por medio de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura.

Procedimiento:

- a. Seleccionar un grupo de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar.
- b. Colocar los tamices en orden, por tamaño de abertura.
- c. Limitar la cantidad de material en un tamiz dado, de tal forma que todas las partículas puedan alcanzar las aberturas del tamiz durante la operación del tamizado.
- d. Determinar el peso de la muestra retenida en cada tamiz, con una balanza, 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 N°10 (esto es, con partículas mayores de 2,00mm) se le conoce como agregado grueso. Al material que pasa por la malla N°10 pero queda retenido en la malla N°200 (partículas mayores que 0,075mm) se le conoce como agregado fino. El material que pasa por la malla N°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.

Figura N° 3.1: Proceso del Tamizado.



Leyenda: Tamizando el agregado para su caracterización.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.5: Datos de las Granulometrías de la Grava 3/4”.

Grava 3/4”			
N° Ensayo	1	2	3
Peso total seco	5000,00 gr	5000,00 gr	5000,00 gr
Tamiz N°	Peso retenido (gr)		
1”	0,00	0,00	0,00
3/4”	217,83	115,00	290,76
1/2”	3769,97	3625,00	3797,51
3/8”	4911,96	4900,00	4937,70
4	5000,00	5000,00	4995,14
8	5000,00	5000,00	5000,00
16	5000,00	5000,00	5000,00
40	5000,00	5000,00	5000,00
80	5000,00	5000,00	5000,00
200	5000,00	5000,00	5000,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.6: Datos de las Granulometrías de la Gravilla 3/8”.

Gravilla 3/8”			
N° Ensayo	1	2	3
Peso total seco	5000,00 gr	5000,00 gr	5000,00 gr
Tamiz N°	Peso retenido (gr)		
1”	0,00	0,00	0,00
3/4”	0,00	0,00	0,00
1/2”	33,27	29,00	40,90
3/8”	1183,82	1119,00	1363,64
4	4825,87	4705,00	4681,82
8	5000,00	5000,00	5000,00
16	5000,00	5000,00	5000,00
40	5000,00	5000,00	5000,00
80	5000,00	5000,00	5000,00
200	5000,00	5000,00	5000,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.7: Datos de las Granulometrías de la Arena.

Arena			
N° Ensayo	1	2	3
Peso total seco	5000,00 gr	5000,00 gr	5000,00 gr
Tamiz N°	Peso retenido (gr)		
1”	0,00	0,00	0,00
3/4”	0,00	0,00	0,00
1/2”	0,00	0,00	0,00
3/8”	0,00	0,00	0,00
4	174,00	151,14	256,50
8	502,00	520,68	761,50
16	744,00	803,57	1056,50
40	3658,00	3677,87	3642,50
80	4402,00	4497,17	4390,00
200	4816,00	4854,04	4865,00

Fuente: Elaboración Propia.

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

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

$$\% \text{ Que Pasa} = 100 - \left(\frac{256,5}{5000} * 100 \right) = 94,87\%$$

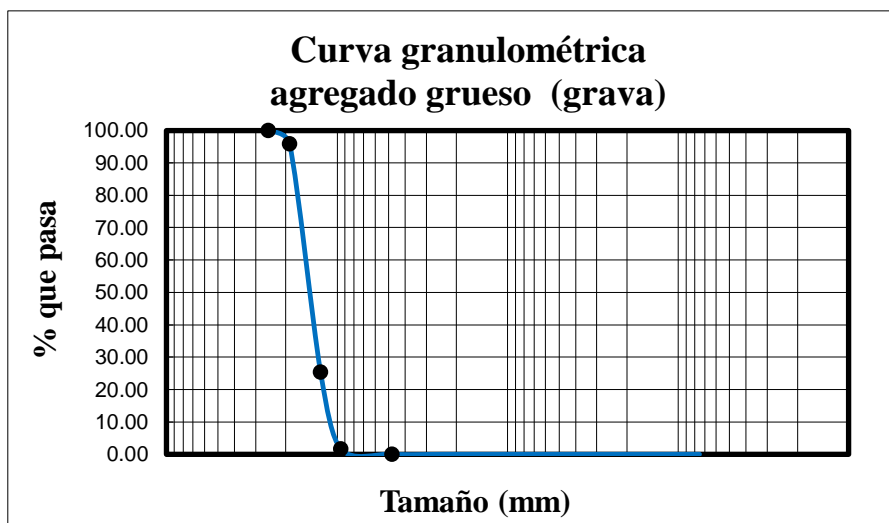
Tabla N° 3.8: Planilla de Resultados de las Granulometrías Promedio.

Granulometría - Agregado grueso (grava 3/4").

Tamices N°	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% que pasa del total
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	207,86	207,86	4,16	95,84
1/2"	12,50	3522,96	3730,83	74,62	25,38
3/8"	9,50	1185,73	4916,55	98,33	1,67
4	4,75	81,83	4998,38	99,97	0,03
8	2,36	1,63	5000,00	100,00	0,00
16	1,18	0,00	5000,00	100,00	0,00
40	0,425	0,00	5000,00	100,00	0,00
100	0,15	0,00	5000,00	100,00	0,00
200	0,075	0,00	5000,00	100,00	0,00
Base	-	0,00	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 3.1: Curva Granulométrica - Grava.



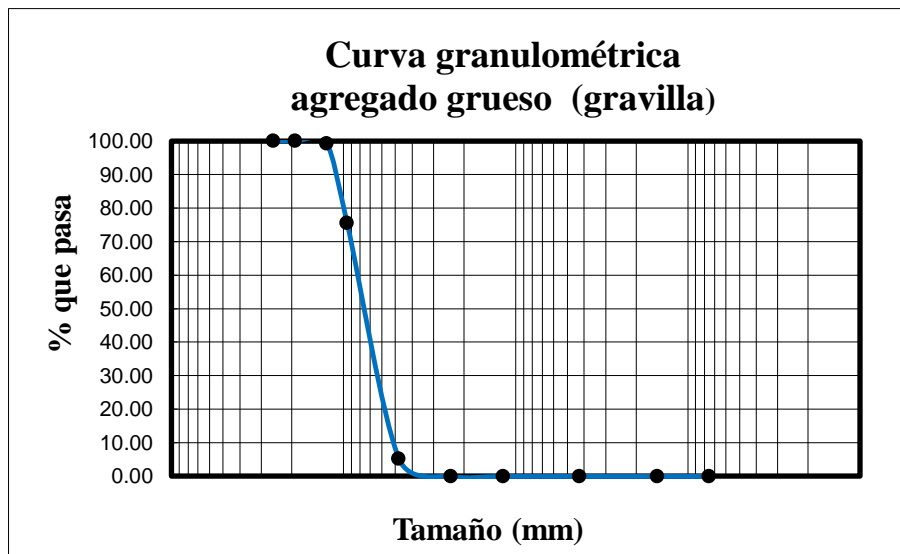
Fuente: Elaboración Propia.

Granulometría - Agregado grueso (gravilla 3/8").

Tamices N°	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. Acum. (gr)	% Ret	% que pasa del total
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	34,39	34,39	0,69	99,31
3/8"	9,50	1187,76	1222,15	24,44	75,56
4	4,75	3515,41	4737,56	94,75	5,25
8	2,36	262,44	5000,00	100,00	0,00
16	1,18	0,00	5000,00	100,00	0,00
40	0,425	0,00	5000,00	100,00	0,00
100	0,15	0,00	5000,00	100,00	0,00
200	0,075	0,00	5000,00	100,00	0,00
Base	-	0,00	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 3.2: Curva Granulométrica - Gravilla.



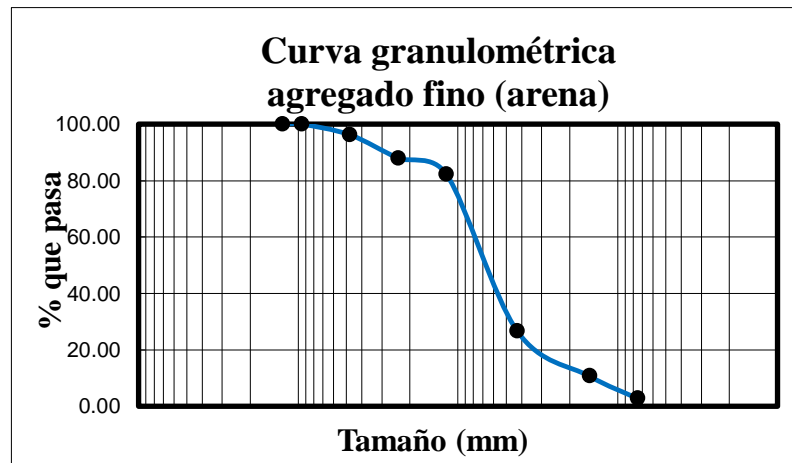
Fuente: Elaboración Propia.

Granulometría - Agregado fino (arena).

Tamices N°	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% que pasa del total
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,75	186,26	186,26	3,73	96,27
8	2,36	414,69	600,95	12,02	87,98
16	1,18	286,93	887,88	17,76	82,24
40	0,425	2778,20	3666,08	73,32	26,68
100	0,15	795,37	4461,45	89,23	10,77
200	0,075	396,25	4857,69	97,15	2,85
Base	-	142,30	4999,99	100,00	0,00

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 3.3: Curva Granulométrica- Agregado Fino.



Fuente: Elaboración Propia.

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.

La muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera, uniforme para mantener una velocidad constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz N°12.

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° 3.2: Máquina de Desgaste por Abrasión y Material Ensayado.



Leyenda: Agregado saliente después del ensayo de desgaste.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.9: Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4”.

Datos de laboratorio		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
3/4”	1/2”	2500,0gr
1/2”	3/8”	2500,0gr
Retenido tamiz de corte N°12 (1,7mm)		3614,8gr
Diferencia		1385,2gr
Número de ensayos		1
Tipo de gradación		B
Carga abrasiva		11 esferas a 32,5Rpm 500revoluciones

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 3.3: Agregado Grueso - Grava.



Leyenda: Grava después del ensayo.

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso de cálculo:

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1385,2 \text{ gr}}{5000,0 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 27,70\%$$

Tabla N° 3.10: Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8”.

Datos de laboratorio		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
3/8”	1/4”	2500,0 gr
1/4”	N°4	2500,0 gr
Retenido tamiz de corte N°12 (1,7mm)		3565,6 gr
Diferencia		1434,4 gr
Número de ensayos		1
Tipo de gradación		C
Carga abrasiva		8 esferas a 32,5Rpm 500revoluciones

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 3.4: Agregado grueso - Gravilla.



Leyenda: Gravilla después de la realización del ensayo.

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso de cálculo:

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1434,4 \text{ gr}}{5000,0 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 28,69\%$$

3.4.4 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.

Procedimiento:

- a. Para realizar el ensayo se deberá realizar:
- b. Cuartear el agregado grueso más o menos 5kg lavados y retenidos en la malla N°4 (4,75mm), se secan a peso constante.
- c. La muestra seca se sumerge por 24 horas en agua.
- d. Los agregados se sacan del agua.
- e. Se obtiene el peso de la muestra en su condición superficialmente seca.

- f. La muestra saturada superficialmente seca se coloca en una cesta de alambre y se determina el peso sumergido en agua.
- g. La muestra se seca al horno hasta obtener peso constante.

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

Figura N°3.5: Agregado Utilizado para el Ensayo.



Leyenda: Secado superficial e introducción del agregado grueso para medir pesos.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.11: Datos del Ensayo de Peso Específico para Agregado Grueso.
Grava 3/4”.

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. Seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4951,80	5000,00	3108,00
2	4950,60	5000,00	3103,00

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso de cálculo para la grava 3/4”

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

$$\text{Peso Específico del agregado seco} = \frac{5000}{4951,8 - 3108}$$

$$\text{Peso Específico del Agregado seco} = 2,71 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

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

$$\text{P.E.A. Saturado de superficie seca} = \frac{4951,8}{4951,8 - 3108,0}$$

$$\text{P.E.A. Saturado de superficie seca} = 2,685 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{b}{b - c}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{5000}{5000 - 3108}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,642 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

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

$$\% \text{ de absorción} = \frac{5000 - 4951,8}{5000} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = 0,97\%$$

Tabla N° 3.12: Resultados del Ensayo de Peso Específico para Grava 3/4”.

Muestra N°	Peso específico a granel (gr/cm3)	Peso específico saturado con sup. Seca (gr/cm3)	Peso específico aparente (gr/cm3)	% de absorción
1	2,62	2,64	2,69	0,97
2	2,61	2,64	2,68	1,00

Fuente: Elaboración Propia.

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

Tabla N°3.13: Datos del Ensayo de Peso Específico para Agregado Grueso.

Gravilla 3/8”.

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. Seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4916,60	5000,00	3075,00
2	4913,20	5000,00	3077,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.14: Resultados del Ensayo de Peso Específico para Gravilla 3/8”.

Muestra N°	Peso específico a granel (gr/cm3)	Peso específico saturado con sup. Seca (gr/cm3)	Peso específico aparente (gr/cm3)	% de absorción
1	2,55	2,60	2,67	1,70
2	2,55	2,60	2,68	1,77

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.5 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° 3.6: Peso Específico del Agregado Fino.



Leyenda: Verificando la humedad de la muestra para empezar el ensayo.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.15: Datos Obtenidos del Ensayo Peso Específico para Agregado Fino.

Muestra N°	Peso muestra (gr)	Peso de matr�az (gr)	Muestra + matr�az + agua (gr)	Peso del agua agregado al matr�az "W" (gr)	Peso muestra secada "A" (gr)	Volumen del matr�az "V" (ml)
1	500,00	172,20	959,90	287,70	492,80	500,00
2	500,00	172,20	965,10	292,90	494,60	500,00

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso de cálculo de peso específico agregado fino.

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

$$\text{Peso específico seco} = \frac{492,80}{(500 - 287,70)}$$

$$\text{Peso específico seco} = 2,32 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

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

$$\text{P.E.A. Saturado superficial seco} = \frac{500}{500 - 287,7}$$

$$\text{P.E.A. Saturado superficial seco} = 2,36 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{a}{(a+w) - b}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{492,8}{(500 - 287,7) - (500 - 492,8)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,40 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

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

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{500 - 492,8}{500} * 100\%$$

$$\% \text{ de Absorción} = 1,44\%$$

Para el ensayo 2 se realizará el mismo procedimiento.

Tabla N° 3.16: Resultados del Ensayo de Peso Específico para Agregado Fino.

Muestra N°	P. E. A granel (gr/cm3)	P. E. Saturado con sup. Seca (gr/cm3)	P. E. Aparente (gr/cm3)	% de absorción
1	2,32	2,36	2,40	1,44
2	2,39	2,41	2,45	1,08

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.6 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.

Procedimiento:

- a. Se deberá realizar de la siguiente manera:
- b. 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.
- c. 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 T-19 y ASTM C-29.

Figura N° 3.7: Peso Unitario Compactado del Agregado 3/4”.



Leyenda: Realizando el ensayo de peso unitario del agregado 3/4”.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.17: Datos del Ensayo de Peso Unitario de la Grava 3/4”.

Peso Unitario Suelto

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)
1	5719,28	9790,67	20880,00	15160,72
2	5719,28	9790,67	20865,00	15145,72
3	5719,28	9790,67	20860,00	15140,72

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.18: Datos del Ensayo de Peso Unitario de la Grava 3/4”.

Peso Unitario Compactado

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)
1	5719,28	9790,67	21330,00	15610,72
2	5719,28	9790,67	21495,00	15775,72
3	5719,28	9790,67	21520,00	15800,72

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso de cálculo de peso unitario

$$\text{Peso unitario} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso unitario} = \frac{15160,72}{9790,67}$$

$$\text{Peso unitario} = 1,548 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

Tabla N°3.19: Resultados del Ensayo de Peso Unitario de la Grava 3/4”.

Número de ensayo	Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1,548	1,547	1,546
Promedio	gr/cm ³	1,547		
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1,594	1,611	1,614
Promedio	gr/cm ³	1,606		
Peso unitario de la grava 3/4”	gr/cm ³	1,576		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.20: Datos del Peso Unitario de la Gravilla 3/8”.

Peso Unitario Suelto

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)
1	5719,28	9790,67	19380,00	13660,72
2	5719,28	9790,67	19425,00	13705,72
3	5719,28	9790,67	19280,00	13560,72

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.21: Datos del Peso Unitario de la Gravilla 3/8”.

Peso Unitario Compactado

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)
1	5719,28	9790,67	20130,00	14410,72
2	5719,28	9790,67	20135,00	14415,72
3	5719,28	9790,67	20245,00	14525,72

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.22: Resultados del Ensayo de la Gravilla 3/8”.

Número de ensayo	Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1,395	1,400	1,385
Promedio	gr/cm ³	1,393		
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1,472	1,472	1,484
Promedio	gr/cm ³	1,476		
Peso unitario de la gravilla 3/8”	gr/cm ³	1,435		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.23: Datos del Peso Unitario de la Arena.

Peso Unitario Suelto

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)
1	2605,00	2915,79	7095,00	4490,00
2	2605,00	2915,79	7100,00	4495,00
3	2605,00	2915,79	7100,00	4495,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.24: Datos del Peso Unitario de la Arena.

Peso Unitario Compactado

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)
1	2605,00	2915,79	7420,00	4815,00
2	2605,00	2915,79	7410,00	4805,00
3	2605,00	2915,79	7415,00	4810,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.25: Resultados del Ensayo de la Arena.

Número de ensayo	Unidad	1	2	3
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1,540	1,542	1,542
Promedio	gr/cm ³	1,541		
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1,651	1,648	1,650
Promedio	gr/cm ³	1,650		
Peso unitario de la arena	gr/cm ³	1,595		

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.7 Ensayo de Equivalente de Arena AASHTO T-176 (ASTM D-2419)

Este ensayo, 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 N°4.

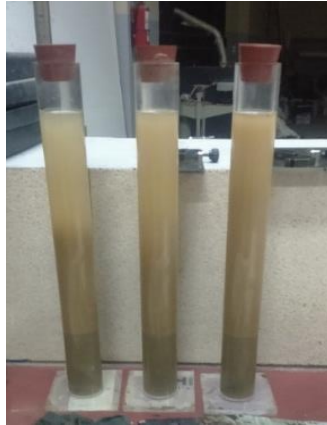
Se coloca una muestra del material en estudio en un cilindro graduado transparente que contiene una solución de cloruro cálcico, glicerina y formaldehído en agua. La muestra y la solución se agitan vigorosamente de una forma normalizada.

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° 3.8: Ensayo Equivalente de Arena.



Leyenda: Midiendo las alturas del ensayo de equivalente de arena para nuestro agregado fino.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.26: Datos del Ensayo Equivalente de Arena.

Descripción	Ensayo		
	1	2	3
Lectura nivel superior	14,3	14,7	13,5
Lectura nivel inferior	9,9	9,8	9,8

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso de cálculo:

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

$$\% \text{ de arena} = \frac{9,9}{14,3} * 100\%$$

$$\% \text{ de arena} = 69,23\%$$

Tabla N° 3.27: Resultados del Ensayo Equivalente de Arena.

Descripción	Ensayo		
	1	2	3
Arena (%)	69,23	66,67	72,59
Promedio (%)	69,49		

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.8 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° 3.9: Partículas de Caras Fracturadas.



Leyenda: En la figura se muestra en un extremo las partículas con caras fracturadas y en el otro las partículas sin caras fracturadas del agregado grueso.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.28: Datos del Ensayo de Caras Fracturadas.

Descripción		Unidad	Lecturas
Grava 3/4"	Peso total de muestra	gr	1000
	Peso de caras fracturadas retenidas	gr	772,6
Gravilla 3/8"	Peso total de muestra	gr	1000
	Peso de caras fracturadas retenidas	gr	785,5
Número de ensayos			1

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso de cálculo:

Peso caras no fracturadas = Peso total de muestra - Peso de caras fracturadas

$$\text{Peso caras no fracturadas} = 1000 - 772,6$$

$$\text{Peso caras no fracturadas} = 227,4[\text{gr}]$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = \frac{\text{Peso de caras fracturadas}}{\text{Peso total de muestra}} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = \frac{772,6}{1000} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas} = 77,26\%$$

Tabla N° 3.29: Resultados del Ensayo de Caras Fracturadas.

Descripción		Unidad	Lecturas
Grava 3/4"	Peso de caras no fracturadas	gr	227,40
	Porcentaje de caras fracturadas	%	77,26
Gravilla 3/8"	Peso de caras no fracturadas	gr	214,50
	Porcentaje de caras fracturadas	%	78,60

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.9 Ensayo de Determinación de Partículas Largas y Achatadas (ASTM 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" (6,3mm).

Para separar el material de forma aplanada de cada una de las fracciones de ensayo, se hace pasar cada partícula en el calibrador de aplanamiento por la ranura cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya.

Procedimiento:

- a. La cantidad total de partículas de cada fracción que pasa por la ranura correspondiente se pesa (P_i).
- b. Para separar el material de forma alargada de cada una de las fracciones de ensayo, se hace pasar cada partícula en el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya.
- c. La cantidad total de las partículas de cada fracción retenida entre dos barras correspondientes se pesa (P_{ai}).

Figura N° 3.10: Partículas Largas y Achatadas.



Legenda: Tamizando el agregado grueso para la realización del ensayo.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.30: Datos del Ensayo Partículas Chatas y Alargadas.

Material	Peso total de la muestra (gr)	Peso retenido de partículas chatas y alargadas (gr)
3/4"	1000	61,75
3/8"	1000	42,20

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso de cálculo del ensayo de partículas chatas y alargadas.

$$\% \text{ Total de partículas chatas y alargadas} = \frac{\text{Peso retenido partículas chatas y alargadas}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de partículas chatas y alargadas} = \frac{42,20}{1000} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de partículas chatas y alargadas} = 4,22\%$$

Tabla N° 3.31: Resultados del Ensayo Partículas Chatas y Alargadas.

Material	Total de partículas chatas y alargadas %
3/4"	6,18
3/8"	4,22

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.10 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 (0,43mm).

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° 3.32: Datos y Resultados del Ensayo Límites de Plasticidad.

Peso suelo húm.+ tara (gr)	Peso suelo seco + tara (gr)	Peso agua (gr)	Peso tara (gr)	Peso suelo seco (gr)	% de húm.	N° de golpe
43,55	39,85	3,70	18,22	21,63	17,11	6
Número de ensayos			1			

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.11 Ensayo de Peso Específico y Absorción del Filler Natural AASHTO T-100 (ASTM D-854)

Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas de suelos compuestos por partículas menores que 5mm. Cuando el suelo se compone de partículas mayores que 5mm, se debe aplicar el método de determinación de densidad neta de los gruesos, según el método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.

Cuando el suelo se compone tanto de partículas mayores como menores que 5mm, separe en el tamiz N°4 (4,75mm), determine y registre el porcentaje en masa seca de ambas fracciones y ensáyese con el método correspondiente. El resultado es el procedimiento ponderado de ambas fracciones.

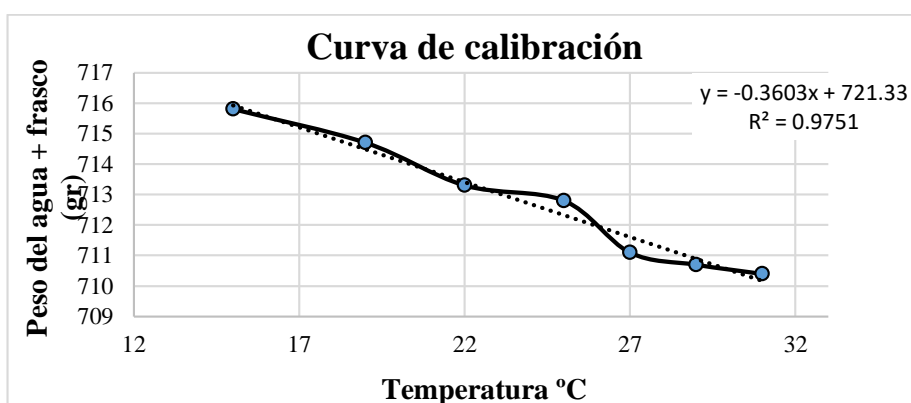
Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T-100 y ASTM D-854.

Tabla N° 3.33: Datos de la Calibración de Frasco Volumétrico.

Número de ensayo	Wfw (gr)	T (° C)
1	710,4	31
2	710,7	29
3	711,1	27
4	712,8	25
5	713,3	22
6	714,7	19
7	715,8	15

Fuente: Elaboración Propia.

Graficas N°3.4: Curva de Calibración del Frasco Volumétrico.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.34: Datos de Ensayo de Peso Específico del Filler Natural.

Número de lecturas	Unidad	1	2	3
Temperatura ensayada	°C	40,00	31,00	22,00
Peso del suelo seco Ws	gr	80,00	80,00	80,00
Peso del frasco + agua Wfw	gr	710,01	710,40	713,30
Peso del frasco + agua + suelo Wfws	gr	761,10	761,80	762,70
Peso específico	gr	2,767	2,797	2,614
Factor de corrección K	-	0,99791	0,99573	0,99786

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.35: Resultados del Ensayo de Peso Específico del Filler Natural 1.

Descripción	Ensayo		
	1	2	3
Peso específico (gr/cm3)	2,773	2,809	2,620
Promedio (gr/cm3)	2,734		

Fuente: Elaboración Propia.

Para el ensayo 2 se realizará el mismo procedimiento.

Tabla N° 3.36: Resultados del Ensayo de Peso Específico del Filler Natural 2.

Descripción	Ensayo		
	1	2	3
Peso específico (gr/cm ³)	2,802	2,819	2,655
Promedio (gr/cm ³)	2,759		

Fuente: Elaboración Propia.

El resultado es el procedimiento ponderado de los dos ensayos.

Tabla N° 3.37: Resultados del Ensayo de Peso Específico del Filler Natural.

Descripción	Ensayo	
	1	2
Peso específico (gr/cm ³)	2,734	2,759
Promedio (gr/cm ³)	2,746	

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.12 Ensayo de Peso Específico y Absorción del Filler Polvo de Ladrillo Gambote AASHTO T-100 (ASTM D-854)

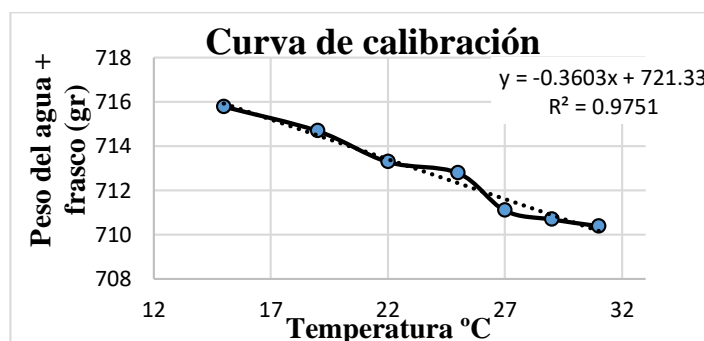
Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas de suelos compuestos por partículas menores que 5mm. Cuando el suelo se compone de partículas mayores que 5mm. Se debe aplicar el rentado de determinación de densidad neta de los gruesos, según el método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos. Cuando el suelo se compone tanto de partículas mayores como menores que 5mm, separe en el tamiz N°4 (4,75mm), determine y registre el porcentaje en masa seca de ambas fracciones y ensáyese con el método correspondiente. El resultado es el procedimiento ponderado de ambas fracciones. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T-100 y ASTM D-854.

Tabla N° 3.38: Datos de la Calibración de Frasco Volumétrico.

Número de ensayo	Wfw (gr)	T (° C)
1	710,4	31
2	710,7	29
3	711,1	27
4	712,8	25
5	713,3	22
6	714,7	19
7	715,8	15

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N°3.5: Curva de Calibración del Frasco Volumétrico.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.39: Datos de Ensayo de Peso Específico del Filler Polvo de Ladrillo Gambote.

Número de lecturas	Unidad	1	2	3
Temperatura ensayada	°C	38,00	31,00	22,00
Peso del suelo seco W _s	gr	80,00	80,00	80,00
Peso del frasco + agua W _{fw}	gr	710,01	710,40	713,30
Peso del frasco + agua + suelo W _{fws}	gr	761,40	761,80	762,60
Peso específico	gr	2,796	2,797	2,606
Factor de corrección K	-	0,99791	0,99573	0,99786

Fuente: Elaboración Propia.

Para el ensayo 1 se realizará el mismo procedimiento.

Tabla N° 3.40: Resultados del Ensayo de Peso Específico del Filler Polvo de Ladrillo Gambote 1.

Descripción 1	Ensayo		
	1	2	3
Peso específico (gr/cm ³)	2,802	2,809	2,611
Promedio (gr/cm ³)	2,741		

Fuente: Elaboración Propia.

Para el ensayo 2 se realizará el mismo procedimiento.

Tabla N° 3.41: Resultados del Ensayo de Peso Específico del Filler Polvo de Ladrillo Gambote 2.

Descripción 2	Ensayo		
	1	2	3
Peso específico (gr/cm ³)	2,707	2,751	2,545
Promedio (gr/cm ³)	2,668		

Fuente: Elaboración Propia.

El resultado es el procedimiento ponderado de los dos ensayos.

Tabla N° 3.42: Resultados del Ensayo de Peso Específico del Filler Polvo de Ladrillo Gambote.

Descripción	Ensayo	
	1	2
Peso específico (gr/cm ³)	2,741	2,668
Promedio (gr/cm ³)	2,704	

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.13 Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro ASTM D-422.

El análisis hidrométrico se basa en la ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera, cayendo libremente de un fluido, con el diámetro de la esfera. Se requiere el peso en su estado seco, pudiendo haber variantes de acuerdo a las características del suelo ensayado, así, por ejemplo

Limo y arcillas (que pasa el tamiz N°200) 50 a 60 gramos.

Hay dos opciones para obtener el peso de la muestra, que se seque antes del ensayo o después del ensayo. Si la muestra se seca antes del ensayo, entonces, entonces se anota el valor de peso de suelo seco. Si la muestra se seca después del ensayo, hay que transportar toda la suspensión a un recipiente para luego introducirla al horno, luego hay que restar el peso del defloculante.

Tabla N° 3.43: Datos de la Granulometría - Método del Hidrómetro

Tiempo transc. Min.	Temp. °C.	Lectura real R'.	Lectura correg. R.
0	23	34	35
2	23	32	33
4	23	27	28
6	23	24	25
8	23	22	23
10	23	20	21
12	23	19	20
14	23	18	19
16	23	17	18
23	23	15	16
28	23	14	15
33	23	12	13
43	23	11	12
48	23	10	11
58	23	9	10
68	23	8	9
88	23	5	6
1031	23	3	5
1201	25	2	3

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.44: Resultados de la Granulometría - Método del Hidrómetro

Tiempo transc. Min.	Temp. °C.	Lectura real R'.	Lectura correg. R.	Prof. efec. L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lectura correg. Re.	Diam. Partícula (mm)	% mas fino
0	23	34	35	10,7	0,0130	0,00	-0,700	34,300	0,0750	42,45
2	23	32	33	11,1	0,0130	5,55	-0,700	32,300	0,0306	39,97
4	23	27	28	11,9	0,0130	2,98	-0,700	27,300	0,0224	33,78
6	23	24	25	12,4	0,0130	2,07	-0,700	24,300	0,0186	30,07
8	23	22	23	12,7	0,0130	1,59	-0,700	22,300	0,0163	27,60
10	23	20	21	13,0	0,0130	1,30	-0,700	20,300	0,0148	25,12
12	23	19	20	13,2	0,0130	1,10	-0,700	19,300	0,0136	23,88
14	23	18	19	13,3	0,0130	0,95	-0,700	18,300	0,0126	22,65
16	23	17	18	13,5	0,0130	0,84	-0,700	17,300	0,0119	21,41
23	23	15	16	13,8	0,0130	0,60	-0,700	15,300	0,0100	18,93
28	23	14	15	14,0	0,0130	0,50	-0,700	14,300	0,0092	17,70
33	23	12	13	14,2	0,0130	0,43	-0,700	12,300	0,0085	15,22
43	23	11	12	14,3	0,0130	0,33	-0,700	11,300	0,0075	13,98
48	23	10	11	14,7	0,0130	0,31	-0,700	10,300	0,0072	12,75
58	23	9	10	14,8	0,0130	0,26	-0,700	9,300	0,0066	11,51
68	23	8	9	15,0	0,0130	0,22	-0,700	8,300	0,0061	10,27
88	23	5	6	15,5	0,0130	0,18	-0,700	5,300	0,0054	6,56
1031	23	3	5	15,8	0,0130	0,02	-1,300	3,700	0,0016	4,58
1201	25	2	3	16,0	0,0127	0,01	-1,300	1,700	0,0015	2,10

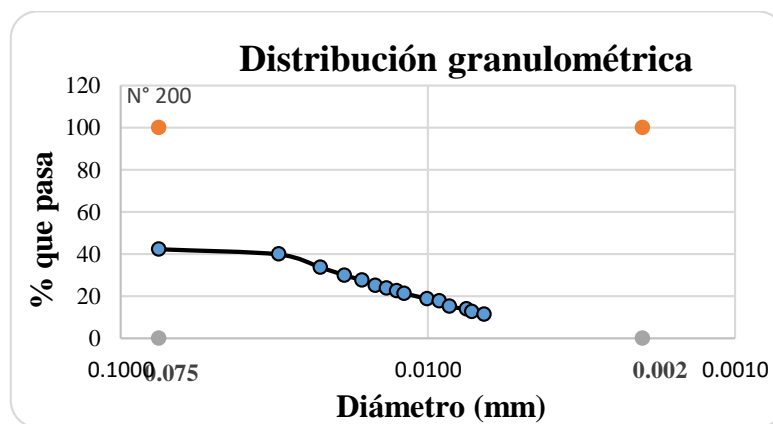
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.45: Resultados de la Granulometría - Método del Hidrómetro

% Pasa 200	100,00
% Limo parcial	89,60
% Arcilla parcial	10,40

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N°3.6: Distribución Granulométrica



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.14 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.

3.4.15 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 100gr y que la carga se aplica durante 5seg.

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 T-49 y en el ASTM D-5.

Figura N° 3.11: Realización del Ensayo de Penetración del Cemento Asfáltico.



Leyenda: Medición de la penetración del cemento asfáltico.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.46: Datos del Ensayo Penetración del Cemento Asfáltico 85-100.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
Penetración a 25°C, 100gr. 5seg. (0,1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	mm	96	94	87
	Lectura N°2	mm	95	90	89
	Lectura N°3	mm	86	84	87
Número de ensayos		3			

Fuente: Elaboración Propia.

Resultado: Se tiene como resultado una penetración de 90mm a 25°C, 100 gr. 5seg.

3.4.16 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 T-48 y ASTM D-92. 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° 3.12: Realización del Ensayo Punto de Inflamación del Cemento Asfáltico.



Leyenda: Midiendo la temperatura del cemento asfáltico.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 3.47: Datos del Ensayo Punto de Inflamación.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	279,0	280,0
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: Se tiene como resultado un punto de inflamación de 279,5°C.

3.4.17 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 picnómetro, descrito en los métodos AASHTO T-43 y ASTM D-70.

Tabla N° 3.48: Datos del Ensayo Peso Específico.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso picnómetro	gr	36,8	35,0	33,7
Peso picnómetro + agua (25°C)	gr	88,0	84,5	83,7
Peso picnómetro + muestra	gr	64,2	61,5	61,6
Peso picnómetro + agua + muestra	gr	88,7	84,8	84,9

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso de cálculo:

$$\text{Peso específico cemento asfáltico} = \frac{c}{b + (c - a) - d} * e$$

$$\text{Peso específico cemento asfáltico} = \frac{27,4}{88 + (64,2 - 36,8) - 88,7} * 0,997077$$

$$\text{Peso específico cemento asfáltico} = 1,023 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

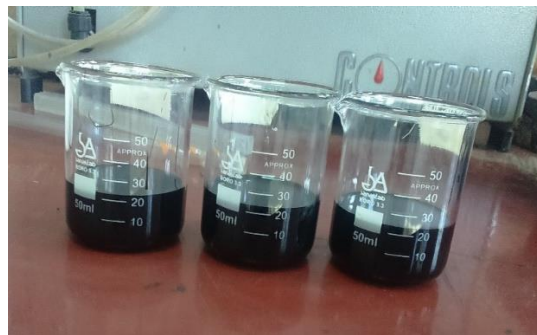
Tabla N° 3.49: Resultados del Ensayo Peso Específico.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso específico de cemento asfáltico	gr/cm ³	1,023	1,008	1,042
Promedio	gr/cm ³	1,025		

Fuente: Elaboración Propia.

Resultado: Se tiene como resultado el peso específico de 1,025gr/cm³.

Figura N° 3.13: Realización del Ensayo Peso Específico del Cemento [Asfáltico](#).



Leyenda: Preparación de los recipientes a utilizar para la realización del ensayo peso específico del cemento asfáltico.

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.18 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 T-53 y ASTM D-36.

Tabla N° 3.50: Datos del Ensayo Punto de Ablandamiento.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de ablandamiento	°C	49,0	49,5
Promedio	°C	49,2	

Fuente: Elaboración Propia.

Resultado: Se tiene como resultado un punto de ablandamiento de 49°C.

Figura N° 3.14: Ensayo Punto de Ablandamiento.



Leyenda: Preparación de los anillos a utilizar en el ensayo de punto de ablandamiento del cemento asfáltico.

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.19 Ensayo Ductilidad AASHTO T-51 (ASTM D-113)

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm a la cual se alarga antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de la forma descrita en la gráfica se traccionan a la velocidad y temperatura especificada. A menos que otra condición se especifique. El ensayo se efectúa a una temperatura de $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ y a una velocidad de $5\text{cm/min.} \pm 5\%$. Para otras temperaturas deberán especificarse la velocidad.

Tabla N° 3.51: Datos del Ensayo de Ductilidad.

Ensayo	Unidad	Ensayo 1
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm	123

Fuente: Elaboración Propia.

Resultado: Se tiene como resultado una ductilidad de 123cm.

Figura N° 3.15: Realización del Ensayo de Ductilidad del Cemento Asfáltico.



Leyenda: Desarrollo del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico con una temperatura de 25°C.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

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° 4.1: Resultados de la Caracterización de los Agregados Pétreos.

Ensayo	Agregados	Especificación		Resultado	ASTM
		Mín.	Máx.		
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	Grava 3/4"	-	40%	27,70%	C-131
	Gravilla 3/8"	-	40%	28,69%	
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	-	-	-	2,69gr/cm ³	C-127
	-	-	-	2,68 gr/cm ³	
Peso específico y absorción del filler.	Natural	-	-	2,746gr/cm ³	D-854
	Polvo de ladrillo gambote	-	-	2,704 gr/cm ³	
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	-	-	-	2,43gr/cm ³	C-128
Peso unitario	Grava 3/4"	-	-	1,493gr/cm ³	C-29
	Gravilla 3/8"	-	-	1,435gr/cm ³	
	Arena	-	-	1,595gr/cm ³	
Equivalente de arena	-	45%	-	66,49%	D-2419
Porcentaje de caras fracturadas	Grava 3/4"	75%	-	77,26%	D-5821
	Gravilla 3/8"	75%	-	78,6%	
Determinación de partículas largas y achatadas	Grava 3/4"	-	10%	6,57%	D-4791
	Gravilla 3/8"	-	10%	4,22%	
Hidrómetro.	Polvo de ladrillo gambote	-	-	89,60%	D-422
Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad.	Arena	-	-	No contiene.	D-4318
	Filler natural	-	-	No contiene	
	Filler polvo de ladrillo gambote	-	-	No contiene	

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° 4.2: Resultados de los Ensayos de Caracterización del Cemento Asfáltico.

Ensayo	Especificación		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Peso específico	1	1,05	1,025gr/cm ³	ASTM D-70
Punto de ablandamiento	41,4	53,2	49°C	ASTM D-36
Punto de inflamación	232	-	279°C	ASTM D-92
Penetración	85	100	90mm	ASTM D-5
Ductilidad	100	-	123cm	ASTM D-102

Fuente: Elaboración Propia.

4.2 COMBINACIÓN DE AGREGADOS

A continuación, se muestran el resumen de las granulometrías formada a través del promedio que se realizaron.

Tabla N° 4.3: Resumen de la Granulometría Formada.

Tamices N°	Tamaño (mm)	Grava peso ret. a 5000 gr	Gravilla peso ret. a 5000 gr	Arena peso ret. a 5000 gr	Filler peso ret. 5000 gr
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	19,0	207,86	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,5	3522,96	34,39	0,00	0,00
3/8"	9,50	1185,73	1187,76	0,00	0,00
4	4,75	81,83	3515,41	186,26	0,00
8	2,36	1,63	262,44	414,69	0,00
16	1,18	0,00	0,00	286,93	0,00
40	0,425	0,00	0,00	2778,20	0,00
100	0,15	0,00	0,00	795,37	0,00
200	0,075	0,00	0,00	396,25	0,00
Base	-	0,00	0,00	142,30	5000,00
Suma		5000,0	5000,0	5000,0	5000,0

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 la faja granulométrica de la mezcla convencional.

Para el diseño de dicha faja se utilizarán los materiales de los 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 20% de agregado grueso de 3/4", 25% de grava de 3/8", 50% de agregado fino y 5% de filler para la granulometría de la mezcla.

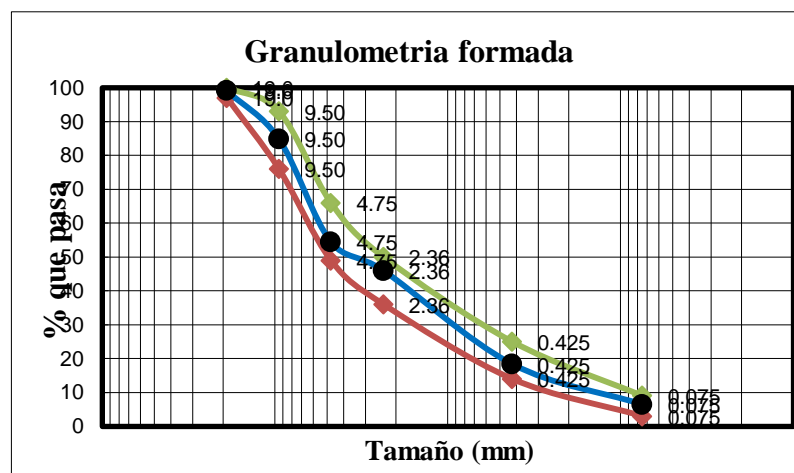
En la siguiente tabla se presentan los pesos del material retenidos y el peso del material que pasa en cada tamiz tanto para el agregado grueso, fino y el filler.

Tabla N° 4.4: Dosificación de Materiales Pétreos.

Tamices N°	Grava al 20,00 (gr)	Gravilla al 25,00 (gr)	Arena al 50,00 (gr)	Filler al 5,00 (gr)	% retenido	% que pasa	Especificaciones	
							Mínimo	Máximo
1"	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	41,57	0,00	0,00	0,00	0,83	99,17	97	100
1/2"	704,59	8,60	0,00	0,00	15,10	84,90	76	88
3/8"	237,15	296,94	0,00	0,00	25,78	74,22	-	-
4	16,37	878,85	93,13	0,00	45,54	54,46	49	59
8	0,33	65,61	207,35	0,00	51,01	48,99	36	50
16	0,00	0,00	143,46	0,00	53,88	46,12	-	-
40	0,00	0,00	1389,10	0,00	81,66	18,34	14	22
100	0,00	0,00	397,68	0,00	89,61	10,39	-	-
200	0,00	0,00	198,12	0,00	93,58	6,42	3	7
Base	0,00	0,00	71,15	250,00	100,00	0,00	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 4.1: Curva Granulométrica Formada Diseño Marshall.



Fuente: Elaboración Propia.

4.3 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° 4.5: Variaciones del Porcentaje del Cemento Asfáltico para obtener el Porcentaje Óptimo.

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

Fuente: Elaboración Propia.

Se realizan 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 varían 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 modificadas. - Se elaborarán 3 briquetas de mezclas asfálticas, cuyos porcentajes a variar serán 0%, 1%, 2%, 3%, 4% y 5% fabricando 3 briquetas por cada porcentaje de filler polvo de ladrillo gambote.

Tabla N° 4.6: 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 (remanente).		3
Briquetas de mezclas modificadas con el reemplazo del filler polvo de ladrillo gambote.	0%	3
	1%	3
	2%	3
	3%	3
	4%	3
	5%	3
Briquetas de mezclas modificadas con el porcentaje óptimo del filler polvo de ladrillo gambote (diseño final).		30
Total briquetas elaboradas para los ensayos		69

Fuente: Elaboración Propia.

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

4.4.1 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 N°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:

$$a = 51,01\%$$

$$b = 48,99\%$$

$$c = 6,42\%$$

$K = 0,20$ debido a que el porcentaje retenido en el tamiz N°3/4" es 0,83% lo cual es menor al 5%.

$$F = 0,7$$

$$A = 0,035 (51,01) + 0,045 (48,99) + 0,2 (6,42) + 0,7$$

$$A = 5,974\%$$

El contenido aproximado de asfalto es 5,974%, debido a este resultado se trabajarán en las diferentes dosificaciones con los siguientes porcentajes: 4,0%, 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% y 6,5%.

4.4.1.1 Dosificación con variaciones de porcentaje del contenido de asfalto.

Tabla N° 4.7: Dosificación con Cemento Asfáltico en Diferentes Porcentajes del Cemento Asfáltico.

Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla						
Porcentaje del cemento asfáltico (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Porcentaje de agregado (%)	96,00	95,50	95,00	94,50	94,00	93,50
Peso de la asfalto (gr)	48,00	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de grava (gr)	230,40	229,20	228,00	226,80	225,60	224,40
Peso de gravilla (gr)	288,00	286,50	285,00	283,50	282,00	280,50
Peso de arena (gr)	576,00	573,00	570,00	567,00	564,00	561,00
Peso de filler (gr)	57,60	57,30	57,00	56,70	56,40	56,10
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración Propia.

4.5 DESARROLLO DE LA ELABORACIÓN DE LAS BRIQUETAS

Equipo:

Martillo de compactación.

Dispositivo para moldear probetas.

Extractor de probetas.

Balanza A \pm 0.1gr.

Bandejas metálicas.

Termómetro

Espátula.

Asfalto 85-100

Equipo Marshall.

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° 4.1: Pesado de los Materiales.



Leyenda: Pesando la muestra del agregado y el cemento asfáltico para la realización de la briketa.

Fuente: Elaboración Propia.

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 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 18 briquetas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una media hora y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.

Figura N° 4.2: Elaboración de las Briquetas.



Leyenda: Calentamiento previo de los agregados y el cemento asfáltico antes del mezclado.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 4.3: Proceso de Compactación de las Briquetas.



Leyenda: Vaciado de la mezcla asfáltica al molde momentos previos a la compactación.

Fuente: Elaboración Propia.

4.6 DESARROLLO DEL ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA

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

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.

Figura N° 4.4: Medición de las Alturas de la Briqueta.



Leyenda: Se tomaron cuatro medidas por cada briqueta, para luego obtener un promedio y utilizarlo en el llenado de las planillas del ensayo Marshall.

Fuente: Elaboración Propia.

Antes de realizar el ensayo la muestra se debe pesar en seco, saturado superficialmente seco y sumergida en agua, antes de su ruptura debe ser sumergidas en baño de agua a $60^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ($140 \pm 1,8^{\circ}\text{F}$) durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos.

Figura N° 4.5: Briqueta sumergida en agua.



Leyenda: Obtención de datos del pesado de la briqueta totalmente sumergida en agua.

Fuente: Elaboración Propia.

Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas. La temperatura de las mismas se debe mantener entre 21°C y 38°C (70 a 100°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 50,8mm por 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° 4.6: Prensa Marshall para el Ensayo de Estabilidad y Fluencia.



Leyenda: Realización de la ruptura de la briqueta en el equipo Marshall.

Fuente: Elaboración Propia.

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

Solo se realizará un cálculo demostrativo para la briqueta con porcentaje de cemento asfáltico de 4,0%.

4.7.1 Identificación de Briquetas.

Para la identificación de las briquetas se las enumero en el caso del porcentaje en estudio 4,0% se identificó como: 1, 2 y 3.

4.7.2 Altura de las Briquetas.

Se miden las alturas dividiendo a la briqueta 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 4,0% sus alturas correspondientes son las siguientes:

Tabla N° 4.8: Alturas Medidas de Cada Briqueta.

Identificación	Alturas (cm)	Promedio (cm)
1	6,97	7,01
	7,06	
	7,10	
	6,90	
2	6,88	6,90
	6,96	
	6,95	
	6,79	
3	6,80	6,75
	6,83	
	6,70	
	6,67	

Fuente: Elaboración Propia.

4.7.3 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 4,0%. Mientras que para la base de agregado se realiza el siguiente procedimiento de cálculo.

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

$$\text{Base de agregado} = \frac{4,0 * 100}{100 - 4,0}$$

$$\text{Base de agregado} = 4,17$$

4.7.4 Peso de la 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° 4.9: Peso al Aire de las Briquetas.

Identificación	Peso briqueta en el aire (gr)
1	1186,8
2	1186,4
3	1162,6

Fuente: Elaboración Propia.

4.7.5 Peso de la 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° 4.10: Peso Briqueta Saturada Superficialmente Seca (S.S.S)

Identificación	Peso briqueta en el aire S.S.S. (gr)
1	1189,0
2	1188,2
3	1165,4

Fuente: Elaboración Propia.

4.7.6 Peso de la 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° 4.11: Peso Briqueta Sumergida en Agua.

Identificación	Peso briqueta sumergida en agua (gr)
1	629,0
2	635,0
3	626,0

Fuente: Elaboración Propia.

4.7.7 Volumen de la Briqueta.

Este proceso de cálculo se realiza para la briqueta identificada como 1.

Vol. de briqueta = Peso briqueta en el aire S.S.S - Peso de briqueta sumergida

$$\text{Vol. de briqueta} = 1189,0 - 629,0$$

$$\text{Vol. de briqueta} = 560,0 \text{ [gr]}$$

Debido a que el peso es del agua y su peso específico es 1 gr/cm^3 se considera:

$$\text{Vol. de briqueta} = 560,0 \text{ [cm}^3\text{]}$$

4.7.8 Densidad de la Briqueta.

Este proceso de cálculo se realiza para la briqueta identificada como 1.

4.7.8.1 Densidad Real de la Briqueta.

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

$$\text{Densidad real} = \frac{1186,8 \text{ gr}}{560,0 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad real} = 2,119 \text{ [gr/cm}^3\text{]}$$

4.7.8.2 Densidad Máxima Teórica de la Briqueta.

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

$$\text{Densidad máx.} = \frac{100}{\frac{4,0}{1,025} + \frac{100-4,0}{2,55}}$$

$$\text{Densidad máx.} = 2,406 \text{ [gr/cm}^3\text{]}$$

4.7.9 Porcentaje de Vacíos.

Este proceso de cálculo se realiza para la briqueta identificada como 1.

4.7.9.1 Porcentaje de Vacíos de la Mezcla (Vv).

$$V_v = \frac{\text{Densidad máx} - \text{Densidad real promedio}}{\text{Densidad máx}} * 100\%$$

$$V_v = \frac{2,41 - 2,14}{2,41} * 100\%$$

$$V_v = 11,14\%$$

4.7.9.2 Porcentaje de Vacíos de los Agregados Minerales (V.A.M).

$$V.A.M = \frac{\% \text{ de asfalto} * \text{Densidad real promedio}}{\text{Peso específico de asfalto}} + \% \text{ de vacíos (Vv)}$$

$$V.A.M = \frac{4,0 * 2,14}{1,025} + 11,14$$

$$V.A.M = 19,49\%$$

4.7.10 Estabilidad y Fluencia.

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

Tabla N° 4.12: Datos del Ensayo de Estabilidad y Fluencia.

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad (lb)	Fluencia (plg)
1	768,08	8
2	878,48	9
3	1002,3	8

Fuente: Elaboración Propia.

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

$$\text{Estabilidad corregida} = \text{Estabilidad} * \text{Factor corrección de altura}$$

Dónde:

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

Tabla N° 4.13: Alturas Promedio y Factor de Corrección por Altura.

Identificación	Promedio de alturas (cm)	Factor de corrección por altura	Promedio del factor de corrección
1	7,01	0,856	0,881
2	6,90	0,877	
3	6,75	0,910	

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

Tabla N° 4.14: Estabilidad Corregida.

Identificación	Estabilidad real promedio (lb)	Promedio del factor de corrección	Estabilidad corregida (lb)
1	768,08	0,881	780,1
2	878,48		
3	1002,3		

Fuente: Elaboración Propia.

Por tanto, se tiene los siguientes resultados:

Tabla N° 4.15: Resultados de la Estabilidad y Fluencia.

Identificación	Estabilidad (lb)		Fluencia	
	Real	Promedio	1/100"	Promedio
1	657,704	780,1	8	8,33
2	770,340		9	
3	912,138		8	

Fuente: Elaboración Propia.

4.8 RESULTADOS DEL DISEÑO DE LA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL 85-100

Después de terminar con el proceso de cálculo se tiene:

Tabla N° 4.16: Resultados del Diseño de la Mezcla Asfáltica Convencional 85-100.

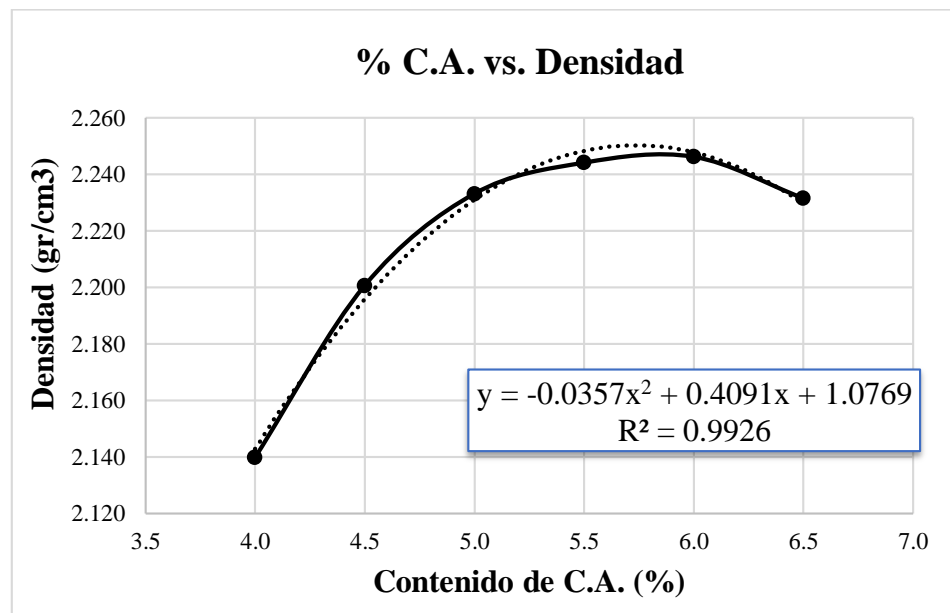
% de asfalto	Identificación	Altura promedio (cm)	Densidad real promedio (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M)	Estabilidad corregida promedio (lb)	Fluencia 1/100" promedio
4,0	1	7,01	2,14	11,14	19,49	780	8,33
	2	6,90					
	3	6,75					
4,5	4	6,84	2,20	7,97	17,63	1283	9,33
	5	6,88					
	6	6,77					
5,0	7	6,90	2,23	5,96	16,85	1807	9,67
	8	6,71					
	9	6,76					
5,5	10	6,71	2,24	4,84	16,88	2159	11,00
	11	6,82					
	12	6,50					
6,0	13	6,72	2,25	4,09	17,24	2260	12,00
	14	6,48					
	15	6,52					
6,5	16	6,55	2,23	4,07	18,22	1941	14,00
	17	6,53					
	18	6,53					

Fuente: Elaboración Propia.

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

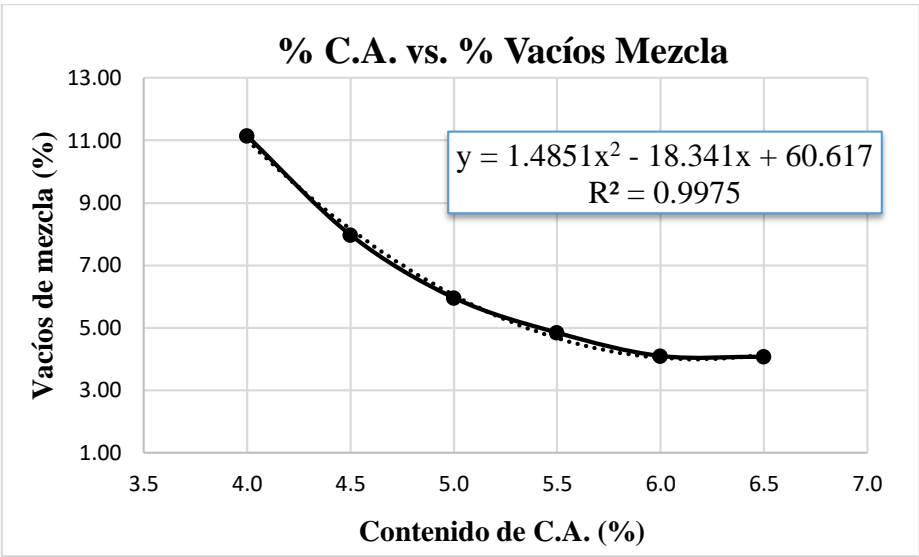
- Porcentaje de Cemento Asfáltico (C.A) vs. Densidad de la briqueta.
- Porcentaje de Cemento Asfáltico (C.A) vs. Porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.
- Porcentaje de Cemento Asfáltico (C.A) vs. Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M)
- Porcentaje de Cemento Asfáltico (C.A) vs. Estabilidad corregida.
- Porcentaje de Cemento Asfáltico (C.A) vs. Fluencia (flujo).

Gráfico N° 4.2: Porcentaje de Cemento Asfáltico (C.A) vs. Densidad de la briqueta.



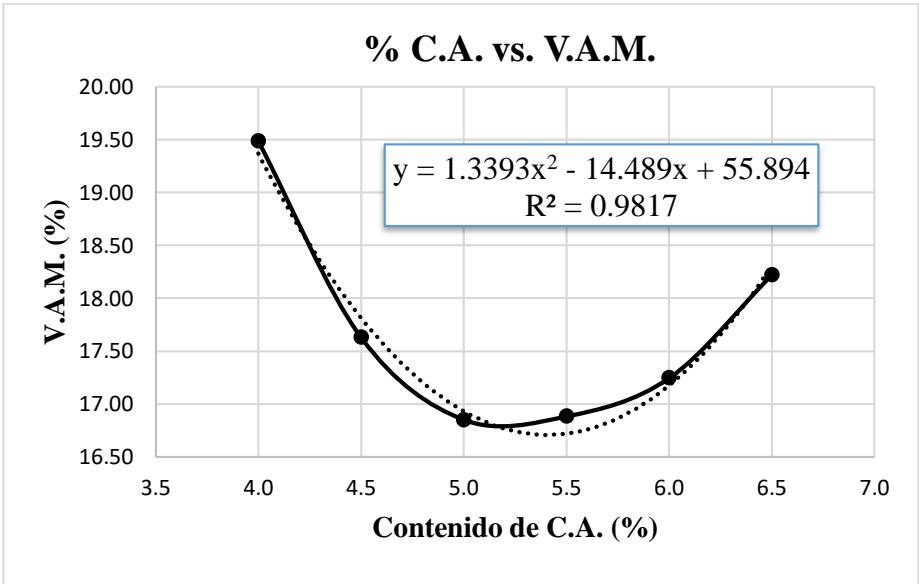
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 4.3: Porcentaje de Cemento Asfáltico (C.A) vs. Porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.



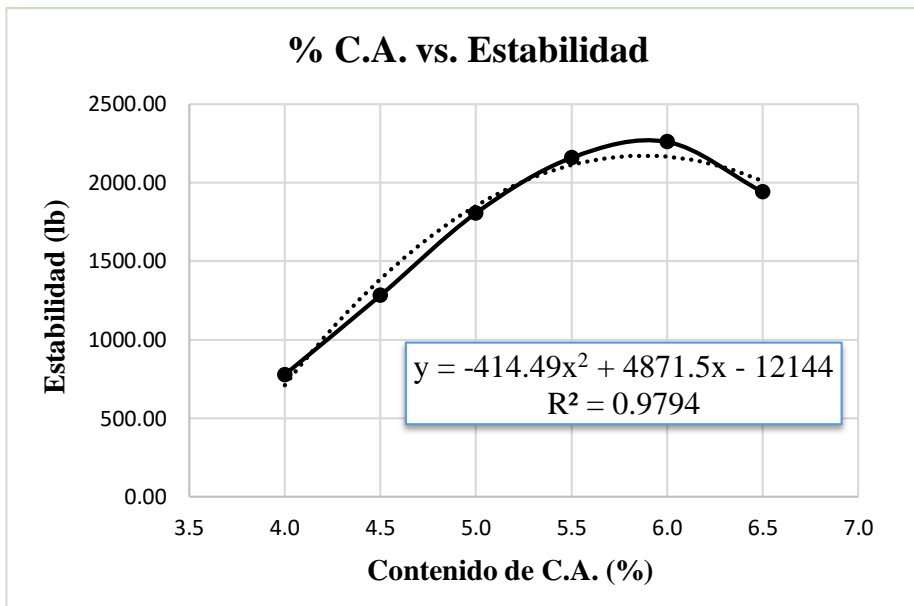
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 4.4: Porcentaje de Cemento Asfáltico (C.A) vs. Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M).



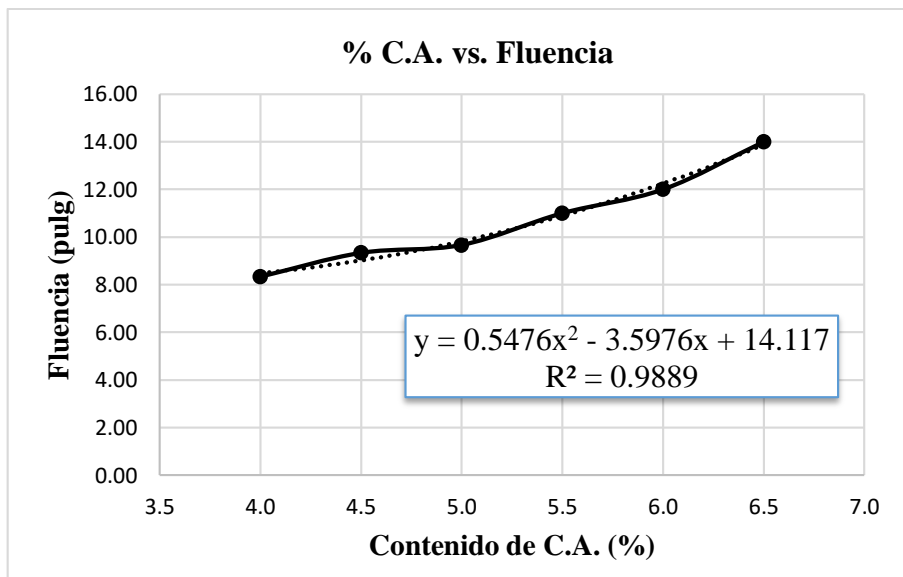
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 4.5: Porcentaje de Cemento Asfáltico (C.A) vs. Estabilidad corregida.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 4.6: Porcentaje de Cemento Asfáltico (C.A) vs. Fluencia (flujo).



Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a las gráficas obtenidas se tiene:

Tabla N° 4.17: Resultados de las Gráficas del Ensayo Marshall.

Valores				
Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,73	2,248	-----	-----
% Vacíos	6,19	4,0	3	5
V.A.M	5,52	17,50	13	
Estabilidad (lb)	5,88	2169,67	> 1800 (75 golpes)	
Fluencia 1/100"	6,25	12,0	8	14
Promedio (%)	5,93	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las graficas		

Fuente: Elaboración Propia.

El porcentaje óptimo de asfalto es de 5,93% que será utilizado para la realización de las mezclas convencionales y mezclas con adición del polvo de ladrillo gambote, modificando los porcentajes de filler natural por el polvo de ladrillo gambote.

4.9 PREPARACIÓN DE BRIQUETAS CON EL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO

Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico que es igual al 5,93% del total de la briqueta de 1200 gramos, se procede a pesar las muestras para su respectiva comparación, en la siguiente tabla se muestran los pesos repartidos de manera homogénea para la realización de briquetas convencionales con cemento asfáltico 85-100, manteniendo la combinación de agregados de 20% de grava 3/4", 25% de gravilla 3/8", 50% de arena y 5% filler.

Tabla N° 4.18: Dosificación con el Contenido Óptimo de Asfalto de 5,93 %.

Porcentaje óptimo de cemento asfáltico en la mezcla (%)	5,93
Porcentaje de agregado (%)	94,07
Peso de la asfalto (gr)	71,16
Peso de grava (gr)	225,77
Peso de gravilla (gr)	282,21
Peso de arena (gr)	564,42
Peso del filler natural (gr)	56,44
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 4.19: Datos Obtenidos del Ensayo Marshall con Porcentaje Óptimo de Asfalto.

% de asfalto	Identificación	Altura promedio (cm)	Peso briqueta			Estabilidad Marshall	Fluencia
			Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua	Estabilidad lectura del dial (lb)	Lectura dial del flujo
5,93	1	6,60	1183,5	1185,9	657	2275,21	10
	2	6,69	1199,5	1201,7	668	2200,99	12
	3	6,56	1185,1	1186,7	652	2050,70	12

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 4.20: Resultados de las Mezclas Asfálticas con Porcentaje Óptimo de Asfalto.

% de asfalto	Identificación	Altura promedio (cm)	Densidad real promedio (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M)	Estabilidad corregida promedio (lb)	Fluencia 1/100" promedio
5,93	Promedio	6,62	2,32	3,90	16,83	2175,63	11,33

Fuente: Elaboración Propia.

4.10 PREPARACIÓN DE BRIQUETAS CON EL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO VARIANDO EL PORCENTAJE DE FILLER NATURAL POR EL POLVO DE LADRILLO GAMBOTE.

Se mantendrá la dosificación de agregados con el porcentaje óptimo del ensayo Marshall el cual tendrá 5,93% de contenido de asfalto. Para este caso se procede a modificar el filler natural por el filler polvo de ladrillo gambote variando los porcentajes al adicionarlo, tomando en cuenta que la modificación de la mezcla asfáltica es en base al reemplazo del filler polvo de ladrillo gambote.

Tabla N° 4.21: Variación de Porcentajes del Reemplazo del Polvo de Ladrillo Gambote como Filler.

Porcentaje de reemplazo del filler. Natural - Polvo de ladrillo gambote	Peso del cemento asfáltico (gr)	Peso del filler natural (gr)	Peso del filler polvo de ladrillo gambote (gr)
5% - 0%	71,16	56,44	0,00
4% - 1%	71,16	45,15	11,29
3% - 2%	71,16	33,87	22,58
2% - 3%	71,16	22,58	33,87
1% - 4%	71,16	11,29	45,15
0% - 5%	71,16	0,00	56,44

Fuente: Elaboración Propia.

Se toma en cuenta que para la dosificación de mezclas asfálticas y ensayos de los filler se necesitará un aproximado de 56,44gr de filler natural para cada una de las variaciones de adición del nuevo filler polvo de ladrillo gambote.

4.11 ELABORACIÓN DE LAS BRIQUETAS CON LOS PORCENTAJES DE LOS FILLER

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° 4.7: Pesado de los Porcentajes de los Agregados y el Mezclado del Cemento Asfáltico.



Leyenda: Pesado de los agregados a utilizar en bolsas para facilitar la elaboración de las briquetas y el calentamiento de los moldes junto con el cemento asfáltico y la mezcla con el reemplazo del filler polvo de ladrillo gambote.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 4.22: Datos Obtenidos del ensayo Marshall de Mezclas Asfálticas con Porcentajes del Reemplazo del Filler.

% del filler natural	% del filler polvo de ladrillo gambote	Identificación	Altura promedio (cm)	Peso seco al aire (gr)	Peso saturado superficialmente seco (gr)	Peso sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad (lb)	Lectura dial fluencia
5,0	0,0	1	6,67	1185,3	1186,4	653	1178	12
		2	6,62	1197,3	1198,4	675	971	10
		3	6,63	1191,5	1192,6	665	1002	9
4,0	1,0	4	6,61	1205,2	1206,3	683	1025	13
		5	6,57	1191,2	1192,1	673	1200	10
		6	6,59	1198,3	1199,2	669	1036	10
3,0	2,0	7	6,49	1182,3	1183,6	670	1271	12
		8	6,44	1183,0	1184,4	667	1280	10
		9	6,49	1182,7	1184,0	675	1250	12
2,0	3,0	10	6,52	1190,9	1191,4	677	1280	13
		11	6,68	1200,3	1201,5	681	1679	12
		12	6,60	1195,5	1196,6	677	1223	10
1,0	4,0	13	6,39	1185,3	1187,5	677	1762	12
		14	6,38	1179,0	1179,3	675	1662	13
		15	6,54	1190,2	1196,2	683	1728	13
0,0	5,0	16	6,62	1189,3	1189,5	679	1410	13
		17	6,48	1192,6	1183,8	665	1300	14
		18	6,53	1191,0	1192,1	679	1355	14

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 4.23: Resultados de las Mezclas Asfálticas con Porcentaje de Reemplazo del Filler Natural y Polvo de Ladrillo Gambote.

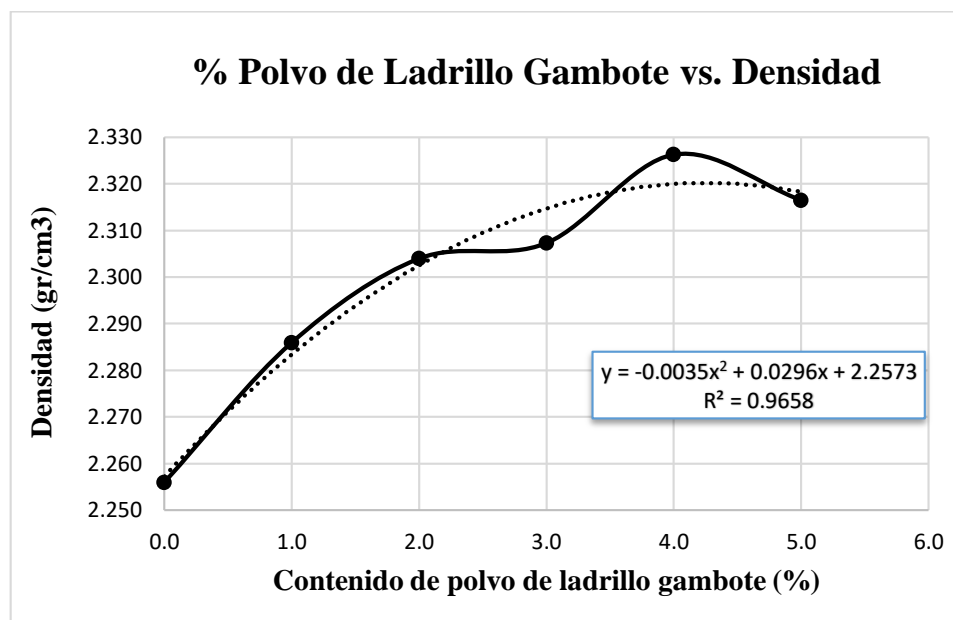
% del filler natural	% del filler polvo de ladrillo gambote	Identificación	Altura promedio (cm)	Densidad real promedio (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M)	Estabilidad corregida promedio (lb)	Fluencia 1/100” promedio
5,0	0,0	1	6,67	2,32	3,90	16,83	2175	11,33
		2	6,62					
		3	6,63					
4,0	1,0	4	6,61	2,29	9,07	11,30	2750	11,00
		5	6,57					
		6	6,59					
3,0	2,0	7	6,49	2,30	7,01	11,51	3289	11,33
		8	6,44					
		9	6,49					
2,0	3,0	10	6,52	2,31	5,53	12,28	3517	11,67
		11	6,68					
		12	6,60					
1,0	4,0	13	6,39	2,33	3,39	12,47	4509	12,67
		14	6,38					
		15	6,54					
0,0	5,0	16	6,62	2,32	2,45	13,75	3464	13,67
		17	6,48					
		18	6,53					

Fuente: Elaboración Propia.

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

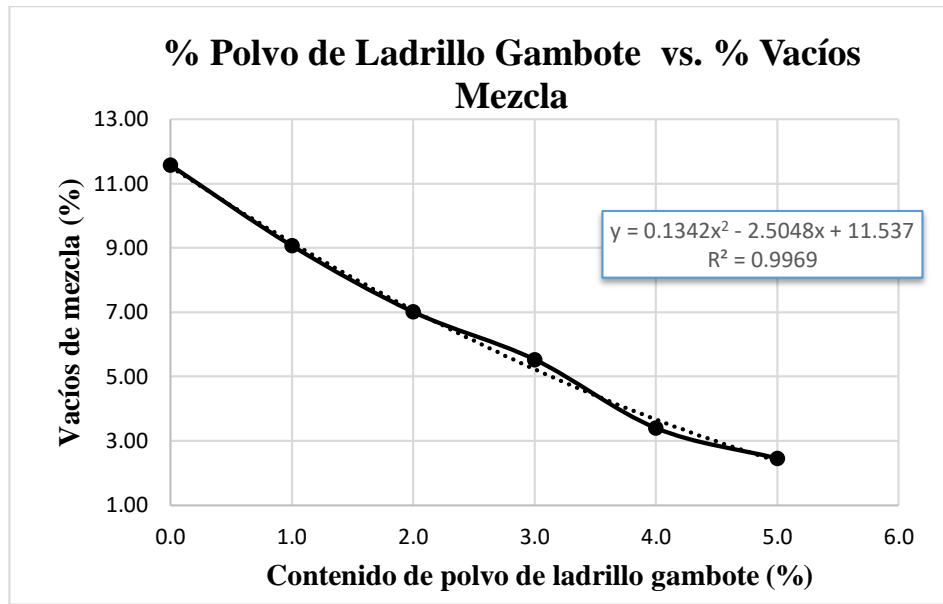
- Porcentaje de polvo de ladrillo gambote vs. Densidad de la briqueta.
- Porcentaje de polvo de ladrillo gambote vs. Porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.
- Porcentaje de polvo de ladrillo gambote vs. Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M)
- Porcentaje de polvo de ladrillo gambote vs. Estabilidad corregida.
- Porcentaje de polvo de ladrillo gambote vs. Fluencia (flujo).

Gráfico N° 4.7: Porcentaje de Polvo de Ladrillo Gambote vs. Densidad de la briqueta.



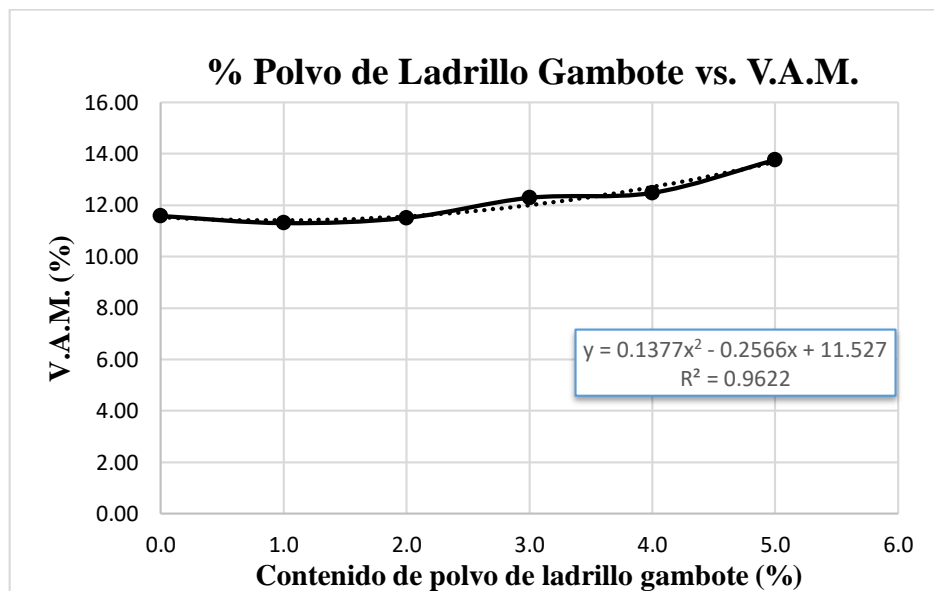
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 4.8: Porcentaje de Polvo de Ladrillo Gambote vs. Porcentaje de Vacíos en Aire.



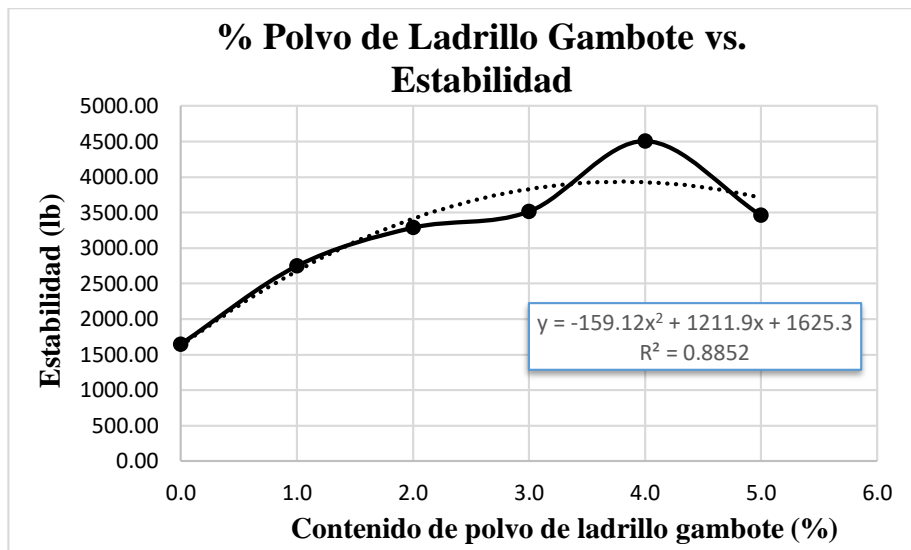
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 4.9: Porcentaje de Polvo de Ladrillo Gambote vs. Porcentaje Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M).



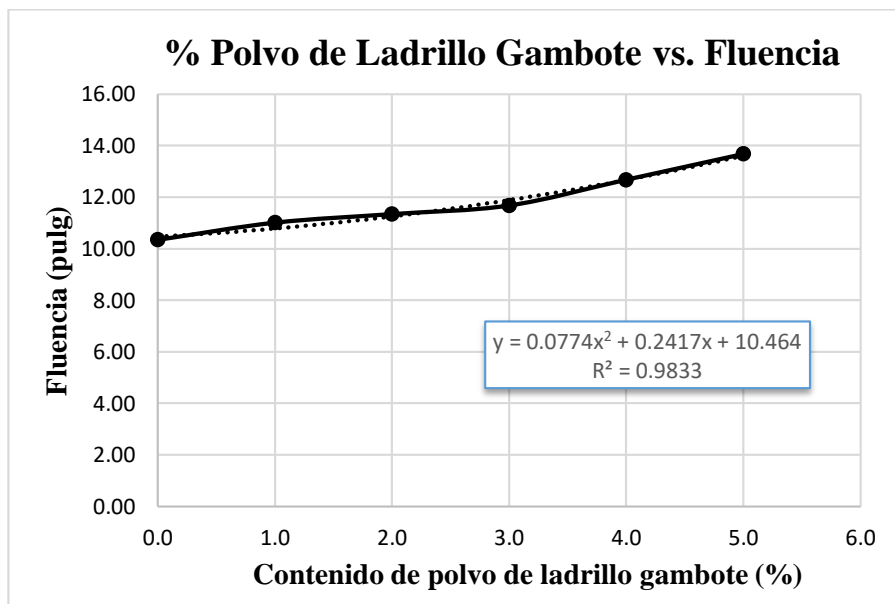
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 4.10: Porcentaje de Polvo de Ladrillo Gambote vs. Estabilidad
Corregida.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 4.11: Porcentaje de Polvo de Ladrillo Gambote vs. Fluencia.



Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a las gráficas obtenidas se tiene:

Tabla N° 4.24: Resultados de las Gráficas del Ensayo Marshall.

Valores				
Características	% de Filler polvo de ladrillo gambote	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	4,23	2,320	-----	-----
% Vacíos	3,80	4,0	3	5
V.A.M	3,50	13,25	13	
Estabilidad (lb)	3,81	3932,84	> 1800 (75 golpes)	
Fluencia 1/100"	3,95	13	8	14
Promedio (%)	3,95	Determinación del contenido óptimo del filler polvo de ladrillo gambote de las gráficas		

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 3,95% del polvo de ladrillo gambote y 1,05% del filler natural.

Es decir, el porcentaje óptimo de asfalto es 5,93% del diseño Marshall, pero el porcentaje óptimo del filler polvo de ladrillo gambote es 3,95% y el 1,05% del filler natural, haciendo el 5% del filler total, este valor es para modificar las cantidades que se utilicen en la mezcla asfáltica.

4.12 PREPARACIÓN DE BRIQUETAS CON EL PORCENTAJE ÓPTIMO DEL FILLER POLVO DE LADRILLO GAMBOTE Y CEMENTO ASFÁLTICO.

Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico que es igual al 5,93% y el porcentaje óptimo del filler que es igual al 3,95% del total de la briqueta de 1200 gramos, se procede a pesar las muestras para su respectiva comparación, en la siguiente tabla se muestran los pesos repartidos de manera homogénea para la realización de briquetas modificadas con el polvo de ladrillo gambote y el cemento asfáltico 85-100, manteniendo la combinación de agregados de 20% de grava 3/4", 25% de gravilla 3/8", 50% de arena y 5% filler.

Tabla N° 4.25: Dosificación con el Contenido Óptimo del Polvo de Ladrillo Gambote de 3,95%.

Porcentaje óptimo del polvo de ladrillo gambote (%)	3,95
Porcentaje de agregado (%)	94,07
Peso de la asfalto (gr)	71,16
Peso de grava (gr)	225,77
Peso de gravilla (gr)	282,21
Peso de arena (gr)	564,42
Peso de filler natural (gr)	11,85
Peso de filler polvo de ladrillo gambote (gr)	44,59
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00

Fuente: Elaboración Propia.

4.13 PROCESO DE CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LOS PORCENTAJES ÓPTIMOS DEL REEMPLAZO DEL FILLER.

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 datos y resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Tabla N° 4.26: Datos de las Propiedades Mecánicas de Mezclas Asfálticas con el Porcentaje Óptimo del Filler Polvo de Ladrillo Gambote.

% del filler polvo de ladrillo gambote	Identificación	Altura promedio (cm)	Peso seco al aire (gr)	Peso saturado superficialmente seco (gr)	Peso sumergido en agua (gr)	Lectura dial estabilidad (lb)	Lectura dial fluencia
3,95	1	6,62	1199,3	1201,8	675	1400	14
	2	6,59	1194,9	1196,7	680	1656	13
	3	6,59	1191,2	1192,1	673	1809	15
	4	6,61	1179,9	1180,3	678	1480	8
	5	6,47	1180,8	1183,4	670	1488	10
	6	6,66	1179,6	1181,9	668	1930	12
	7	6,56	1200,4	1202,4	680	1945	10
	8	6,57	1191,3	1192,5	672	1925	10
	9	6,52	1183,1	1183,9	667	1950	20
	10	6,56	1193,3	1193,6	675	2010	12
	11	6,56	1195,5	1197,8	679	1729	15
	12	6,61	1197,2	1199,7	678	1980	10
	13	6,62	1197,5	1198,7	677	1630	15
	14	6,63	1189,3	1191,5	675	1678	13
	15	6,65	1187,6	1189,1	670	1762	13
	16	6,62	1195,5	1195,7	673	1662	12
	17	6,52	1187,3	1189,5	670	2085	10
	18	6,62	1182,2	1183,7	667	1836	16
	19	6,46	1189,1	1191,3	675	2120	14
	20	6,52	1180,4	1181,9	669	1681	14
	21	6,65	1190,5	1192,7	673	1450	10
	22	6,61	1187,5	1190,5	675	1679	21
	23	6,60	1189,7	1191,5	670	1495	9
	24	6,53	1180,8	1182,8	665	2056	10
	25	6,56	1198,7	1199,3	673	1762	12
	26	6,56	1192,2	1195,6	680	1660	18
	27	6,49	1184,0	1186,8	670	1928	10
	28	6,52	1198,2	1200,6	683	1910	12
	29	6,52	1197,5	1198,2	679	2015	15
	30	6,62	1197,8	1198,5	675	1650	13

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 4.27: Resultados de las Propiedades Mecánicas de Mezclas Asfálticas con 1,05% Filler Natural y el 3,95% Filler Polvo de Ladrillo Gambote.

Descripción	Propiedades mecánicas					
	Altura promedio (cm)	Densidad real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (VV)	% Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
1	6,62	2,28	5,16	14,01	3519,09	14
2	6,59	2,31	3,67	12,51	4196,80	13
3	6,59	2,29	4,41	13,25	4586,14	15
4	6,61	2,35	4,15	13,07	3734,25	8
5	6,47	2,30	4,19	13,11	3869,01	10
6	6,66	2,30	4,38	13,30	4826,20	12
7	6,56	2,30	4,28	13,11	4961,96	10
8	6,57	2,29	4,66	13,49	4900,95	10
9	6,52	2,29	4,65	13,49	5013,49	20
10	6,56	2,30	4,15	13,01	5128,37	12
11	6,56	2,30	4,01	12,87	4408,99	15
12	6,61	2,30	4,40	13,26	5001,62	10
13	6,62	2,30	4,38	13,23	4106,16	15
14	6,63	2,30	4,08	12,92	4219,48	13
15	6,65	2,29	4,70	13,54	4413,60	13
16	6,62	2,29	4,72	13,54	4187,11	12
17	6,52	2,29	4,79	13,61	5361,78	10
18	6,62	2,29	4,69	13,50	4627,26	16
19	6,46	2,30	4,06	12,92	5534,03	14
20	6,52	2,30	4,13	12,99	4319,47	14
21	6,65	2,29	4,57	13,43	3629,06	10
22	6,61	2,30	4,04	12,86	4238,66	21
23	6,60	2,28	4,97	13,79	3779,89	9
24	6,53	2,28	5,00	13,82	5277,03	10
25	6,56	2,28	5,12	13,96	4493,48	12
26	6,56	2,31	3,68	12,52	4232,35	18
27	6,49	2,29	4,56	13,40	4992,42	10
28	6,52	2,31	3,57	12,44	4910,29	12
29	6,52	2,31	3,92	12,80	5181,19	15
30	6,62	2,29	4,69	13,56	4156,75	13

Fuente: Elaboración Propia.

4.14 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.

Teniendo los resultados de las propiedades mecánicas provenientes del ensayo Marshall, variando los porcentajes del reemplazo del filler natural por polvo de ladrillo gambote, se procede a evaluar el comportamiento estadístico de los mismos.

4.14.1 Briquetas con el Porcentaje Óptimo del Polvo de Ladrillo Gambote

Tabla N° 4.28: Resumen de Resultados de las Propiedades Mecánicas de Mezclas Asfálticas con 3,95% Filler Polvo de Ladrillo Gambote y 1,05% Filler Natural.

Descripción	Propiedades mecánicas				
	Densidad real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
1	2,28	5,16	14,01	3519,09	14
2	2,31	3,67	12,51	4196,80	13
3	2,29	4,41	13,25	4586,14	15
4	2,35	4,15	13,07	3734,25	8
5	2,30	4,19	13,11	3869,01	10
6	2,30	4,38	13,30	4826,20	12
7	2,30	4,28	13,11	4961,96	10
8	2,29	4,66	13,49	4900,95	10
9	2,29	4,65	13,49	5013,49	20
10	2,30	4,15	13,01	5128,37	12
11	2,30	4,01	12,87	4408,99	15
12	2,30	4,40	13,26	5001,62	10
13	2,30	4,38	13,23	4106,16	15
14	2,30	4,08	12,92	4219,48	13
15	2,29	4,70	13,54	4413,60	13
16	2,29	4,72	13,54	4187,11	12
17	2,29	4,79	13,61	5361,78	10
18	2,29	4,69	13,50	4627,26	16
19	2,30	4,06	12,92	5534,03	14
20	2,30	4,13	12,99	4319,47	14
21	2,29	4,57	13,43	3629,06	10
22	2,30	4,04	12,86	4238,66	21
23	2,28	4,97	13,79	3779,89	9
24	2,28	5,00	13,82	5277,03	10
25	2,28	5,12	13,96	4493,48	12
26	2,31	3,68	12,52	4232,35	18
27	2,29	4,56	13,40	4992,42	10
28	2,31	3,57	12,44	4910,29	12
29	2,31	3,92	12,80	5181,19	15
30	2,29	4,69	13,56	4156,75	13
Media	2,30	4,39	13,24	4526,90	12,87
Error probable Ep	0,01	0,15	0,15	195,29	1,12
Valor máximo (M+Ep)	2,30	4,54	13,39	4722,18	13,99
Valor mínimo (M- Ep)	2,29	4,24	13,09	4331,61	11,75

Fuente: Elaboración Propia.

4.15 ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.

Como los resultados son muy próximos entre la media y los calculados, además teniendo en cuenta que se tiene treinta datos para el porcentaje óptimo, 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.

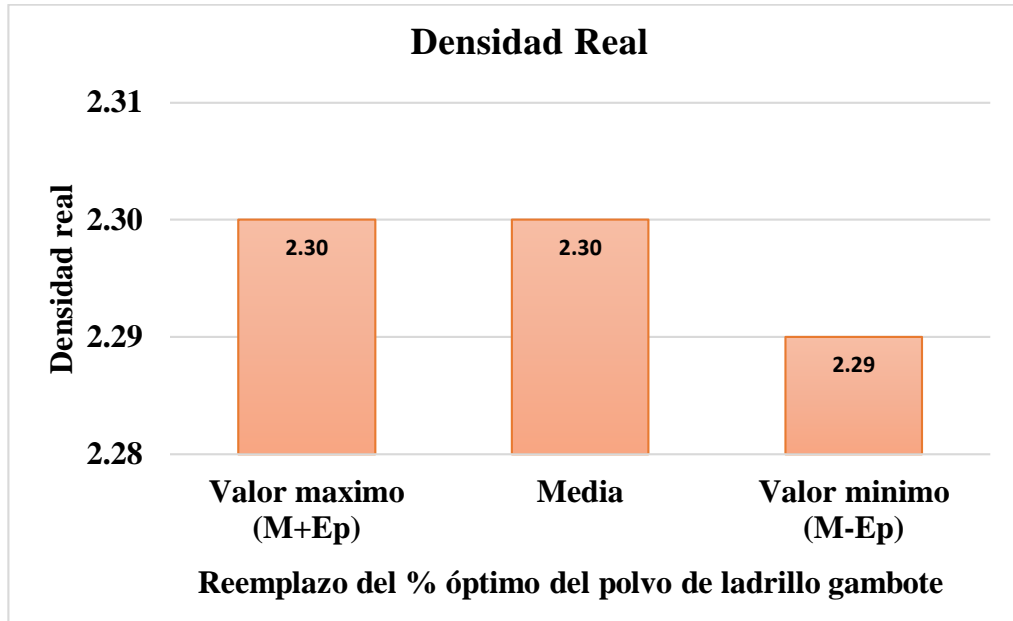
Tabla N° 4.29: Resultados de la Evaluación de las Propiedades Mecánicas Obtenidas de la Estadística.

N°	Descripción	Propiedades mecánicas				
		Densidad real	% Vacíos en la mezcla	% Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
1	Mezcla asfáltica modificada con 5,93% de asfalto (óptimo) con 1,05% de filler natural y 3,95% filler polvo de ladrillo gambote (óptimo).	2,30	4,39	13,24	4526,90	12,87

Fuente: Elaboración Propia.

4.15.1 Densidad vs. Porcentaje de Reemplazo Óptimo del Polvo de Ladrillo Gambote

Gráfico N° 4.12: Evaluación de Densidades.



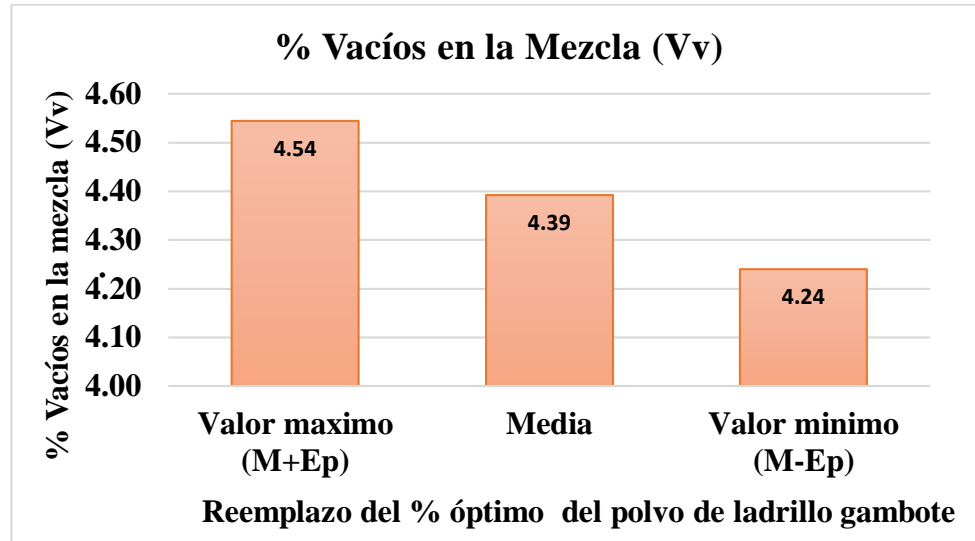
Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de resultados:

De acuerdo a la gráfica se puede observar que la densidad de la mezcla asfáltica con el contenido óptimo del filler 3,95% del polvo de ladrillo gambote de las briquetas elaboradas se encuentran dentro de los valores aceptado.

4.15.2 Porcentaje de Vacíos de la Mezcla vs. Porcentaje de Reemplazo Óptimo del Polvo de Ladrillo Gambote

Gráficos N° 4.13: Evaluación del Porcentaje de Vacíos de la Mezcla.



Fuente: Elaboración Propia.

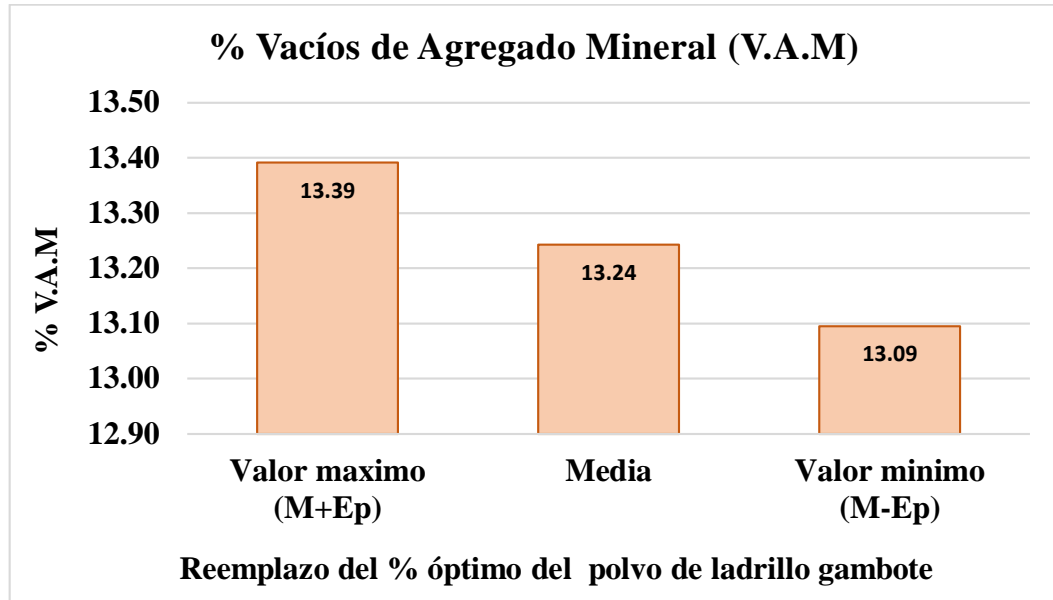
Análisis de resultados:

De acuerdo con la gráfica se puede observar que con el 3,95% del reemplazo del filler natural por el polvo de ladrillo gambote se obtuvo porcentajes de vacíos menores al valor máximo aceptado de las briquetas elaboradas, por lo que se afirma que los resultados arrojados están dentro de los rangos de confianza establecidos por la estadística.

El valor del porcentaje al 3,95% del filler polvo de ladrillo gambote es mayor al valor mínimo que nos indica la norma que es del 3% de vacíos y este valor a la vez no supera el valor máximo que nos indica la norma que es del 5% de vacíos.

4.15.3 Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral vs. Porcentaje de Reemplazo Óptimo del Polvo de Ladrillo Gambote

Gráfico N° 4.14: Evaluación del Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral.



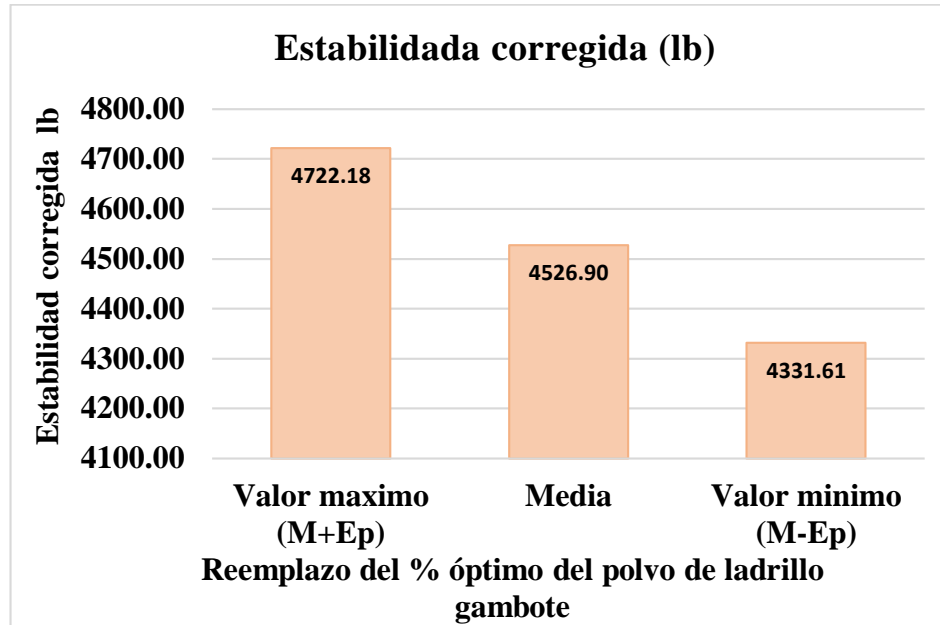
Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de resultados:

Con el uso del 3,95% del filler polvo de ladrillo gambote dentro de la realización de las briquetas se puede observar que el valor del porcentaje de vacíos del agregado mineral es mayor al valor mínimo de aceptación y se puede destacar que todas las briquetas realizadas con el reemplazo del filler natural por el polvo de ladrillo gambote si cumplen con el valor mínimo establecido en la norma para el diseño Marshall que es de 13% V.A.M.

4.15.4 Estabilidad vs. Porcentaje de Reemplazo Óptimo del Polvo de Ladrillo Gambote

Gráfico N°4.15: Evaluación de Estabilidades.



Fuente: Elaboración Propia.

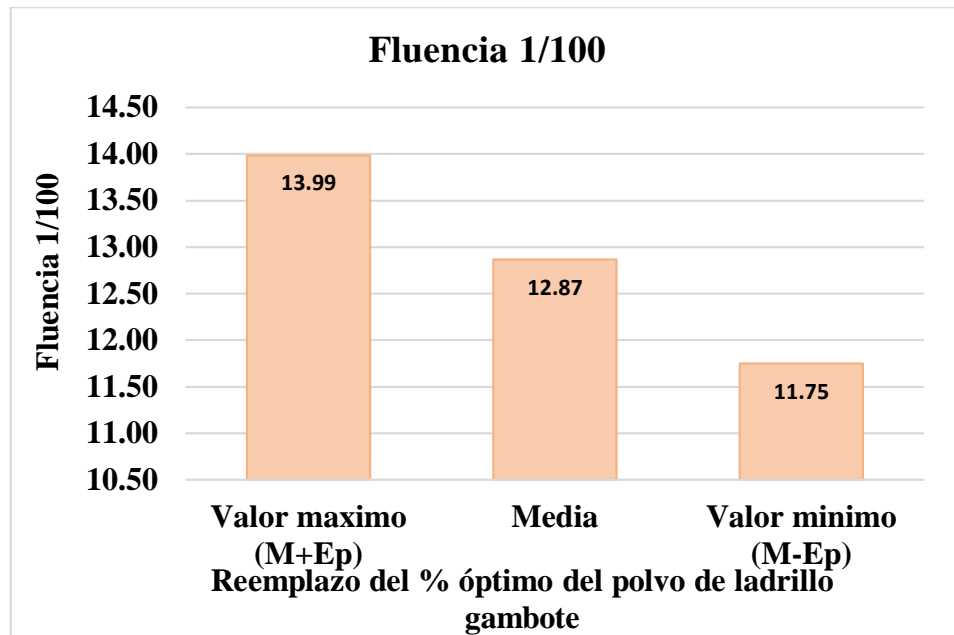
Análisis de resultados:

Observando la gráfica apreciamos que la estabilidad de las briquetas con el 3,95% del filler polvo de ladrillo gambote tiene una mejoría y a la vez este se encuentra dentro de los valores de aceptación.

Además, es que al 3,95% del filler polvo de ladrillo gambote la estabilidad es mayor 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.

4.15.5 Fluencia vs. Porcentaje de Reemplazo Óptimo del Polvo de Ladrillo Gambote

Gráfico N° 4.16: Evaluación de Fluencias.



Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de resultados:

La fluencia cumple en todos sus resultados 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 se puede observar que la fluencia media cumple con el máximo valor impuesto por la norma del diseño de mezclas asfálticas por el método Marshall.

4.16 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS CON EL CONTENIDO ÓPTIMO DEL FILLER NATURAL Y POLVO DE LADRILLO GAMBOTE A PARTIR DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Para cada porcentaje óptimo se tomarán los resultados de cada propiedad con los que se trabajó en la investigación, teniendo en cuenta que los porcentajes óptimos de reemplazo del filler natural por polvo de ladrillo gambote son 1,05% - 3,95% correspondientemente, con la finalidad de evaluar y analizar los resultados obtenidos y su efecto que produce al reemplazarse el filler polvo de ladrillo gambote dentro de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

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

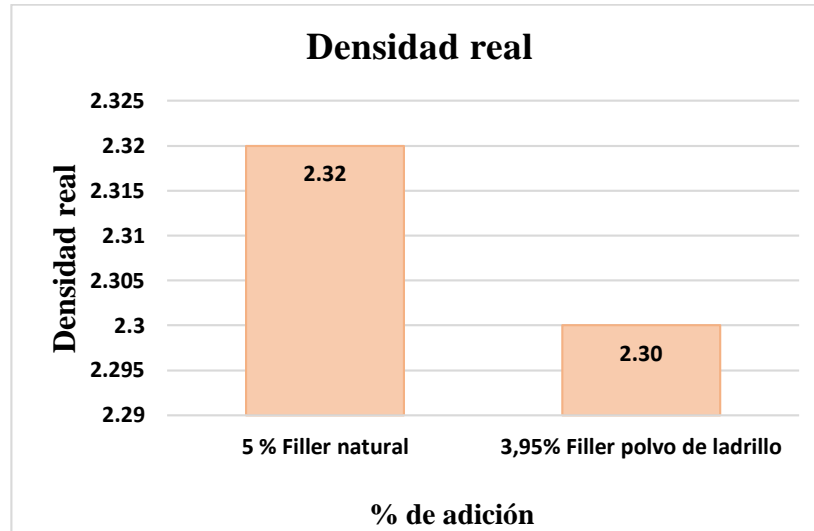
Tabla N°4.30: Propiedades Mecánicas de Porcentajes Óptimos.

N°	Descripción	Propiedades mecánicas				
		Densidad real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos de Agregado Mineral	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
1	Mezcla asfáltica convencional con 5,93% de asfalto (óptimo) con 5% de filler natural.	2,32	3,90	16,83	2175,63	11,33
2	Mezcla asfáltica modificada con 5,93% de asfalto (óptimo) con 1,05% de filler natural y 3,95% filler polvo de ladrillo gambote (óptimo).	2,30	4,39	13,24	4526,90	12,87
3	Máximo permitido por la norma para el diseño Marshall.	-	5,0	-	-	14
4	Mínimo permitido por la norma para el diseño Marshall.	-	3,0	13,0	1800	8

Fuente: Elaboración Propia.

4.16.1 Densidad vs. Porcentaje Óptimo del Polvo de Ladrillo Gambote

Gráfico N°4.17: Densidad Óptima con y sin el Reemplazo del Porcentaje Óptimo de Polvo de Ladrillo Gambote.



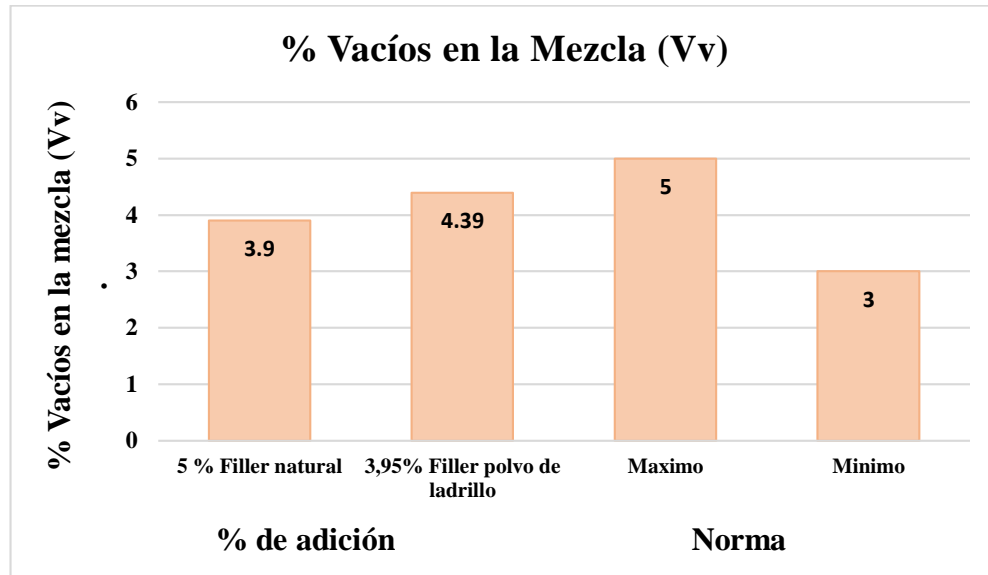
Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de resultados:

Se puede observar que con él porcentaje óptimo de filler polvo de ladrillo gambote disminuye la densidad un $0,02 \text{ gr/cm}^3$ en relación con la densidad de las briquetas con el contenido óptimo del cemento asfáltico y el 5% de filler natural.

4.16.2 Porcentaje de Vacíos de la Mezcla vs. Porcentaje Óptimo del Polvo de Ladrillo Gambote

Gráfico N° 4.18: Porcentaje de Vacíos de la Mezcla Óptima con y sin el Reemplazo del Porcentaje Óptimo de Polvo de Ladrillo Gambote.



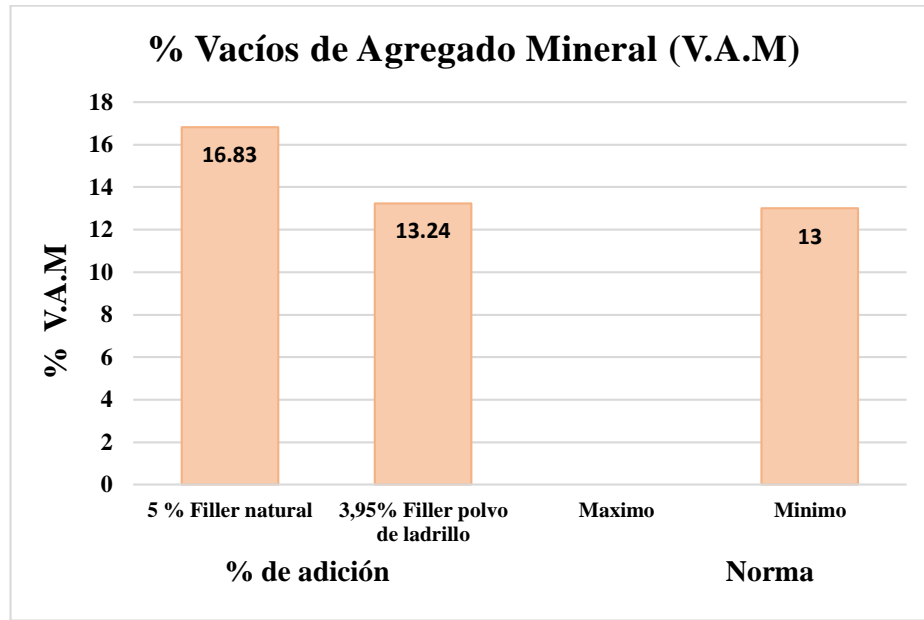
Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de resultados:

En esta parte debemos hacer alusión a la norma la cual nos indica que el porcentaje de vacíos debe estar entre el rango de 3 – 5% por lo que ambas mezclas cumplen con la norma, en donde el valor más bajo de vacíos de la mezcla asfáltica se presenta en la mezcla asfáltica convencional cuando se utiliza el filler natural con un 3,9% de vacíos de la mezcla, mientras el valor más alto se reporta para un porcentaje de 3,95% de polvo de ladrillo gambote. Por otra parte, la mezcla asfáltica modificada muestra un comportamiento diferente al adicionar el filler polvo de ladrillo gambote donde los vacíos de la mezcla total obtenidos tienden a disminuir cuando se incrementa el porcentaje de polvo de ladrillo gambote. Esta mezcla muestra el valor óptimo de vacíos en la mezcla total con filler natural como llenante mineral y el valor de incrementación de 12,56% de vacíos de mezcla total cuando la mezcla contiene polvo de ladrillo gambote como llenante mineral.

4.16.3 Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral V.A.M vs. Porcentaje Óptimo del Polvo de Ladrillo Gambote

Gráfico N° 4.19: Porcentajes de Vacíos de Agregado Mineral Óptimos con y sin el Reemplazo del Porcentaje Óptimo de Polvo de Ladrillo Gambote.



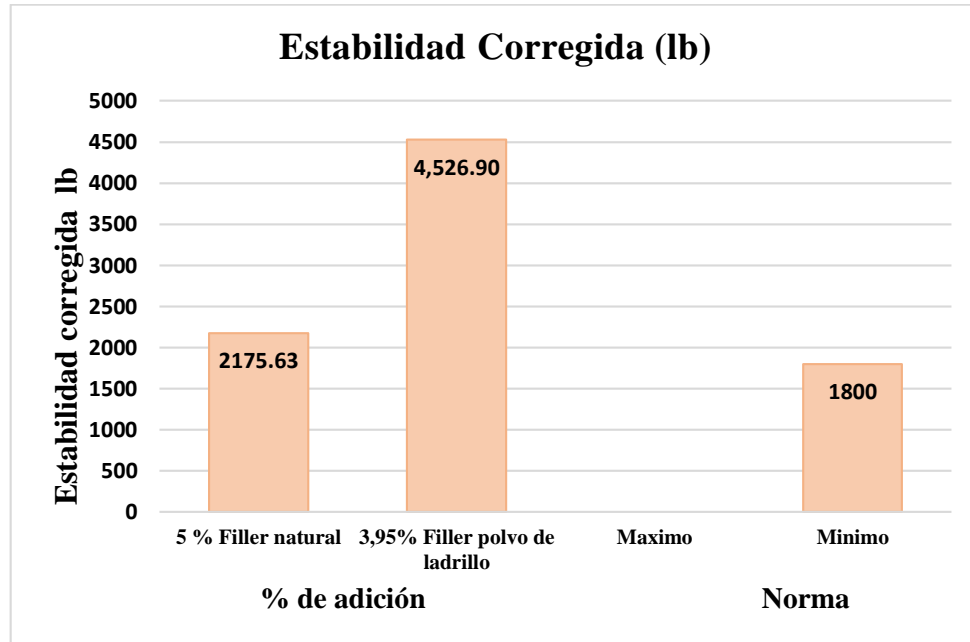
Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de resultados:

Es en este punto donde se puede observar que ambos porcentajes de vacíos de agregado mineral cumplen con la especificación de la norma que indica un mínimo de 13%, teniendo en cuenta que el valor de % de vacíos de agregado mineral de la mezcla asfáltica modificada con el contenido óptimo del polvo de ladrillo gambote es menor con un 21,33% en comparación a la mezcla asfáltica convencional utilizando filler natural, también se puede ver que está muy cerca del límite impuesto por la norma que indica para tránsito pesado como valor mínimo de 13%.

4.16.4 Estabilidad vs. Porcentaje Óptimo del Polvo de Ladrillo Gambote

Gráfico N° 4.20: Estabilidades Óptimas con y sin el Reemplazo del Porcentaje Óptimo de Polvo de Ladrillo Gambote.



Fuente: Elaboración Propia.

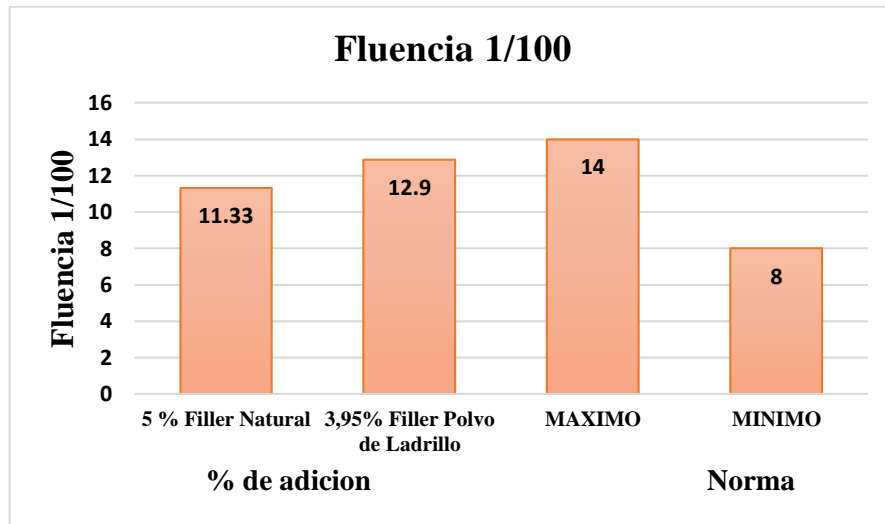
Análisis de resultados:

Se puede observar que con la presencia de polvo del ladrillo gambote la estabilidad tiene una mejora considerable dentro de la estabilidad de la mezcla asfáltica modificada cumpliendo con el mínimo para tránsito pesado establecido por norma que es de 1800 lb.

También se puede evidenciar que en la mezcla asfáltica convencional la tendencia de la estabilidad aumentar ligeramente hasta un máximo en el porcentaje del 4% de polvo de ladrillo gambote y luego decrecer a medida que aumenta el contenido de polvo de ladrillo gambote hasta alcanzar un valor similar a aquel que se reporta para la mezcla fabricada con llenante natural. En la mezcla asfáltica modificada, se evidencia un incremento de su estabilidad a un 100% con el contenido óptimo de 3,95% de polvo de ladrillo gambote a comparación de la mezcla asfáltica convencional.

4.16.5 Fluencia vs. Porcentaje Óptimo del Polvo de Ladrillo Gambote

Gráfico N° 4.21: Fluencias Óptimas con y sin el Reemplazo del Porcentaje Óptimo de Polvo de Ladrillo Gambote.



Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de resultados:

Con el contenido óptimo del filler polvo de ladrillo gambote (3,95%) dentro de la mezcla asfáltica modificada se puede observar que el valor de la fluencia aumenta y que se encuentran dentro de lo impuesto por la norma para tránsito pesado que es entre 8 - 14 (1/100”), en donde el valor más bajo de la fluencia de la mezcla asfáltica se presenta en la mezcla asfáltica convencional cuando se utiliza el filler natural con un 11,33 (1/100”) de la mezcla, mientras el valor más alto se reporta para el porcentaje de 3,95% de polvo de ladrillo gambote como filler.

Por otra parte, la mezcla asfáltica modifica la muestra un comportamiento diferente al adicionar el filler polvo de ladrillo gambote donde la fluencia de la mezcla total obtenido tiende a aumentar cuando se incrementa el porcentaje de polvo de ladrillo gambote. Esta mezcla muestra el valor óptimo de fluencia en la mezcla total con filler natural como llenante mineral y el valor de incrementación de 13,86% de la fluencia de la mezcla total cuando la mezcla contiene el óptimo del polvo de ladrillo gambote como llenante mineral.

4.17 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la presente tabla muestra como la variación de los porcentajes del reemplazo del filler natural por el polvo de ladrillo gambote y la relacionan de ambas variables de la investigación, donde se remarcan los resultados obtenidos del porcentaje óptimo del reemplazo del filler polvo de ladrillo gambote.

4.17.1 Relación y Resumen de Resultados

Tabla N° 4.31. Resultados y Relación de los Resultados Finales.

Variación del reemplazo del filler		Variable dependiente de las propiedades mecánicas				
Natural (%)	Polvo de ladrillo gambote (%)	Densidad real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% V.A.M	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100''
5	0	2,32	3,90	16,83	2175,63	11,33
4	1	2,29	9,07	11,30	2750,00	11,00
3	2	2,30	7,01	11,51	3289,00	11,33
2	3	2,31	5,53	12,28	3517,00	11,67
1	4	2,33	3,39	12,47	4509,00	12,67
0	5	2,32	2,45	13,75	3464,00	13,67
Óptimo 1,05 - 3,95		2,30	4,39	13,24	4526,90	12,87

Fuente: Elaboración Propia.

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

Densidad

Se puede observar que a mayor reemplazo del filler polvo de ladrillo gambote la densidad comienza a subir hasta llegar al 4% de reemplazo y que a partir de este valor decrece con valores mínimos, con él porcentaje óptimo de filler polvo de ladrillo gambote disminuye la densidad un 0,02 gr/cm³ en relación con la densidad de la mezcla asfáltica convencional, trabajado con filler natural.

Ambos valores de la densidad se encuentran dentro de los rangos de nuestros valores promedios estadístico.

% de Vacíos en la mezcla (Vv)

En esta parte se debe hacer alusión a la norma la cual nos indica que el porcentaje de vacíos debe estar entre el rango de 3 – 5%, en donde se puede observar en la Tabla 4.31 a mayor reemplazo del filler polvo de ladrillo gambote disminuye el % de vacíos, por lo que esta investigación cumple a partir de los rangos de 1% de filler natural – 4% filler polvo de ladrillo gambote, encontrándose los valores dentro de los rangos establecidos por la Norma.

El valor más bajo de vacíos de la mezcla asfáltica se presenta en la mezcla asfáltica convencional, cuando se utiliza el filler natural con un 3,9% de vacíos de la mezcla, mientras el valor más alto se reporta para un porcentaje de 3,95% de polvo de ladrillo gambote.

% de Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M)

Es en este punto donde se puede observar que ambos porcentajes de vacíos de agregado mineral cumplen con la norma que indica un mínimo de 13%, teniendo en cuenta que el valor del % de vacíos de agregado mineral de la mezcla asfáltica modificada tiende a mejorar a mayor reemplazo del filler polvo de ladrillo gambote teniendo como valor máximo 13,75% con el reemplazo de su totalidad del filler (0% - 5%).

En comparación de las mezclas asfálticas convencional (filler natural) y la modificada (filler polvo de ladrillo gambote) tiene mayor % V.A.M la mezcla asfáltica convencional y a su vez el % V.A.M de la mezcla asfáltica modificada está muy cerca del valor límite impuesto por la norma que indica para tránsito pesado como valor mínimo de 13%.

Estabilidad

Observando la Tabla 4.31 apreciamos que la estabilidad de las briquetas comienza a subir con valores significativos a mayor reemplazo del filler polvo de ladrillo gambote, donde la estabilidad máxima se encuentra dentro de los rangos 1% del filler natural - 4% de filler polvo de ladrillo gambote, y a partir de este rango hasta llegar a su totalidad de reemplazo tiene un decrecimiento, también se observa que con el contenido óptimo del polvo de

ladrillo gambote de 3,95% tiene una mejoría y a la vez éste se encuentra dentro de los valores de aceptación de 1800 lb, el valor mínimo de estabilidad para tránsito pesado, establecido por la norma para el diseño de mezclas asfálticas por el método Marshall y que este aumenta con valores significativos a comparación de la mezcla asfáltica convencional.

Fluencia

Con el contenido óptimo del filler polvo de ladrillo gambote (3,95%) dentro de la mezcla asfáltica modificada se puede observar que el valor de la fluencia aumenta y que se encuentran dentro de lo impuesto por la norma para tránsito pesado que es entre 8 - 14 (1/100”), en donde el valor más bajo de la fluencia de la mezcla asfáltica se presenta en la mezcla asfáltica convencional cuando se utiliza el filler natural con un 11,33 (1/100”) de la mezcla, mientras el valor más alto se reporta para el porcentaje de 3,95% de polvo de ladrillo gambote como filler.

Por otra parte, la mezcla asfáltica modificada muestra un comportamiento diferente al adicionar el filler polvo de ladrillo gambote aumentando su valor a mayor cantidad de remplazo del filler y donde la fluencia máxima de la mezcla se presenta el reemplazo de su totalidad del filler 5% y el mínimo de la fluencia en el 1% cumpliendo ambos porcentajes con lo establecido por la norma.

La mezcla muestra el valor óptimo de fluencia en la mezcla total con filler natural como llenante mineral y el valor de incremento de 13,86% de la fluencia de la mezcla total cuando la mezcla contiene el óptimo del polvo de ladrillo gambote como llenante mineral.

4.18 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.

Dentro de la presente investigación se presenta la siguiente hipótesis:

“Adicionando el polvo de ladrillo gambote como filler, se mejorarán las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en comparación con el filler natural.”

Distribución normal: Se realizará la prueba de hipótesis con la distribución normal por contar con 30 datos de estudio y se tomará solo una propiedad mecánica para esta validación de hipótesis que será la estabilidad.

Datos:

$n = 30$ briquetas.

$\bar{x} = 4526,90$ lb. (estabilidad)

$S = 545,73$ lb.

$\mu = 1800$ lb. (por norma)

$NC = 95\% = 0,95$

$H_0 =$ Hipótesis nula.

$H_1 =$ Hipótesis alternativa.

Tabla 4.32: Generando la hipótesis:

H_0	H_1
\leq	$>$

H_0	$\bar{x} > \mu$	$4526,90 \text{ lb.} > 1800 \text{ lb.}$
H_1	$\bar{x} \leq \mu$	$4526,90 \text{ lb.} \leq 1800 \text{ lb.}$

Fuente: Elaboración Propia.

Determinar el nivel de significancia:

$$NC + \alpha = 1$$

$$0,95 + \alpha = 1$$

$$\alpha = 1 - 0,95$$

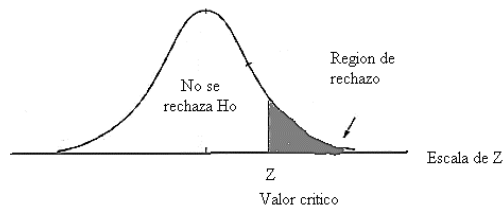
$\alpha = 0,05$ Es el riesgo del 5% que no ocurra la hipótesis.

$$\alpha = \frac{0,05}{2} = 0,025.$$

Valor de ingreso de tabla= $0,95 + 0,025 = 0,975$.

Ahora con los valores calculados de 0,975 se obtendrá por tabla los valores de Z correspondiente al 95% de confianza que es de: $Z = 1,96$.

Figura 4.8: Formulación de la Regla de Decisiones.



Leyenda: Por el nivel de significancia y la generación de la hipótesis nuestro grafica tendrá solo una región de rechazo ubicado a la derecha del gráfico.

Fuente: Prueba de Hipótesis para una Muestra- Monografías.

Tabla 4.33: Resultados de Z

Error poblacional	$G = \frac{S}{\sqrt{n}}$	$G = 99,64$
Z_c	$Z_c = \frac{\bar{x} - \mu}{G / \sqrt{n}}$	$Z_c = 149,90$

Fuente: Elaboración Propia.

Conclusiones:

Observando el valor obtenido por tabla Z y el calor calculado de Z_c , se puede verificar que el calor de Z_c se encuentra dentro de los rangos de la región de rechazo por lo que la hipótesis nula es rechazada y se acepta la hipótesis alternativa.

Al terminar el análisis de los resultados se puede verificar que la hipótesis es válida ya que con el porcentaje óptimo del reemplazo del filler polvo de ladrillo gambote (3,95%) si se obtiene mejoras, en algunos casos menores y en otros más significativo, dentro de las propiedades mecánicas establecidas (estabilidad, fluencia, % de vacíos de la mezcla, % de vacíos de agregado mineral, densidad).

4.19 ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE MEZCLAS ASFALTICAS.

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 el aprovechamiento de los recursos de los materiales, laborales y financieros en el proceso de producción porque estos determinan el nivel de ganancia que obtiene la organización.

Para el presente estudio, se analizan los costos de producción de las mezclas asfálticas; en 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 la mezcla asfáltica modificada a partir del reemplazo óptimo de la adición del polvo de ladrillo gambote.

Dosificación de la mezcla convencional:

Tabla N°4.34: Composición para la Mezcla.

Cálculo de la dosificación de la mezcla convencional	
Materiales	Porcentaje (%)
Agregado de 3/4" (20%)	18,81
Agregado de 3/8" (25%)	23,52
Arena (50%)	47,04
Filler natural (5%)	4,70
Cemento asfáltico	5,93

Fuente: Elaboración Propia.

Composición de la mezcla:

Agregado= 94,27%

Cemento asfáltico= 5,93%

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

Tabla N° 4.35: Dosificación para 1 m³.

Material	Peso (kg)	Porcentaje (%)	Peso específico (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agregado de 3/4"	423,22	18,81	2680	0,158
Agregado de 3/8"	529,20	23,52	2670	0,097
Arena	1058,40	47,04	2430	0,436
Filler natural	105,75	4,70	2750	0,0384
Cemento asfáltico	133,42	5,93	1025	-

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°4.36: Composición de la Mezcla Asfáltica Modificada.

Calculo de la dosificación de la mezcla modificada.	
Materiales	Porcentaje (%)
Agregado de 3/4" (20%)	18,81
Agregado de 3/8" (25%)	23,52
Arena (50%)	47,04
Filler natural (1,05%)	0,99
Filler polvo de ladrillo gambote (3,95%)	3,71
Cemento asfáltico	5,93

Fuente: Elaboración Propia.

Composición de la mezcla:

Agregado= 94,27%

Cemento asfáltico= 5,93%

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

Tabla N°4.37: Dosificación del % Óptimo del Filler Polvo de Ladrillo Gambote

para 1 m³.

Material	Peso (kg)	Porcentaje (%)	Peso específico (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agregado de 3/4"	423,22	18,81	2680	0,158
Agregado de 3/8"	529,20	23,52	2670	0,097
Arena	1058,40	47,04	2430	0,436
Filler natural	22,28	0,99	2750	0,008
Filler polvo de ladrillo gambote	83,48	3,71	2704	0,031
Cemento asfáltico	128,95	5,93	1025	-

Fuente: Elaboración Propia.

Dentro del análisis de costos de elaboración de la mezcla asfáltica modificada al reemplazar el polvo de ladrillo gambote se tiene lo siguiente:

- La materia del reciclado de las construcciones y demoliciones tiene un costo de 5,50 Bs por m³.

Tabla N°4.38: Costo del Filler Polvo de Ladrillo Gambote para 1 m³.

Materia	Unidad	Precio Bs.
Polvo de ladrillo gambote	m ³	5,50

Fuente: Elaboración Propia.

- Mano de obra 14,00 Bs.

Tabla N°4.39: Mano de Obra para el Proceso de Limpieza del Ladrillo Gambote Proveniente del Residuo de las Construcciones y Demoliciones.

Mano de obra	Unidad	Rendimiento	P.U	Total Bs.
2 Ayudante	Hr.	0,50	14	14,00

Fuente: Elaboración Propia.

Planilla de precio unitario para la mezcla convencional:

Análisis de Precios Unitarios						
Proyecto: Carpeta de concreto asfáltico (mezcla convencional) Actividad: Colocado de carpeta Unidad: m3 Cantidad: 1,00 Tipo de cambio Bs/\$us: 6,96						
	A	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs.)	Precio total (Bs.)
1	-	Diésel	lt	18,00	3,74	67,32
2	-	Arena	m3	0,44	145,00	63,80
3	-	Cemento asfáltico 85-100	kg	133,42	10,29	1372,89
4	-	Grava triturada clasificada 3/4"	m3	0,16	152,00	24,32
5	-	Grava triturada clasificada 3/8"	m3	0,10	162,00	16,20
6	-	Filler natural (5%)	m3	0,04	136,50	5,19
>	D	Total materiales			(A)	1549,72
	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	0,00	420,7	0,00
3	-	Compactador rodillo liso y pata de cabra automática	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 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)	1819,89
>	L	Gastos generales y administrativos		15,50%	(J)	282,08
>	M	Parcial			(J+L)	2101,97
>	N	Utilidad		10,00%	(M)	210,20
>	Q	Total precio unitario			(M+N)	2312,17
>		Precio adoptado				2312,17

Son: Dos mil treientos doce con 17/100 Bolivianos

Fuente: Elaboración Propia.

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

Análisis de Precios Unitarios						
Proyecto: Carpeta de concreto asfáltico (mezcla modificada) Actividad: Colocado de carpeta Unidad: m3 Cantidad: 1,00						
Tipo de cambio bs/\$us:						6,96
	A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
1	-	Diesel	lt	18,00	3,74	67,32
2	-	Arena clasificada	m3	0,44	145,00	63,80
3	-	Cemento asfáltico 85-100	kg	133,42	10,29	1372,89
4	-	Grava triturada clasificada 3/4"	m3	0,16	152,00	24,32
5	-	Grava triturada clasificada 3/8"	m3	0,10	162,00	16,20
6	-	Filler natural (1,05%)	m3	0,01	136,50	1,37
7	-	Filler polvo de ladrillo gambote (3,95%)	m3	0,03	5,50	0,17
>	D	TOTAL MATERIALES			(A)	1546,06
	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
		MANO DE OBRA PARA LA FABRICACION DEL POLVO DE LADRILLO GAMBOTE				
8	-	2 Ayudante	Hr	0,50	14,00	14,00
>	E	SUBTOTAL MANO DE OBRA			(B)	66,08
	F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	47,04
	O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	16,90
>	G	TOTAL MANO DE OBRA			(E+F+O)=	130,02
	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 autopropulsada,	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	-	Máquina trituradora del polvo de ladrillo gambote	kg	1,00	1,00	1,00
8	-	Volquete 12 m3 o 20 Tn	Hr	0,03	227,85	6,84
		Herramientas menores		5,00%	(G)	6,50
>	I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS			(C+H)	170,07
>	J	SUB TOTAL			(D+G+I)	1846,16
>	L	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		15,50%	(J)	286,15
>	M	PARCIAL			(J+L)	2132,31
>	N	UTILIDAD		10,00%	(M)	213,23
>	Q	TOTAL PRECIO UNITARIO			(N+P)	2345,54
>		PRECIO ADOPTADO				2345,54

Son: Dos mil trescientos cuarenta y cinco con 54/100 Bolivianos

Fuente: Elaboración Propia.

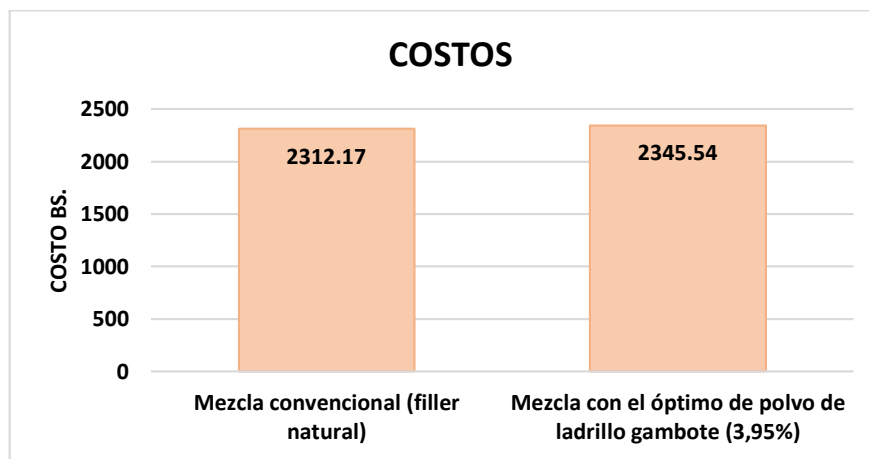
Análisis de precios unitarios realizados para la mezcla asfáltica convencional y la modificada:

Tabla N°4.40: Costos de Producción.

N°	Descripción	Costo (Bs)
1	Mezcla convencional (óptimo de asfalto)	2312,17
2	Mezcla modificada con el óptimo de polvo de ladrillo gambote 3,95%	2345,54

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 4.24: Costos de las Mezclas Asfálticas.



Fuente: Elaboración Propia.

En general, todas las propuestas que implican un proceso de reciclado son más económicos por cuestiones del proceso de reciclado del material a utilizar; sin embargo, en este caso la comparación económica no es claramente favorable para el proceso de reciclado, ya que se puede decir que los costos de la mezcla asfáltica convencional y la modificada presentan variación entre ambas; se muestra los costos de realización de la mezcla asfáltica convencional y la modificada con el contenido óptimo del polvo de ladrillo gambote en la Tabla N°4.40 donde se puede observar los costos para la producción en planta de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada debido al reemplazo del filler natural por el polvo de ladrillo gambote, las planillas de precios unitarios fueron elaboradas para la mezcla asfáltica convencional y para el contenido óptimo del reemplazo del filler polvo de ladrillo gambote (3,95%).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENSACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Una vez terminada la investigación se tienen las siguientes conclusiones:

- La investigación cumplió con los objetivos planteados ya que se puede verificar la influencia positiva (mejores propiedades mecánicas en las mezclas asfálticas) utilizando el polvo de ladrillo gambote como reemplazo directo al filler natural y utilizado como agregado.
- Dentro del análisis de los ensayos de caracterización del agregado fino, filler natural y polvo de ladrillo gambote se pudo verificar mediante el ensayo de límites que estos funcionan como suelos N.P, y a la vez el filler polvo de ladrillo gambote funciona como limo con el 89,60% al momento de trabajar en la mezcla.
- Después de realizar el análisis entre la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada se determinó a través del ensayo Marshall que las propiedades mecánicas si mejoran al reemplazar el filler natural por el filler polvo de ladrillo gambote proveniente del residuo de construcciones y demoliciones.
- Se observa como fluctúa el costo de producción de la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada con el contenido óptimo del reemplazo del filler del 3,95% del polvo de ladrillo gambote, variando el precio entre 30-35Bs. Donde el mayor costo se presenta en la mezcla asfáltica modificada.
- Se debe pensar muy bien la utilización del polvo de ladrillo gambote dentro de las mezclas asfálticas modificadas, debido a que si bien es cierto mejora las propiedades mecánicas y ayudaría a contrarrestar el impacto ambiental generado por la explotación indiscriminada de canteras y el arrojado de escombros producto de las construcciones, este también tiene un costo adicional debido al proceso de limpieza y selección del material a triturar.

5.2 RECOMENDACIONES

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

- Se debe seguir lo expuesto en la norma AASTHO y ASTM, que es la guía para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente, ensayos de los agregados, relleno mineral y el cemento asfáltico.
- Se debe tener en cuenta al momento de realizar la caracterización del filler polvo de ladrillo gambote se trabaje con mucho cuidado por ser un material proveniente del reciclado de las construcciones y demoliciones, actuando como limo, verificado por el ensayo del hidrómetro, donde se recomienda trabajar sin defloculante al momento de realizar el ensayo, ya que este filler actúa de manera diferente a cualquier otro tipo de suelo pasante el tamiz N°200.
- Para facilitar la trabajabilidad al momento de realizar las briquetas, se debe realizar un pesado previo de los agregados a utilizar en su fabricación y separarlas en recipientes, facilitando el mezclado.
- Evitar el enfriamiento de la mezcla asfáltica en la etapa de moldeo, para no obtener resultados alterados
- 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 cuidado durante el proceso de medición y obtención de datos para que se pueda verificar si cumplen con los parámetros establecidos.
- Para la elaboración de la mezcla asfáltica se debe contar con los equipos de protección adecuados, debido a que se trabaja a altas temperaturas.