

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1 Introducción

El agua o humedad son los agentes climáticos más destructivos en los pavimentos asfálticos, provocando deterioros o efectos por humedad, donde su manifestación más común es el “stripping” que consiste en la separación de la matriz árido-ligante generado por la pérdida de adhesión y cohesión a causa del ingreso de agua o vapor de agua. Existen distintos factores que inciden en la unión árido – ligante, como la interacción química que se produce en la interfaz entre ambos componentes, el contenido de ligante y espesor del recubrimiento, efectos del envejecimiento del ligante asfáltico y los efectos del agua.

Al vincularse estos últimos dos factores, se acelera en gran medida el daño por humedad en las mezclas asfálticas, siendo la principal característica de este fenómeno la rigidización del ligante, contribuyendo al deterioro del pavimento por el endurecimiento y fragilidad de la película de ligante, incrementando el potencial de agrietamiento que permite el ingreso del agua al interior del pavimento y por ende, causando problemas de adhesividad o desprendimiento en la matriz árido – ligante. El agua que afecta a la carretera puede provenir de la infiltración y del propio terreno natural de las zonas genera un gran daño al pavimento surgiendo la idea a partir de cómo es afectado el pavimentos de las carreteras en algunas zonas húmedas de la ciudad de Tarija.

En este trabajo de investigación pretende evaluar el comportamiento del efecto de la humedad aplicada a las mezclas asfálticas, analizando su comportamiento de las propiedades mecánico-resistentes.

Dentro del aporte teórico se enfocará en la teoría del diseño de las mezclas asfálticas, de sus características y propiedades mecánico-resistentes, además de ellos se podrá

observar los cambios producidos de las mezclas asfálticas por diferentes ciclos de humedad, la aplicación práctica será una posible alternativa en el campo de los asfaltos para prever cuidados de transitabilidad del tráfico automotor y poder tener un conocimiento del daño que se efectúa por la humedad, la relevancia social orientada sobre el tema se observara sobre qué tipo de asfalto utilizar en las condiciones climatológicas que presenta nuestra ciudad de Tarija utilizando asfalto provenientes del exterior.

1.2 Justificación

En la actualidad están presentes varios problemas en distintos caminos en las cuales presentan un daño por el efecto de la humedad presente del lugar de manera que afecta bastante en el tránsito de las moviidades sobre los mismos por lo cual los usuarios son los perjudicados al no poder manejar con seguridad en las diferentes vías de nuestra ciudad.

Estas fallas por la humedad en las zonas críticas ocasionando fallas en el pavimento, es necesario que se realice proyectos que garanticen la seguridad de los usuarios para el buen manejo de los usuarios en las carreteras, esto de manera de utilizar los asfaltos planteados en el tema de investigación para poder tener un conocimiento claro de la calidad que se presente cada una de ellos, para que en la época de lluvia, no se vean afectados los cambios bruscos de clima.

Dicho de este modo la composición de los materiales empleados en la construcción de la mezcla asfáltica utilizado en zonas donde el clima varía, integrarán un papel fundamental a la hora de obtener una mezcla que nos brinde seguridad, confort y la resistencia que se requiere.

Al poder tener un conocimiento y necesidad de lo que afecta al pavimento se realizara una investigación de manera que se pueda verificar un mejoramiento de las propiedades mecánico resistente de las mezclas asfálticas evaluadas por el daño por humedad utilizando el asfalto convencional y modificado.

1.3 Situación Problemática

Las mezclas asfálticas es el componente principal del paquete estructural de pavimentos flexibles que está compuesto por áridos y cemento asfáltico, que se requiere un control para evitar los diferentes factores que afectan a la duración y calidad de las mezclas asfálticas. El agua que produce efectos en el pavimento, pueden ser provenientes de la infiltración y del propio terreno natural de las zonas, dicho efecto genera un gran daño al pavimento.

En la ciudad de Tarija en los pavimentos existen deformaciones, fisuraciones, son problemas que se viven en los caminos construidos en regiones que están expuestas a la humedad, no pudiendo cumplir con su vida útil los diferentes tramos camineros, adicionando además el constante mantenimiento de los caminos que con llevan a gastos.

Mediante una evaluación del efecto de la humedad en las mezclas asfálticas así se podrá mejorar la calidad de las propiedades mecánico-resistentes de las mismas para que puedan tener una mayor vida útil.

1.4 Problema

¿Por qué una evaluación de la mezcla asfáltica convencional y modificada podrá determinar el comportamiento mecánico-resistente de las mezclas asfálticas cuando las mismas están expuestas a la humedad?

La presente investigación se realizará en la ciudad de Tarija, se utilizara áridos propios de la región, de esta manera se realizará una evaluación del comportamiento de sus propiedades mecánico-resistente de las mezclas asfálticas en cuanto a su estabilidad, fluencia y resistencia.

Los equipos que se utilizarán para determinar la caracterización del ligante asfáltico y de los agregados que componen la mezcla asfáltica se encuentran disponibles en el

laboratorio del Servicio Departamental de Caminos-SEDECA donde se pretende realizar los ensayos necesarios que contempla el presente trabajo de investigación.

1.5 Objetivos de la Investigación

1.5.1 Objetivo General

Evaluar las mezclas asfálticas convencionales y modificadas cuando se aplica humedad en ciclos saturación de manera de obtener el comportamiento de las propiedades mecánico-resistentes.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Analizar los componentes, sus características y procedimientos de elaboración de mezclas asfálticas.
- Establecer el comportamiento de las propiedades mecánico- resistentes en diferentes ciclos de saturación de humedad en las muestras de las mezclas asfálticas en laboratorio.
- Proponer usos y aplicaciones recomendables para las mezclas asfálticas convencionales y modificadas.
- Interpretar los resultados y el análisis realizado de la investigación de las mezclas asfálticas en condiciones húmedas.

1.6 Formulación de la Hipótesis

1.6.1 Hipótesis

Si se realiza una evaluación más detallada de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas entonces se podrá diseñar de forma óptima las muestras elaboradas en laboratorio determinando el comportamiento mecánico-resistente cuando están expuestas al daño por humedad.

1.6.2 Definición de la Variable Independiente y Dependiente

Variables independientes:

- Ciclos de Saturación (Tiempo).
- Cemento Asfáltico.

Variable dependiente:

- Propiedades mecánico-resistentes de las mezclas asfálticas
 - Estabilidad.
 - Fluencia.
 - % de Vacíos de Aire.
 - % de Vacíos de Agregado mineral.
 - % de Vacíos llenos de asfalto.
 - Peso Unitario.
 - Resistencia a la Tensión Indirecta.

Definición operacional:

Tabla N° 1. Operacionalización de variables

VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR/ACCIÓN
Humedad.	Cantidad de agua.	Ciclos de Saturación (Tiempo).	Variar los tiempos de saturación.	Incorporación de agua.
Cemento Asfáltico.	Es un ligante flexible, impermeable y duradero.	Tipo de Cemento Asfáltico a emplearse	Cantidad de cemento Asfáltico.	Determinado el óptimo en ensayos de Laboratorio.
Propiedades de las Mezclas Asfálticas	Son las propiedades de mecánico-resistentes	Marshall	1. Estabilidad.	Determinado por el ensayo Marshall.
			2. Fluencia.	Determinado por el ensayo Marshall.
			3. % de Vacíos de Aire.	Determinado por el ensayo Marshall.
			4. % de Vacíos de Agregado mineral.	Determinado por el ensayo Marshall.
			5.% de Vacíos llenos de asfalto.	Determinado por el ensayo Marshall.
			6. Peso Unitario.	Determinado por el ensayo Marshall.
		Tensión Indirecta	6. Resistencia a la Tensión Indirecta.	Determinado en el ensayo Resistencia a la Tensión Indirecta.

Fuente: Elaboración propia.

Definición conceptual:

- Materiales para hacer la mezcla asfáltica:
- Agregados grueso.-se denominará agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Para esta investigación debe ser procedente de trituración.
- Agregado fino.-Se denomina agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75mm(Nº4) y 75 µm (No. 200). El agregado fino deberá proceder de trituración de piedra de cantera, natural o de fuentes naturales de arena.
- Cemento asfáltico.- El asfalto es un material de propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, tiene características de flexibilidad, consistencia, adhesividad y durabilidad, pero es susceptible a cambios de temperatura.
- Propiedades.- Es una característica mensurable capaz de calificar un comportamiento o una respuesta del mismo a sollicitaciones externas.
- Estabilidad.-Esta propiedad se refiere a la capacidad de la mezclas asfálticas para resistir la deformación y el desplazamiento, debido a carga de tráfico vehicular calculada en libras en la prensa del ensayo Marshall.
- 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, se mide con la prensa del ensayo Marshall.
- Resistencia a la Tensión Indirecta.-El ensayo a tensión indirecta reproduce el estado de las tensiones en la fibra inferior de la capa asfáltica o zona de tracción, este ensayo implica la aplicación de una carga de compresión a lo largo de los ejes diametrales del espécimen cilíndrico.

1.7 Identificación del Tipo de Diseño de Investigación

El presente trabajo es una investigación del tipo explicativo o causal; al ser este tipo de investigación se pretende establecer las causas de sucesos, eventos o fenómenos que se estudian. Es aquella que tiene relación causal, no sólo persigue describir o acercarse a un problema, sino que intenta encontrar las causas del mismo.

Puede valerse de diseños experimentales y no experimentales. La investigación explicativa o causal busca establecer las distintas causas de un fenómeno, comportamiento o proceso.

La investigación que se realizara de las mezclas asfálticas utilizando distinto cemento asfáltico para poder explicar de qué manera afectara las diferentes condiciones de humedad en las mezclas asfálticas en las propiedades mecánico-resistentes de las cuales se estudiará.

1.8 Diseño Metodológico

1.8.1 Componentes

1.8.2 Unidad de estudio

Comportamiento de las propiedades mecánico-resistentes en las mezclas asfálticas a causa y efecto que se obtiene cuando se aplica ciclos de saturación de agua.

- Propiedades mecánico-resistentes de las mezclas asfálticas:
 - Estabilidad.
 - Fluencia.
 - % de Vacíos de Aire.
 - % de Vacíos de Agregado Mineral.
 - % de Vacíos llenos de Asfalto.
 - Peso Unitario
 - Resistencia a la Tensión indirecta

1.8.3 Población

El comportamiento de las propiedades mecánico-resistentes se determina mediante los ensayos de laboratorio, observando los cambios producidos cuando se varía los ciclos de saturación en las mezclas convencionales y modificadas.

1.8.4 Muestra

Ciclos de saturación adicionadas a las mezclas asfálticas convencionales y modificadas utilizando un mismo agregado.

Los agregados a utilizar son provenientes de la chancadora Garzón.

1.8.5 Muestreo

Se hará la evaluación del comportamiento de la estabilidad, fluencia y resistencia de tensión indirecta mediante el ensayo de laboratorio Marshall que para el caso de la resistencia tensión indirecta solo cambia el modelo del molde del equipo Marshall, observando los cambios producidos cuando se varía los ciclos de saturación en las mezclas asfálticas.

1.8.6 Justificación de factibilidad: recursos, insumos y medios utilizables

Para realizar la presente investigación se contó previamente de un estudio sobre el tema, de manera de tener un respaldo teórico y que fundamente todo lo realizado.

Los recursos utilizados se tienen a las mezclas asfálticas, los componentes para el diseño en las mezclas asfálticas como ser el agregado se puede adquirir de las diferentes empresas o ya sea de la misma institución que los provee como ser en el caso de la alcaldía que el cemento asfáltico mediante una carta de solicitud se puede adquirir del material, sobre la instrumentación y los equipos utilizados para el diseño de las mezclas asfálticas proporciona tanto el laboratorio de la U.A.J.M.S y como SEDECA previa autorización de los encargados, de esa manera se realizará todos los ensayos que complementen a la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 El Asfalto

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

El contenido óptimo de asfalto para un material de carpeta es la cantidad de asfalto que forma una membrana alrededor de las partículas, de espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo evitando que el asfalto se oxide con rapidez. Por otro lado, no debe ser tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad, es decir, deformación excesiva por flujo plástico o resistencia y no soporte las cargas de los vehículos.

El asfalto es un material que puede ser encontrado en la naturaleza en yacimientos naturales o a través de la destilación del crudo de petróleo. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de la mezcla en caliente que se va a producir en esta investigación.

A temperatura ambiente el cemento asfáltico es negro, pegajoso, semisólido, y altamente viscoso. Es un cemento fuerte y durable con excelentes características adhesivas e impermeables. También es muy resistente a la acción de muchos ácidos, álcalis y sales. Los grados del cemento asfáltico, basados en su consistencia, son disponibles comercialmente. Para clasificar o definir la gradación del cemento asfáltico se usan tres métodos basados en la penetración, viscosidad o performance.

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

En su constitución química el asfalto básicamente está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es diluido en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.

Los asfaltenos no se disuelven en el heptano. Los asfaltenos una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parece al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza.

Los maltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites.

Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas. La proporción de los asfaltenos y maltenos en los asfaltos puede variar debido a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y el oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado.

El asfalto se obtiene de la refinación por destilación del crudo de petróleo. Es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo, por medio de un aumento en etapas de la temperatura. Existen dos procesos de destilación con los cuales puede ser producido después de haber combinado los crudos de petróleo:

- Destilación por vacío
- Extracción con solventes

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, mejor conocidos como gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. Puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C (900°F), esta puede variar un poco dependiendo del crudo de petróleo que se esté refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo. En el proceso de extracción con solventes, se remueven más gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Dependiendo del uso, es el tipo de asfalto. En las refinerías se deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que se producen para poder cumplir con ciertos requisitos. Esto se logra la mayor parte de las veces, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos, para producir grados intermedios. Así un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso, pueden ser combinados para obtener un asfalto con viscosidad intermedia.

2.2 El Polímero

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamados monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas.

Hoy en día, el uso de los polímeros se ha expandido a varias aplicaciones debido a su baja densidad, alta resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y otras propiedades importantes.

La utilización comercial de un nuevo producto como el caso de los polímeros depende del costo y sus propiedades. El costo, depende básicamente de su proceso de polimerización y la disponibilidad de los monómeros.

2.3 Adhesividad a los Áridos

Para que el asfalto se adhiera a los áridos es necesario en primer lugar, que haya un buen contacto entre la superficie del árido y el asfalto, en segundo lugar, que existan fuerzas de atracción entre ambos.

La adhesividad árido-ligante es un fenómeno muy complejo que depende de la naturaleza tanto del árido como del asfalto, así como de las condiciones específicas de estos materiales en la obra (limpieza y contenido de humedad del árido, temperatura de mezclado, etc.).

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

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

2.4 Reología del Asfalto

La reología se encarga de estudiar la fluencia y la deformación de la materia. En sentido más estricto la reología mide la deformación de los cuerpos que no son ni sólidos ni líquidos, es decir, de cuerpos intermedios entre solido elástico y líquido viscoso.

- Los materiales se asumen como cuerpos ideales y elásticos.
- Se usan los materiales en condiciones donde el modelo elástico no tiene más validez.
- Se puede obviar fenómenos secundarios en los que la teoría elástica no tiene importancia. Acero y hormigón no son elásticos, existe una relajación los aceros y variaciones en el hormigón.

- Los materiales no son puramente elásticos ni viscosos: los materiales plásticos, el hormigón bituminoso, entre otros.

El comportamiento reológico de los asfaltos es de fundamental importancia para su empleo en carreteras, tanto para conseguir una correcta manipulación y puesta en obra, como para valor su comportamiento en servicio.

Los asfaltos presentan un comportamiento reológico muy complejo que depende de la temperatura, de carga y tiempo de aplicación .A bajas temperaturas y durante intervalos pequeños de tiempo el asfalto tiene un carácter elástico, mientras que a temperatura moderadamente elevada o tiempos de aplicación muy largos, la elasticidad prácticamente desaparece, y el asfalto se deforma permanentemente y fluye.

2.5 Mezclas Asfálticas

La mezcla asfáltica se puede 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 físicas de la mezcla y, eventualmente, el comportamiento funcional de la misma como pavimento.

El Instituto del Asfalto de los Estados Unidos de Norteamérica, describe al asfalto como un cemento fuerte, fácilmente adhesivo, altamente impermeable, y durable. Es una sustancia plástica que proporciona una flexibilidad controlable a las mezclas de material mineral con las que usualmente se combina. No obstante que es un sólido o semisólido, en condiciones normales de temperatura ambiental el asfalto puede ser fácilmente licuado mediante aplicación de calor. El asfalto se considera como un cemento bituminoso, debido al hecho de que está constituido por hidrocarburos.

2.6 Diseño de una Mezcla Asfáltica

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

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

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

Se han desarrollado algunos métodos de proporcionamiento de asfalto y agregado para una mezcla asfáltica en caliente. Siendo el más conocido el método Marshall.

2.7 Comportamiento de las Mezclas Asfálticas

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

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

Densidad. La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado, para obtener un rendimiento duradero.

Vacios de aire, (o simplemente vacíos). Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestra de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

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

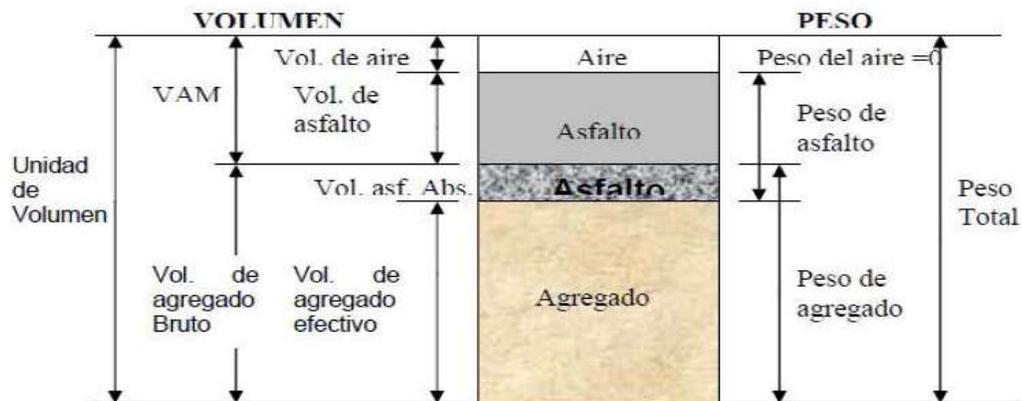
La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor posible (en la realidad) de vacíos; preferiblemente menos del 8 por ciento.

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

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

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

Figura N° 1. Representación de los Volúmenes en una Briqueta Compactada de Mezcla Asfáltica.



Fuente: Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de VAM. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores VAM por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contra prudente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VAM para economizar en el contenido de asfalto.

Contenido de asfalto. La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlar con precisión en la obra.

El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios dictados por el método de diseño seleccionado.

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

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

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

Cualquier variación en el contenido de relleno mineral, causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado relleno mineral cualquier ajuste arbitrario para corregir la situación, probablemente la empeora. En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo en unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y si es necesario establecer otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado utilizado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se pueda cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto.

Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido; contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

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

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

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

2.8 Mezclas Modificadas

La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito.

Los agentes modificadores utilizados en los asfaltos, mejoran el comportamiento reológico de los mismos. Se puede decir que un asfalto modificado es un ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de los polímeros con un ligante asfáltico. Un asfalto puede modificarse con rellenos minerales, cauchos, plásticos o hidrocarburos. Los asfaltos se caracterizan por variar su comportamiento según la temperatura a la que se encuentren; es por ello que a distintas temperaturas el asfalto posee distintas consistencias, propiedad que se denomina susceptibilidad térmica, la cual debería ser lo más baja posible, de modo que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de cargas, sean lo suficientemente flexibles para evitar el fisuramiento y a tiempos prolongados de aplicación de cargas, sean resistentes a las deformaciones.

La situación ideal es aquella de aquel asfalto que mantiene su consistencia en un amplio intervalo de temperatura.

Los polímeros son sustancias orgánicas de alto peso molecular que logran hidratarse e hincharse dentro del asfalto. Así por ejemplo tenemos los cauchos, de comportamiento elastomérico. Algunos polímeros generan cadenas lineales, otros en bloque pero en general la macrodispersión lograda consta de un sistema de dos fases en donde

- El polímero se dispersa sin ejercer efecto alguno.
- Absorben los aceites maltenos y se hinchan.

En general un agente modificador logra:

- Disminuir la susceptibilidad térmica.
- Aumentar la cohesión interna.
- Mejorar la elasticidad y flexibilidad a bajas temperaturas.
- Mejorar el comportamiento a fatiga.
- Aumentar la resistencia al envejecimiento.

2.9 Tipos de Mezclas Asfálticas

Existen varias clasificaciones de mezclas asfálticas, de acuerdo con el parámetro considerado para establecer las diferencias. Así, conforme las fracciones de agregado pétreo empleado en la elaboración de la mezcla, éstas se dividen en mastico asfáltico; mortero asfáltico; macadam asfáltico; y concreto asfáltico. Si la temperatura es considerada, se dividen en mezclas en frío y mezclas en caliente. Si el parámetro considerado es el porcentaje de vacíos de aire, las mezclas pueden ser densas o cerradas; semidensas o semicerradas; abiertas y porosas, dependiendo de si tienen menos del 6%, entre el 6 y el 12% de vacíos de aire, entre el 12 y el 18% o más del 20%, respectivamente. Otra clasificación se establece de acuerdo con la estructura de los agregados pétreos; así, se tienen mezclas con o sin esqueleto mineral. Si se considera la curva granulométrica, se clasifican en mezclas asfálticas continuas o mezclas discontinuas. La mezcla asfáltica en caliente se tipifica así, porque tanto el

agregado pétreo, como el asfalto, se calientan antes del mezclado; es un tipo de mezcla compuesta por un 93 a 97 % de agregado pétreo y por un 3 a 7 % de asfalto, con respecto a la masa total de la mezcla.

2.10 Diseño de Mezclas Asfálticas Método Marshall

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

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

El método Marshall solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación, que usan cemento asfáltico clasificado por penetración o viscosidad y que contienen agregados con tamaño máximo de 25 mm (1 pulgada). Puede ser usado para el diseño en laboratorio o para el control de campo de pavimentos.

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

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

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

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

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

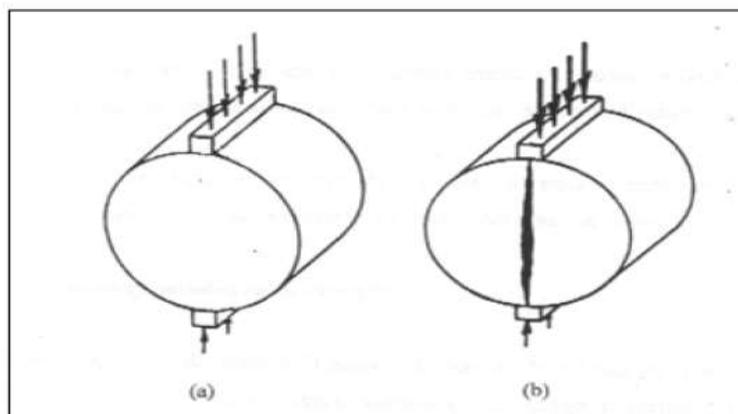
2.11 Ensayo Tensión Indirecta

La determinación de la resistencia a Tensión Indirecta en las mezclas asfálticas representa un parámetro mecánico, que puede resultar una herramienta sumamente útil para evaluar la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica, valorando la cohesión de la mezcla, además permitirá complementar los conocimientos adquiridos con los diseños convencionales y analizar nuevos diseños.

El ensayo de tracción indirecta reproduce el estado de tensiones en la fibra inferior de la capa de asfalto o zona de tracción. Es un método práctico y sencillo para caracterizar las propiedades de las mezclas asfálticas o evaluar el fallo provocado por tensiones de tracción.

El ensayo consiste en cargar una probeta cilíndrica, igual a la definida para el ensayo Marshall, con una carga de compresión diametral a lo largo de dos generatrices opuestas figura 2 (a). Esta configuración de carga, que puede ser sencilla o repetida, provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical y esta tracción es la que agota la probeta y desencadena la rotura en el plano diametral figura 11 (b).

Figura N° 2. (a) Configuración de Carga y (b) Rotura del Ensayo de Tracción indirecta.



Fuente: Manual de la AASTHO T 283

En la presente investigación el ensayo de tensión indirecta se lo realizará con la finalidad de determinar la resistencia al daño por humedad que resistan las briquetas tanto las fabricadas con mezcla convencional como modificada.

2.12 Efecto del Agua en las Mezclas Asfálticas

El daño por humedad en mezclas asfálticas se puede definir como el deterioro de la capacidad estructural de la mezcla causada por la presencia de agua en estado líquido o gaseoso al interior de su microestructura. Una revisión literaria en este tema revela que aunque el efecto adverso del agua en las propiedades de adhesión de sistemas agregado-cemento asfáltico se empezó a investigar desde la primera mitad del siglo pasado, este fenómeno solo llamó la atención de las agencias encargadas de administrar las redes de infraestructura vial en la década de 1.980. En la actualidad, la mayoría de estas agencias en Estados Unidos y Europa cuentan con especificaciones para garantizar una resistencia mínima de las mezclas al daño por humedad, así como con procedimientos para emplear modificadores que promuevan dicha resistencia. No obstante, y a pesar de que en las últimas tres décadas ha aumentado sustancialmente la inversión en investigación sobre los efectos adversos del agua en las mezclas asfálticas, los mecanismos asociados a este fenómeno en el nivel microestructural aún no se comprenden en su totalidad.

2.12.1 El Clima

Los factores climatológicos que afectan a un pavimento son las lluvias y cambios de temperatura.

Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de la construcción tales como el movimiento de tierras y la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas.

Los cambios de temperatura en el pavimento flexible ocasionan en estos esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan en ellas.

En los pavimentos flexibles y dado que el asfalto tiene una alta susceptibilidad térmica, el aumento o la disminución de temperatura puede ocasionar una modificación sustancial en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, ocasionando en ellas y bajo condiciones especiales, deformaciones o agrietamientos que influirían en el nivel de servicio de la vía.

2.13 Marco Referencial

El presente trabajo de investigación se basó en trabajos de investigación que se realizaron en:

TÍTULO: “INFLUENCIA DEL AGUA FENÓMENO DE STRIPPING EN MEZCLAS ASFÁLTICAS” Autor: Rondón h. y Moreno l. Colombia 2010

TÍTULO: “EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD Y ENVEJECIMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ACUERDO A LAS PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS” Autor: Calabi A. Chile 2012.

Mi presente trabajo de investigación se tomó en cuenta como conocimiento base los trabajos anteriormente mencionados para poder realizar una Evaluación del efecto por humedad de las Mezclas Asfálticas determinando el Comportamiento Mecánico-Resistente de manera de se realice adecuadamente a las normas que se establecen.

2.14 Marco Conceptual

2.14.1 Agregado Grueso

Se denominará agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Para esta investigación debe ser procedente de trituración.

2.14.2 Agregado Fino

Se denomina agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75mm(Nº4) y 75 µm (No. 200). El agregado fino deberá proceder de trituración de piedra de cantera, natural o de fuentes naturales de arena.

2.14.3 Cemento Asfáltico

El asfalto es un material de propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, tiene características de flexibilidad, consistencia, adhesividad y durabilidad, pero es susceptible a cambios de temperatura.

2.14.4 Propiedades

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

2.14.5 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.

2.14.6 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, y la cantidad y 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.

2.14.7 Resistencia a la Tensión Indirecta AASTHO T 283

En cuanto a la caracterización de la fisuración, el ensayo de tensión indirecta es el más común debido a que es fácil y rápido de realizar. Es importante mencionar que puede efectuarse con el equipo Marshall utilizado para realizar el ensayo de estabilidad y flujo, sólo se requiere de una placa y de dos barras metálicas para aplicar la carga.

2.15 Marco Normativo

Caracterización de los materiales asfálticos, las propiedades fundamentales que tiene que poseer los asfaltos para su empleo en carretera son:

1. Carácter termoplástico: por acción de la temperatura su consistencia debe disminuir de manera que sean capaces de "mojar" y envolver los áridos. Al enfriarse debe adquirir la consistencia primitiva y dar cohesión a la mezcla.
2. Buen comportamiento mecánico y reológico para resistir las tensiones impuestas por el tráfico y poder mantener a las temperaturas de servicio, la estructura de la mezcla asfáltica.
3. Resistir al envejecimiento frente a los agentes atmosféricos y condiciones ambientales para conservar sus propiedades con el tiempo.

Tabla N° 2. Normas aplicadas para los agregados, cemento asfáltico y de Ensayos.

Agregados Grueso y Fino		
Ensayos	Norma ASTM	Norma AASHTO
Granulometría	C-136	T-27
Desgaste mediante la máquina de los ángeles	C-131	T-96
Durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración	C-88	T-104
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	C-127	T-85
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	C-128	T-84
Peso unitario	C-29	T-19
Equivalente de arena	D-2419	T-176
Porcentaje de caras fracturadas	D-5821	-
Índice de aplanamiento y alargamiento	NTL-354	
Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad	D-4318	T-89/T-90
Cemento Asfáltico		
Ensayos	Norma ASTM	Norma AASHTO
Penetración	D-5	T-49
Viscosidad Saybolt-Furol	D-445	T-72
Punto de inflamación	D-92	T-48
Peso específico	D-70	T-43
Punto de ablandamiento	D-36	T-53
ENSAYOS		
Ensayo Marshall		T 245-97
Ensayo Tension Indirecta		T 283

Fuente: Elaboración propia

2.16 Punto de Vista del Investigador

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

A base de la teoría estudiada la presente investigación se enfoca directamente en la evaluación de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas ante la presencia de humedad, determinando el daño en comportamiento mecánico-resistente de las

muestras a ensayar, además se podrá tener un conocimiento claro de cómo es el daño en las mezclas asfálticas.

De tal manera se podrá hacer una evaluación de las propiedades de la mezcla asfáltica como lo son: Estabilidad, Fluencia, % de Vacíos de Aire, % de Vacíos de Agregado Mineral (VAM), Peso Unitario y la Resistencia a la Tensión Indirecta. Para el diseño de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas por el método Marshall se aplicó la norma de AASHTO T 245-97 y para el ensayo de Tensión Indirecta AASHTO T 283.

Se realizará todos los ensayos aplicando las normas que se establecen para una evaluación de las muestras a ensayarse aplicando la estadística y tener resultados conforme a los objetivos planteados.

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 Criterios a Utilizarse

3.1.1 Criterio de selección de banco de materiales

La ciudad de Tarija cuenta con varios bancos de materiales en los cuales nos proporciona una seguridad para el diseño que se realice, para la presente investigación se utilizara los agregados de la Chancadora Garzón cuyo material es procedente de San Mateo lo cual tiene una gran cantidad de áridos que cumple con las especificaciones de la presente investigación, la comunidad de San Mateo se encuentra a 5 kilómetros de la ciudad de Tarija, esta comunidad se dedica mayormente a la agricultura, la changadora Garzón se encuentra a la orilla del río.

3.1.2 Criterios de los ciclos de saturación de las Muestras

Las muestras a realizarse según la norma se deben evaluar en los distintos ciclos de saturación de 0hrs a 24hrs debido a que se realiza una relación entre las muestras secas y húmedas que deben cumplir la especificación.

En la presente investigación se variara los ciclos de saturación para poder realizar un análisis más detallado a las 36hrs, debido al tiempo disponible que para hacer los ensayos de manera de poder experimentar el comportamiento de las mezclas asfálticas en los distintos ciclos de saturación.

3.1.3 Criterios de Selección de Asfalto

El cemento asfáltico convencional 85-100 y el cemento asfáltico modificado 40-70 se utilizaran para realizar los ensayos debido a que son de industria del Brasil y proporciona una buena calidad, son empleados por el Servicio Departamental de Caminos (SEDECA).

3.1.4 Criterio para el número de ensayos a realizarse

Para la presente investigación se desglosara los diferentes ensayos y la forma de ejecutarse.

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° 3. Variaciones del porcentaje de Cemento Asfáltico para obtener el porcentaje óptimo.

Porcentaje de cemento asfáltico(% de CA)	Número de briquetas(Unidad)
4,50%	3
5,00%	3
5,50%	3
6,00%	3
6,50%	3
7,00%	3
TOTAL BRIQUETAS ELABORADAS	18

Fuente: Elaboración propia.

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

Detalle de la comparación y ensayos a realizar:

Tabla N° 4. Total de briquetas fabricadas para la Evaluación del daño por Humedad.

ENSAYO MARSHALL	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD(UNIDAD)
	Mesclas Convencionales	3
	24 Hrs	3
	36 Hrs	3
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD(UNIDAD)
	Mezclas con Polimeros	3
	24 Hrs	3
	36 Hrs	3
ENSAYO TSR	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD(UNIDAD)
	Mesclas Convencionales	3
	24 Hrs	3
	36 Hrs	3
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD(UNIDAD)
	Mezclas con Polimeros	3
	24 Hrs	3
	36 Hrs	3
TOTAL		36
BRIQUETAS ELABORADAS PARA HALLAR EL PORCENTAJE ÓPTIMO PARA CA 85-100 Y CA 40-70		36
TOTAL BRIQUETAS ELABORADAS PARA LOS ENSAYOS		72

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Muestra

Ciclos de saturación adicionadas a las mezclas asfálticas convencionales y modificadas utilizando agregados de la región utilizando agregados provenientes de la Chancadora

Garzón, cuyo material que cumplirán con las exigencias de las mezclas asfálticas elaboradas.

3.3 Muestreo

El muestreo se lo realizará con el MÉTODO MARSHALL (AASHTO T-245) (ASTM D-1559) y el ENSAYO A TENSIÓN INDIRECTA (AASHTO T-283) con el cual podremos realizar la evaluación del comportamiento de la estabilidad, fluencia y la resistencia a la tensión de dichos ensayos se observara los cambios que se generan a causa de los ciclos de saturación de las mezclas elaboradas con cemento asfáltico convencional y modificado elaborados con materiales que se utilizan en la Ciudad de Tarija.

3.4 Técnicas de Muestreo

Tabla N° 5. Planilla Muestra Estratificada.

ENSAYOS	CANTIDAD	p_i	q_i	$p_i * q_i$	$N_i * p_i * q_i$	w_i	n_i	n_i
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS								
Caras Fracturadas	4	0,5	0,5	0,25	1	0,0053	2	1,92
Chatas y Alargadas	4	0,5	0,5	0,25	1	0,0053	2	1,92
Desgaste de los Ángeles	4	0,5	0,5	0,25	1	0,0053	2	1,92
Durabilidad	4	0,5	0,5	0,25	1	0,0053	2	1,92
Equivalente de arena	4	0,5	0,5	0,25	1	0,0053	2	1,92
Granulometría	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0,0079	3	2,88
Laminaridad	4	0,5	0,5	0,25	1	0,0053	2	1,92
Peso Unitario	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0,0079	3	2,88
Peso Específico	4	0,5	0,5	0,25	1	0,0053	2	1,92
CEMENTO ASFÁLTICO								
Peso Específico	8	0,5	0,5	0,25	2	0,0105	4	3,84
Punto Ablandamiento	8	0,5	0,5	0,25	2	0,0105	4	3,84
Penetración	8	0,5	0,5	0,25	2	0,0105	4	3,84
Viscosidad	4	0,5	0,5	0,25	1	0,0053	2	1,92
Punto de Inflamación	8	0,5	0,5	0,25	2	0,0105	4	3,84
PROPIEDADES MECÁNICO RESISTENTES								
Estabilidad	108	0,5	0,5	0,25	27	0,1421	54	51,87
Fluencia	108	0,5	0,5	0,25	27	0,1421	54	51,87
% de Vacíos de Aire	108	0,5	0,5	0,25	27	0,1421	54	51,87
% de Vacíos de Agregado mineral	108	0,5	0,5	0,25	27	0,1421	54	51,87
% de Vacíos llenos de Asfalto	108	0,5	0,5	0,25	27	0,1421	54	51,87
Peso Unitario	108	0,5	0,5	0,25	27	0,1421	54	51,87
Ensayo a Tensión Indirecta	36	0,5	0,5	0,25	9	0,0474	18	17,29

Fuente: Elaboración propia

Primera Población

$$z=2.12$$

$$p=0.5$$

$$q=0.5$$

$$e=0.04$$

Nivel de Confianza=96%

POBLACIÓN

$$n = \frac{z^2 * p * q}{e^2}$$

$$n = \frac{2.12^2 * 0.5 * 0.5}{0.04^2}$$

n=703 ensayos

MUESTRA

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n Ni * pi * qi}{N * \frac{e^2}{z^2} + \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^n Ni * pi * qi}$$

$$n = \frac{190}{703 * \frac{0.04^2}{2.12^2} + \frac{1}{703} * 190}$$

n=365 ensayo

3.5 Levantamiento de la Información

3.5.1 Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico a utilizarse es el CONVENCIONAL 85-100 y MODIFICADO 40-70 cuyo distribuidor es una empresa de Brasil la ficha técnica se adjunta en el siguiente cuadro:

Tabla N° 6. Especificación técnica del cemento asfáltico convencional 85-100.

N°	CARACTERÍSTICAS	DETALLE		EXIGENCIAS 85-100
		AASTHO	ASTM	
1	PENETRACIÓN A 25°C	T-49-97	D-5	85-100
2	VASO ABIERTO CLEVELAND PUNTO DE INFLACIÓN °C	T-48	D92	>a 232°C
3	VISCOSIDAD SAYBOL FUROL A 135°C, SEG	T-72	D-102	> 85 seg.
4	SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO %	T-44	D-2042	>a 99,00%
5	DUCTILIDAD 25°C	T-51	D-113	>a 100cm
6	ENSAYO DE LA MANCHA HEPTANOXILOL, (20% MÁXIMO DE XILOL)	T-102	-	(-) Negativo
7	ENSAYO EN HORNO PELÍCULA DELGADA	T-179	D-1754	<a 1
8	PENETRACIÓN DEL RESIDUO DE PERDIDA, X CALENTAMIENTO % ORIGINAL	T-49	D-5	>a 50
9	PORCENTAJE DE AGUA	T-55	-	<a 0,2

Fuente: Especificación Técnica del Fabricante.

Para las mezclas asfálticas modificadas se utilizara un cemento asfáltico con polímeros 40-70 por lo cual se tenía en el almacén del SEDECA proveniente del Brasil, en el presente cuadro se muestra las especificaciones que fueron proporcionadas por el laboratorio de SEDECA.

Tabla N° 7. Especificación técnica del cemento asfáltico modificado 40-70.

ESPECIFICACIONES			
ENSAYOS	MÉTODO	UNID.	ESPECIFICACIÓN
PENETRACIÓN MUESTRA ORIGINAL (100g, 5s, 25°C)	AASHTO T49	0.1mm	40-70
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	AASHTO T 53	°C	60
PUNTO DE INFLAMACIÓN	AASHTO T 48	°C	235

Fuente: Especificación técnica del fabricante.

3.5.2 Ensayo de los Agregados

Los materiales componentes de la investigación, son provenientes de la planta chancadora Garzón ubicada en San Mateo, que es una de las plantas con las que

Para la caracterización de los agregados se realizaron los ensayos que demuestran la calidad que presentan, para ello se muestran todos los ensayos realizados.

Se realizara los ensayos para los agregados pétreos:

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

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

Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. Este método también se

puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda, y no se empleará para agregados recuperados de mezclas asfálticas.

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría).

Las mallas de prueba que se usan comúnmente para los proyectos de carreteras son aquellas con aberturas de $2\frac{1}{2}$, 2, $1\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$ de pulgada cuadrada para las fracciones grandes y con 4, 10, 40, 80, 100, y 200 mallas por pulgada para las fracciones más pequeñas. Estas últimas mallas se designan como No. 4, No. 10, etc.

A la porción de material agregado que queda retenida en la malla No. 10 (esto es, con partículas mayores de 2,00 mm) se le conoce como agregado grueso. Al material que pasa por la malla No. 10 pero queda retenido en la malla No. 200 (partículas mayores que 0,075 mm) se le conoce como agregado fino. El material que pasa por la malla No. 200 se llama fino y corresponde a impurezas, limo y arcilla.

En el método de la (AASHTO T-27) y (ASTM C-136) se dan los procedimientos detallados para ejecutar un análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.

Tabla N° 8. Planilla de resultados de las granulometrías de la grava, gravilla y arena del ensayo 1.

Peso Seco	Total		5875,0 gr.		3800,0 gr.		500,0 gr.	
Tamiz	Grava - Garzón		Gravilla - Garzón		Arena Triturada - Garzón			
N°	Peso Ret.	% Pasa Que	Peso Ret.	% Pasa Que	Peso Ret.	% Pasa Que		
1"	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0		
3/4"	317,0	94,6	0,0	100,0	0,0	100,0		
1/2"	5511,0	6,2	95,0	97,5	0,0	100,0		
3/8"	5840,0	0,6	334,0	91,2	0,0	100,0		
N° 4	5841,0	0,6	3515,0	7,5	5,5	98,9		
N° 8	5846,0	0,5	3781,0	0,5	92,2	81,6		
N° 16	5863,0	0,2	3785,0	0,4	196,5	60,7		
N° 40	5865,0	0,2	3792,0	0,2	340,2	32,0		
N° 80	5868,0	0,1	3792,0	0,2	388,5	22,3		
N° 200	5870,0	0,1	3795,0	0,1	432,2	13,6		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 9. Planilla de resultados de las granulometrías de la grava, gravilla y arena del ensayo 2.

Peso Seco	Total		6022,0 gr.		4025,0 gr.		500,0 gr.	
Tamiz	Grava - Garzón		Gravilla - Garzón		Arena Triturada - Garzón			
N°	Peso Ret.	% Pasa Que	Peso Ret.	% Pasa Que	Peso Ret.	% Pasa Que		
1"	0,0	100	0,0	100,0	0,0	100,0		
3/4"	349,0	94,2	0,0	100,0	0,0	100,0		
1/2"	5570,0	7,5	72,0	98,2	0,0	100,0		
3/8"	5974,0	0,8	262,0	93,5	0,0	100,0		
N° 4	5980,0	0,7	3743,0	7,0	6,8	98,6		
N° 8	6010,0	0,2	4001,0	0,6	100,2	80,0		
N° 16	6014,0	0,1	4013,0	0,3	200,1	60,0		
N° 40	6015,0	0,1	4017,0	0,2	331,2	33,8		
N° 80	6017,0	0,1	4019,0	0,1	400,0	20,0		
N° 200	6020,0	0,0	4022,0	0,1	442,5	11,5		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 10. Planilla de resultados de las granulometrías de la grava, gravilla y arena del ensayo 3.

Peso Seco	5700,0 gr.		3422,0 gr.		500,0 gr.	
Tamiz	Grava - Garzón		Gravilla - Garzón		Arena Triturada - Garzón	
N°	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa
1"	0,0	100	0,0	100,0	0,0	100,0
3/4"	542,0	90,5	0,0	100,0	0,0	100,0
1/2"	5301,0	7,0	120,0	96,5	0,0	100,0
3/8"	5660,0	0,7	325,0	90,5	0,0	100,0
N° 4	5665,0	0,6	3162,0	7,6	8,8	98,2
N° 8	5672,0	0,5	3394,0	0,8	95,0	81,0
N° 16	5688,0	0,2	3408,0	0,4	188,0	62,4
N° 40	5691,0	0,2	3412,0	0,3	340,9	31,8
N° 80	5692,0	0,1	3415,0	0,2	375,5	24,9
N° 200	5695,0	0,1	3419,0	0,1	440,5	11,9

Fuente: Elaboración propia

3.5.4 Ensayo de Desgaste por medio de la Máquina de los Ángeles (AASHTO T-96) (ASTM C-131)

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

Por esta razón los agregados que están en, o cerca de la superficie, como son los materiales de base y carpeta asfáltica, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores, sub base, de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de cargas del tránsito.

Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles, ASTM C-131 ó AASHTO T-96, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión.

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½”) y agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (¾”), por medio de la máquina de los Ángeles.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-96 y ASTM C-131.

Figura N° 3. Máquina de desgaste por abrasión y material después del proceso.



Fuente: Elaboración propia

Datos obtenidos en la práctica:

Tabla N° 11. Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4”.

Pasado	Retenido	Cantidad tomada(gr)
3/4	1/2	2500
1/2	3/8	2500
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7 mm)		3680
Tipo de Gradación “B”		
Diferencia		1320
Número de ensayos realizados		1
Carga Abrasiva		11 esferas a 32,5 Rpm 500Revoluciones

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1320\text{gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 26,4 \%$$

Tabla N° 12. Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8”.

Pasado	Retenido	Cantidad tomada(gr)
3/8	1/4	2500
1/4	N°4	2500
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7 mm)		3915
Tipo de Gradación “C”		
Diferencia		1085
Número de ensayos realizados		1
Carga Abrasiva		8 esferas a 32,5 Rpm 500Revoluciones

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1085\text{gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 21.7 \%$$

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

Es el porcentaje de pérdida de material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climáticos durante la vida útil de la obra. Puede aplicarse tanto en agregado grueso como fino.

El ensayo se realiza exponiendo una muestra de agregado a ciclos alternativos de baño de inmersión en una solución de sulfato de sodio o magnesio y secado en horno. Una inmersión y un secado se consideran un ciclo de durabilidad. Durante la fase de secado, las sales precipitan en los vacíos del agregado. En la reinmersión las sales se rehidratan y ejercen fuerzas de expansión internas que simulan las fuerzas de expansión del agua congelada. El resultado del ensayo es el porcentaje total de pérdida de peso sobre varios tamices para un número requerido de ciclos. Los valores máximo de pérdida son aproximadamente de 10 a 20% para cinco ciclos de inmersión-secado. En nuestro ensayo realizo utilizando el sulfato de sodio

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-104 y ASTM C-88.

Figura N° 4. Colocando las muestras en los recipientes para posteriormente colocar el sulfato de sodio.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13. Datos del ensayo de durabilidad para el agregado grueso.

Granulometría				Peso Materiales	
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material	Antes	Después
N°	Pasa	Ret.		Ensayo(gr.)	Ensayo(gr.)
2"	2"	1"	100,0	0,0	0,0
1"	1"	3/4"	98,7	700,2	697,5
3/4"	3/4"	1/2"	81,5	501,1	495,6
1/2"	1/2"	3/8"	78,6	300,9	294,5
3/8"	3/8"	N° 4	51,7	300,0	293,8

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de Cálculo para el tamiz 1”:

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

$$\text{Pérdida por diferencia} = 700,2 - 697,5$$

$$\text{Pérdida por diferencia} = 2,7 \text{ gr.}$$

$$\% \text{Pasa al tamiz} = \% \text{ Tamiz Pasa} - \% \text{ Tamiz Ret}$$

$$\% \text{Pasa al tamiz} = 98,7 - 81,5$$

$$\% \text{Pasa al tamiz} = 17,2 \%$$

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

$$\% \text{ de pérdida respecto al tamiz} = \frac{2,7}{700,2} * 100\%$$

$$\% \text{ de pérdida respecto al tamiz} = 0,39\%$$

% de p. r. a la muestra total

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

$$\% \text{ de pérdida respecto a la muestra total} = \frac{0,39}{100} * \frac{17,2}{100} * 100\%$$

$$\% \text{ de pérdida respecto a la muestra total} = 0,07\%$$

Para los demás muestras de cada tamiz se realizó la misma memoria de cálculo, se muestra a continuación la tabla de resultados.

Tabla N° 14. Resultados del ensayo de durabilidad para agregado grueso.

Tamiz N°	Pérdida por Diferencia (gr.)	% Pasa al Tamiz más fino	% Pérdida Respecto Tamiz	% Pérdida Respecto Muestra Total
1	2,7	17,2	0,39	0,07
3/4"	5,6	2,9	1,12	0,03
1/2"	6,4	26,9	2,13	0,57
3/8"	6,2	51,7	2,07	1,07
N° 4	0,0	0,0	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

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

% Total de pérdida (Grueso) = 1,74%

Tabla N° 15. Datos del ensayo de durabilidad para agregado fino.

Granulometría				Peso Materiales	
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material	Antes	Después
N°	Pasa	Ret.		Ensayo(gr.)	Ensayo(gr.)
3/8"	3/8"	N° 4	51,7	300,0	293,8
N° 4	N° 4	N° 8	40,7	100,0	96,2
N° 8	N° 8	N° 16	30,7	100,0	95,2
N° 16	N° 16	N° 40	16,4	100,0	93,7
N° 40	N° 40	N° 80	11,6	100,0	95,5

Fuente: Elaboración propia

Para el agregado fino se realiza la misma memoria de cálculo que se mostró anteriormente, a continuación se muestra la tabla de resultados.

Tabla N° 16. Resultados del ensayo de durabilidad para agregado fino.

Tamiz N°	Pérdida por Diferencia (gr.)	% Pasa al Tamiz más fino	% Pérdida Respecto Tamiz	% Pérdida Respecto Muestra Total
3/8"	6,2	11,0	2,07	0,23
N° 4	3,8	10,0	3,80	0,38
N° 8	4,8	14,3	4,80	0,69
N° 16	6,3	4,8	6,30	0,30
N° 40	4,5	11,6	4,50	0,52

Fuente: Elaboración propia

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

$$\% \text{ Total de pérdida (Fino)} = 2,12\%$$

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

$$\% \text{ Total de pérdida} = 1,74 + 2,12$$

$$\% \text{ Total de pérdida} = 3,63\%$$

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

Este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.

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

La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas; se seca a continuación en un horno a 100° - 110°C

Después se lo sumerge en agua, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño A continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturada con superficie seca (S.S.S.)

A continuación, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergida en el agua, a la temperatura de 25°C de temperatura ambiente.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-85 y ASTM C-127.

Tabla N° 17. Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso.

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

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Grava de 3/4

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

$$\text{Peso Específico del agregado seco} = \frac{3515}{3550 - 2200}$$

$$\text{Peso Específico del agregado seco} = 2,604 \text{ gr/cm}^3$$

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

$$\text{P. E. A. Saturado de Superficie Seca} = \frac{3500}{3550 - 2200}$$

$$\text{P. E. A. Saturado de Superficie Seca} = 2,630 \text{ gr/cm}^3$$

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

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{3515}{3515 - 2200}$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = 2,673 \text{ gr/cm}^3$$

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

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{3550 - 3515}{3515} * 100\%$$

$$\% \text{ de Absorción} = 0.996\%$$

Tabla N° 18. Resultados del ensayo de peso específico del agregado grueso 3/4".

Peso Específico del Agregado Seco	grs./cm3	2,604
P.E.A. Saturado de Superficie Seca	grs./cm3	2,630
Peso Específico Aparente	grs./cm3	2,673
% de Absorción	%	0,996

Fuente: Elaboración propia.

El mismo procedimiento de cálculo se realiza para la gravilla de 3/8:

Resumen de los resultados:

Tabla N° 19. Resultados del ensayo de peso específico de la gravilla 3/8”.

Peso Específico del Agregado Seco	grs./cm ³	2,618
P.E.A. Saturado de Superficie Seca	grs./cm ³	2,643
Peso Específico Aparente	grs./cm ³	2,684
% de Absorción	%	0,930

Fuente: Elaboración propia.

3.5.7 Ensayo de peso específico y absorción de agua del agregado fino (AASHTO T-84) (ASTM C-128)

Este ensayo tiene como objetivo la determinación del 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, expresada como un porcentaje en peso. El peso específico aparente es la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente, este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-84 y ASTM C-128.

Figura N° 5. Vertiendo la muestra para realizar el ensayo.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 20. Datos del ensayo peso específico del agregado fino.

Descripción	Arena Ensayo 1	Arena Ensayo 2
Peso Frasco Seco Vacío	161.7 gr.	161,7 gr.
Peso Frasco + Muestra	347,8 gr.	348,2gr.
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca (x)	298.3 gr.	298,3 gr.
Peso Muestra Seca (a)	293.3 gr.	293.6 gr.
Peso Agua (w)	525.7 gr.	532,0 gr.
Peso Muestra + Agua (b)	711.8 gr.	715,5 gr.

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

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

$$\text{Peso Específico del Agregado Seco} = \frac{293,3}{(298,2 + 525,7) - 711,8}$$

$$\text{Peso Específico del Agregado Seco} = 2,614 \text{ gr/cm}^3$$

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

$$\text{P. E. A. Saturado Superficial Seco} = \frac{298,3}{(298,2 + 525,7) - 711,8}$$

$$\text{P. E. A. Saturado Superficial Seco} = 2,659 \text{ gr/cm}^3$$

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

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{293,3}{(293,3 + 525,7) - 711,8}$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = 2,736 \text{ gr/cm}^3$$

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

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

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{298,2 - 293,3}{293,3} * 100\%$$

$$\% \text{ de Absorción} = 1,705\%$$

Para la muestra 2 se realizan el mismo procedimiento.

Tabla N° 21. Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino.

Descripción	Arena Ensayo 1	Arena Ensayo 2
Peso Específico del Agregado Seco	2,614 gr/cm ³	2,626 gr/cm ³
P. E. A. Saturado Sup. Seco	2,659 gr/cm ³	2,668 gr/cm ³
Peso Específico Aparente	2,736 gr/cm ³	2,741 gr/cm ³
% de Absorción	1,705 %	1,601 %

Fuente: Elaboración propia

Se realizó tomar la media de los datos representativos 2,62 gr/cm³.

3.5.8 Ensayo de Peso Unitario de los Agregados (AASHTO T-19) (ASTM C-29)

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

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T19 y ASTM C29.

Figura N° 6. Realizando el ensayo de peso unitario del agregado 3/8”.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 22. Datos del ensayo de peso unitario de la arena.

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso Unitario Suelto	Peso Muestra + Recipiente	gr.	4800	4917	4903
	Peso del Recipiente	gr.	0	0	0
	Peso del Agregado Seco	gr.	4800	4917	4903
	Volumen Recipiente	cm ³	2935	2935	2935
Peso Unitario Compactado	Peso Muestra + Recipiente	gr.	5325	5388	5400
	Peso del Recipiente	gr.	0	0	0
	Peso del Agregado Seco	gr.	5325	5388	5400
	Volumen Recipiente	cm ³	2935	2935	2935

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de peso unitario

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

$$\text{Peso Unitario} = \frac{4800}{2935,0}$$

$$\text{Peso Unitario} = 1,635 \text{ gr/cm}^3$$

Para los demás ensayos se realizó los mismos procedimientos de cálculo.

Tabla N° 23. Resultados del ensayo de peso unitario de la arena.

Número de Ensayo	Unidad	1	2	3
Peso Unitario Suelto	gr/cm ³	1,635	1,675	1,671
Promedio Peso Unitario Suelto	gr/cm ³	1,660		
Peso Unitario Compactado	gr/cm ³	1,814	1,836	1,840
Promedio Peso Unitario Compactado	gr/cm ³	1,830		
Peso Unitario de la Arena	gr/cm ³	1,745		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 24. Datos del peso unitario de la gravilla 3/8”.

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso Unitario Suelto	Peso Muestra + Recipiente	gr.	13596	13500	13585
	Peso del Recipiente	gr.	0	0	0
	Peso del Agregado Seco	gr.	13596	13500	13585
	Volumen Recipiente	cm ³	9880	9880	9880
Peso Unitario Compactado	Peso Muestra + Recipiente	gr.	14600	14645	14666
	Peso del Recipiente	gr.	0	0	0
	Peso del Agregado Seco	gr.	14600	14645	14666
	Volumen Recipiente	cm ³	9880	9880	9880

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 25. Resultados del ensayo de la Gravilla 3/8”.

Número de Ensayo	Unidad	1	2	3
Peso Unitario Suelto	gr/cm ³	1,376	1,366	1,375
Promedio Peso Unitario Suelto	gr/cm ³	1,373		
Peso Unitario Compactado	gr/cm ³	1,478	1,482	1,484
Promedio Peso Unitario Compactado	gr/cm ³	1,481		
Peso Unitario de la Gravilla 3/8”	gr/cm ³	1,427		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 26. Datos del peso unitario de la grava 3/4”.

Descripción		Unidad	1	2	3
Peso Unitario Suelto	Peso Muestra + Recipiente	gr.	13725	13685	13600
	Peso del Recipiente	gr.	0	0	0
	Peso del Agregado Seco	gr.	13725	13685	13600
	Volumen Recipiente	cm ³	9880	9880	9880
Peso Unitario Compactado	Peso Muestra + Recipiente	gr.	14688	14735	14650
	Peso del Recipiente	gr.	0	0	0
	Peso del Agregado Seco	gr.	14688	14735	14650
	Volumen Recipiente	cm ³	9880	9880	9880

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 27. Resultados del ensayo de la Grava 3/4”.

Número de Ensayo	Unidad	1	2	3
Peso Unitario Suelto	gr/cm ³	1,389	1,385	1,377
Promedio	gr/cm ³	1,384		
Peso Unitario Compactado	gr/cm ³	1,487	1,491	1,483
Promedio	gr/cm ³	1,487		
Peso Unitario de la Grava 3/4”	gr/cm ³	1,435		

Fuente: Elaboración propia

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

El ensayo de Equivalente de arena y agregados finos asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino que está presente en una muestra de ensayo granular que pasa el tamiz N° 4 (4.75mm). El equivalente de arena es una relación de la altura de arena con arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje. Primeramente se debe de tener una muestra del material y tamizarlo por el tamiz N°4 para poder tener la muestra que se utilizara para este ensayo colocarlo en un recipiente. Luego se debe de colocar la muestra que se utilizara de arena en el

cilindro, se deberá verter la muestra en el cilindro con la ayuda de un embudo y hacer momento del cilindro para que se puedan perder todas las burbujas que tenga, dejar en reposo durante 10 ± 1 minuto.

Colocar el tubo irrigador en la parte superior del cilindro y lavar el material de las paredes del cilindro, Dejar el cilindro y el contenido en reposo por $20 \text{ min} \pm 15\text{s}$. Comenzar a medir el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador. Al finalizar los 20 min del periodo de sedimentación, leer y anotar los niveles alcanzados.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-176 y ASTM D-2419.

Figura N° 7. Muestras en reposo.



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos en la práctica:

Tabla N° 28. Datos del ensayo de equivalente de arena.

ENSAYO	Lecturas	
	1	2
Ensayo n°	1	2
Lectura nivel superior	5.3	5.2
Lectura nivel inferior	3.6	3.3
Número de ensayos realizados	2	

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Utilizamos el promedio para realizar los cálculos:

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

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{3.45}{5.25} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = 65.71\%$$

Tabla N° 29. Resultados del Ensayo Equivalente de Arena.

Descripción	Ensayo	
	1	2
% de Arena	67.92 %	66,46 %
Promedio	65.7 %	

Fuente: Elaboración propia

3.5.10 Ensayo de porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821-95)

Este ensayo se realiza para determinar el porcentaje el peso de la muestra que se utilizó del agregado en las diferentes caras fracturadas. Se realiza la separación de todas las muestras y se pesó cada muestra para hallar los porcentajes.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos ASTM D 5821-95.

Figura N° 8. Separando las muestras para la realizar el ensayo.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 30. Datos de ensayo de caras fracturadas.

Descripción		Unidad	Lecturas
Grava 3/4"	Peso Total de Muestra	gr.	1000
	Peso de Caras Fracturadas Retenidas	gr.	780
Gravilla 3/8"	Peso Total de Muestra	gr.	1000
	Peso de Caras Fracturadas Retenidas	gr.	765
Número de ensayos		1	

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

Peso Caras No Fracturadas=Peso Total de Muestra-Peso de Caras Fracturadas

Peso Caras No Fracturadas=1000-780

Peso Caras No Fracturadas=220[gr.]

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

Porcentaje de Caras fracturadas= $\frac{780}{1000} * 100\%$

Porcentaje de Caras Fracturadas=78,00%

Tabla N° 31. Resultados del ensayo de caras fracturadas.

Descripción		Unidad	Lecturas
Grava 3/4"	Peso de Caras No Fracturadas	gr.	288,0
	Porcentaje de Caras Fracturadas	%	78,00
Gravilla 3/8"	Peso de Caras No Fracturadas	gr.	235,0
	Porcentaje de Caras Fracturadas	%	76,50

Fuente: Elaboración propia

3.5.11 Ensayo determinación de partículas laminares, chatas y alargadas (ASTM-4791)

Este ensayo describe el procedimiento para la determinación de los porcentajes de los agregados.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos ASTM D-4791.

Tabla N° 32. Datos del ensayo partículas Laminare.

Material	Peso Total de la Muestra	Peso Retenido de Partículas Laminare
3/4"	1000 gr.	32 gr.
3/8"	1000 gr.	58,4 gr.

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

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

$$\% \text{ Total de Partículas Laminare} = \frac{32}{1000} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de Partículas Laminare} = 3,20 \%$$

Tabla N° 33. Resultados del ensayo.

Material	% Total de Partículas Laminare
3/4"	3,2 %
3/8"	5,84 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 34. Datos del ensayo Chatas Alargadas.

Material	Peso Total de la Muestra	Peso Retenido de Partículas Chatas Alargadas
3/4"	1000 gr.	38,4 gr.
3/8"	1000 gr.	18,5 gr.

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

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

$$\% \text{ Total de Partículas Chatas y Alargadas} = \frac{38,4}{1000} * 100\%$$

$$\% \text{ Total de Partículas Chatas y Alargadas} = 3,84 \%$$

Tabla N° 35. Resultados del ensayo chatas y alargadas.

Material	% Total de Partículas Chatas Alargadas
3/4"	3,84 %
3/8"	1,85 %

Fuente: Elaboración propia

3.5.12 Ensayos realizados en el Cemento Asfáltico

Para realizar el diseño óptimo se realizó la evaluación y la caracterización del cemento asfáltico, a continuación se muestra todos los ensayos:

3.5.13 Ensayo de Viscosidad Saybolt-Furol (AASHTO T-84) (ASTM E-102)

Este ensayo se emplea normalmente para cementos asfálticos, emulsiones y aceites y sirve para determinar el tiempo en segundos, necesarios para que pasen 60 ml de líquido, a una temperatura determinada, se comienza el ensayo limpiando perfectamente el recipiente con un disolvente eficaz, por ejemplo, gasolina, teniendo

cuidado de que no quede disolvente en el interior del cilindro sino causara errores en ensayo debido a que la gasolina puede diluirse con el asfalto y modificara su propiedad.

Se coloca la muestra en el tubo dejándolo ahí un tiempo, la temperatura del baño se debe controlar que se mantenga constante. Se coloca el frasco calibrado de 60 ml cuidadosamente debajo del orificio del equipo de manera que este centrado con ello, se debe de tomar en cuenta que cuando fluya la muestra no deberá chocar con las paredes del frasco, el ensayo se empieza sacando violentamente el tapón del corcho del tubo, al mismo tiempo se deberá iniciar con el cronometraje hasta que fluya totalmente la muestra en el frasco de vidrio.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T-84 Y ASTM E-102.

Figura N° 9. Ensayo de viscosidad de saybolt-furol.



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos en la práctica:

Tabla N° 36. Datos del ensayo de viscosidad cemento asfaltico convencional 85-100.

ENSAYO	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Viscoidad Saybolt 135 °C AASHTO T-72	seg.	140	138
Número de ensayos realizados	2		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados:

Resultado: 139 segundos

NOTA: PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO 40-70 NO SE REALIZÓ ESTE ENSAYO DEBIDO A QUE LA NORMA DE LA ABC NO LO SEÑALA EN LAS ESPECIFICACIONES A02 ENSAYOS RELACIONADOS A CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS

3.5.14 Ensayo de Penetración (AASHTO T49-97) (ASTM D-5)

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C (77°F) durante un tiempo de 5 s y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 gramos, aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas. Es evidente que cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración.

Se coloca una muestra a calentar que se colocaran en un recipiente hasta que este fluido se lo coloca en 2 moldes. Se lo deja enfriar por una hora a temperatura ambiente y se lo coloca en el baño María por una hora a de 25°C.

Una vez transcurridos los tiempos de inmersión, se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre. Se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado. Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.

Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el Método AASHTO T49-97 y en el ASTM D-5.

Figura N° 10. Penetración de la muestra.



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos del ensayo:

Tabla N° 37. Datos del ensayo de penetración cemento asfáltico 85-100.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	
Penetración a 25°C, 100g. 5seg.(0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	mm.	90	90
	Lectura N°2	mm.	95	90
	Lectura N°3	mm.	91	93
PROMEDIO	mm.	92	91	
Número de Ensayos		2		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: Realizando la media se tiene como valor de penetración de 91.5mm a 25°C, 100gr. 5seg.

Datos obtenidos:**Tabla N° 38. Datos del ensayo de penetración Cemento Asfáltico 40-70.**

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	
Penetración a 25°C, 100g. 5seg.(0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	mm.	53	54
	Lectura N°2	mm.	54	53
	Lectura N°3	mm.	54	52
PROMEDIO	mm.	53,7	53	
Número de Ensayos		2		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: Realizando la media se tiene como valor de penetración de 53.3 mm a 25°C, 100gr. 5seg.

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

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. 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.

Llenar la copa con el cemento asfáltico y se aplica calor inicialmente de tal manera que se incremente la temperatura. Pasar la llama de ensayo a través del centro de la copa. Se registra como punto de inflamación, la lectura de temperatura sobre el termómetro cuando aparezca una llama en cualquier punto sobre la superficie.

Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el Método AASHTO T-18 y en el ASTM D-92.

Figura N° 11. Punto de inflamación en proceso de ejecución.



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos:

Tabla N° 39. Datos del ensayo de punto de inflamación-cemento asfáltico 85-100.

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>272	>276
Número de ensayos realizados	2		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados.

Resultado: 274°C.

Tabla N° 40. Datos del ensayo de punto de inflamación-cemento asfáltico 40-70.

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>286	>275
Número de ensayos realizados	2		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados.

Resultado: 280,5°C

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

El peso específico de un material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25°C. 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. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T-43 y ASTM D-70.

Datos obtenidos:**Tabla N° 41. Datos del ensayo de peso específico cemento asfáltico 85-100.**

Ensayo	UNIDAD	Ensayo 1	Ensayo 2
Peso Picnómetro	gr.	61,99	61,99
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr.	142,78	142,78
Peso Picnómetro + Muestra	gr.	108,56	102,33
Peso Picnómetro + Agua + muestra	gr.	143,11	143,15
Número de ensayos realizados	2		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo:

Peso específico del cemento asfáltico =

$$\frac{\text{Peso picnómetro+muestra}}{(\text{Peso picn.}+\text{agua})+(\text{Peso pic+muestra}-\text{peso picnómetro})+(\text{Pesopic.}+\text{agua+muestra})} * 0,997077$$

$$\text{Peso Esp. del CA.} = \frac{108,56\text{gr}}{((142,78\text{gr}) + 108,56\text{gr} - 61,99\text{gr}) - (143,11)} * 0,997077$$

$$\text{Peso Esp. del CA.} = 1,004 \text{ gr/cm}^3$$

De igual manera se calcula el peso específico de cemento asfáltico con los datos del ensayo 2 y se obtiene un promedio.

Resultado:

$$\text{Peso específico del CA} = 1,005 \text{ gr/cm}^3$$

Datos obtenidos:

Tabla N° 42. Datos del ensayo de peso específico cemento asfáltico 40-70.

Ensayo	UNIDAD	Ensayo 1	Ensayo 2
Peso Picnómetro	gr.	61,99	61,99
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr.	142,78	142,78
Peso Picnómetro + Muestra	gr.	107,25	108,45
Peso Picnómetro + Agua + muestra	gr.	143	143,10
Número de ensayos realizados		2	

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo:

Peso específico del cemento asfáltico =

$$\frac{\text{Peso picnómetro+muestra}}{(\text{Peso picn.}+\text{agua})+(\text{Peso pic+muestra}-\text{peso picnómetro})+(\text{Pesopic.}+\text{agua+muestra})} * 0,997077$$

$$\text{Peso Esp. del CA.} = \frac{107,25\text{gr}}{((142,78\text{gr})+107,25\text{gr}-61,99\text{gr})-(143)} * 0,997077$$

$$\text{Peso Esp. del CA.} = 1,002 \text{ gr/cm}^3$$

De igual manera se calcula el peso específico de cemento asfáltico con los datos del ensayo 2 y se obtiene un promedio.

Resultado:

Peso específico del CA=1,003 gr/cm³

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

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

En general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia gradual e imperceptiblemente, de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, de manera de comparar resultados. Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados. A continuación se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama punto de ablandamiento del asfalto.

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

Datos:

Tabla N° 43. Datos obtenidos del ensayo punto de ablandamiento cemento asfáltico 85-100.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de ablandamiento	°C	54,8	58,4

Fuente: Elaboración propia

Calculo: Se realizó a proceder a tomar un promedio de ambas muestras de manera de obtener un resultado más claro del ensayo 56,6°C.

Tabla N° 44. Datos obtenidos del ensayo punto de ablandamiento Cemento Asfaltico 40-70.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de ablandamiento	°C	66,7	64,9

Fuente: Elaboración propia

Calculo: Se realizó a proceder a tomar un promedio de ambas muestras de manera de obtener un resultado más claro del ensayo 65,8 °C.

Figura N° 12. Soporte de anillos.



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

4.1 Resultados del Levantamiento de Información

4.1.1 Agregados Pétreos

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

Tabla N° 45. Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados pétreos.

Ensayo	Agregados	Especificación		Resultado	ASTM
		Mín.	Máx.		
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	Grava 3/4"	-	40%	26,40%	C-131
	Gravilla 3/8"	-	40%	21,70%	
Durabilidad por el Método de los Sulfatos para determinar la desintegración	Grava; Gravilla	-	12%	1,74%	C-88
	Arena	-	12%	2,12%	
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	Grava 3/4"	-	-	2,604gr/cm ³	C-127
	Gravilla 3/8"	-	-	2,618gr/cm ³	C-127
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	Arena	-	-	2,62 gr/cm ³	C-128
Peso unitario	Grava 3/4"	-	-	1,435gr/cm ³	C-29
	Gravilla 3/8"	-	-	1,427gr/cm ³	
	Arena	-	-	1,635gr/cm ³	
Equivalente de Arena		45%	-	65,7%	D-2419
Porcentaje de Caras Fracturadas	Grava 3/4"	75%	-	78,00%	D-5821
	Gravilla 3/8"	75%	-	76,50%	
Porcentaje de agregados chatas ya alargadas	Grava 3/4"	-	10%	3,84%	D 4791
	Gravilla 3/8"	-	10%	1,85%	
Laminaridad	Grava 3/4"	-	15%	3,20%	
	Gravilla 3/8"	-	15%	5,84%	

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° 46. Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico 85-100.

Ensayo	Especificación		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Peso Específico	1	1,05	1,005 gr/cm ³	ASTM D-70
Punto de Ablandamiento	30	200	56,60 °C	ASTM D-36
Punto de Inflamación	232	-	274 °C	ASTM D-92
Penetración	85	100	91,5 mm	ASTM D-5
Viscosidad Saybolt-Furol	85	-	139,0 seg	ASTM D-102

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 47. Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico 40-70.

Ensayo	Especificación		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Peso Específico	1	1,05	1,003 gr/cm ³	ASTM D-70
Punto de Ablandamiento	30	200	65,80 °C	ASTM D-36
Punto de Inflamación	232	-	280,5 °C	ASTM D-92
Penetración	40	70	53.3	ASTM D-5

Fuente: Elaboración propia

4.2 Combinación de Agregados

A continuación se indica los datos para realizar el ensayo.

Tabla N° 48. Resumen de la granulometría grava 3/4".

N° Ensayo	% Que Pasa Por Tamiz									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
1	100,0	94,6	6,2	0,6	0,6	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
2	100,0	94,2	7,5	0,8	0,7	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0
3	100,0	94,2	7,5	0,8	0,7	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0

RESUMEN ESTADISTICO										
N° de Ensayo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor Máximo	100	94,6	7,5	0,8	0,7	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
Valor Mínimo	100	94,2	6,2	0,6	0,6	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0
Valor Promedio	100	94,33	7,07	0,73	0,67	0,30	0,13	0,13	0,10	0,03
Desviación Estándar	0,00	0,23	0,75	0,12	0,06	0,17	0,06	0,06	0,00	0,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 49. Resumen de la granulometría gravilla 3/8”.

N° Ensayo	% Que Pasa Por Tamiz									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
1	100,0	100,0	97,5	91,2	7,5	0,5	0,4	0,2	0,2	0,1
2	100,0	100,0	98,2	93,5	7,0	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1
3	100,0	100,0	98,2	93,5	7,0	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1
RESUMEN ESTADISTICO										
N° de Ensayo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor Máximo	100	100	98,2	93,5	7,5	0,6	0,4	0,2	0,2	0,1
Valor Mínimo	100	100	97,5	91,2	7,0	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1
Valor Promedio	100	100	97,97	92,73	7,17	0,57	0,33	0,20	0,13	0,10
Desviación Estándar	0,0	0,0	0,40	1,33	0,29	0,06	0,06	0,00	0,06	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 50. Resumen de la granulometría arena.

N° Ensayo	% Que Pasa Por Tamiz									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
1	100,0	100,0	100,0	100,0	98,9	81,6	60,7	32,0	22,3	13,6
2	100,0	100,0	100,0	100,0	98,6	80,0	60,0	33,8	20,0	11,5
3	100,0	100,0	100,0	100,0	98,6	80,0	60,0	33,8	20,0	11,5
RESUMEN ESTADISTICO										
N° de Ensayo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Valor Máximo	100	100	100	100	98,9	81,6	60,7	33,8	22,3	13,6
Valor Mínimo	100	100	100	100	98,6	80,0	60,0	32,0	20,0	11,5
Valor Promedio	100	100	100	100	98,70	80,53	60,23	33,20	20,77	12,20
Desviación Estándar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,17	0,92	0,40	1,04	1,33	1,21

Fuente: Elaboración propia

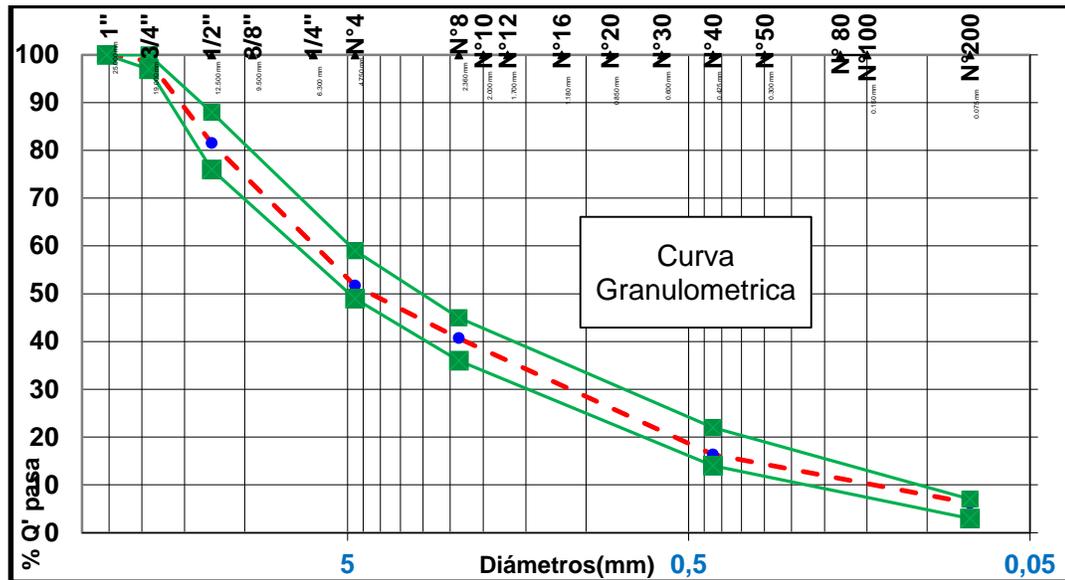
Se realizarán las dosificaciones de los porcentajes de cada agregado de manera que se pueda cumplir con las especificaciones, los agregados son de la chancadora GARZO, ubicada en la comunidad de san mateo lo que se determinó la faja de la granulometría de la mezcla asfáltica convencional 85-100 y la modificada 40-70 lo cual se desarrolló en el Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 19% de agregado grueso de 3/4", 31% de grava de 3/8" y 50% de agregado fino para la granulometría de la mezcla.

Tabla N° 51. Dosificación de materiales pétreos.

AGREGADOS		Grava Garzón		Gravilla Garzón		Arena Garzón		% QUE PASA	FAJA		TOLERANCIAS	FAJA	
% USADO		19%		31%		50%			CURVA DE TRABAJO			ESPECIF. GRAD. MEDIA	
TAMICES		% TOTAL	% COMB.	% TOTAL	% COMB.	% TOTAL	% COMB.		INF.	SUP.		INF.	SUP.
PULG	mm.												
1"	25,4	100	19,0	100	31,0	100	50,0	100,0	100	100	0%	100	100
3/4"	19,1	93,1	17,7	100	31,0	100	50,0	98,7	97	100	0%	97	100
1/2"	12,5	6,9	1,3	97,4	30,2	100	50,0	81,5	77	87	5%	76	88
3/8"	9,50	0,7	0,1	91,7	28,4	100	50,0	78,6					
#4	4,75	0,6	0,1	7,4	2,3	98,6	49,3	51,7	45	59	7%	49	59
#8	2,36	0,4	0,1	0,6	0,2	80,8	40,4	40,7	36	46	5%	36	45
#16	1,18	0,2	0,0	0,4	0,1	61,0	30,5	30,7					
#40	0,425	0,1	0,0	0,2	0,1	32,5	16,3	16,4	14	20	3%	14	22
#80	0,18	0,1	0,0	0,2	0,1	22,4	11,2	11,3					
#200	0,075	0,1	0,0	0,1	0,0	12,3	6,2	6,2	4	8	2%	3	7

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 52. Granulometría combinada y faja de trabajo.



Fuente: Elaboración propia

4.3 Determinación del Porcentaje Óptimo de Cemento asfáltico Convencional 85-100

4.3.1 Diseño de la Mezcla Asfáltica por el Método Marshall (ASTM D-159)

Para realizar el diseño de las mezclas asfálticas se realizaron primeramente los ensayos para determinar el contenido óptimo del cemento asfáltico el diseño de 18 briquetas con diferentes porcentajes el procedimiento se muestra a continuación.

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.

$b = \% \text{ Pasante tamiz N}^\circ 8.$

$c = \% \text{ de agregado que pasa la malla N}^\circ 200.$

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

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

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

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

Proceso de cálculo:

$a = 51,7 \%$

$b = 40,7 \%$

$c = 6,2 \%$

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

$F = 0,7$

$\%A = 0,035(51,7) + 0,045(40,7) + 0,2(6,2) + 0,7 = 5,68\%$

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

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

Tabla N° 53. Dosificación con cemento asfáltico de 4,5%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. en Tamiz	4,50%	
				Peso Parcial	Peso Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	15,0	15,0
1/2"	81,5	18,5	17,2	196,9	211,9
3/8"	78,6	21,4	2,9	33,6	245,6
N°4	51,7	48,3	26,9	307,9	553,5
N°10	40,7	59,3	11,0	126,1	679,7
N°16	30,7	69,3	10,0	115,0	794,6
N°40	16,4	83,6	14,3	163,9	958,5
N°80	11,3	88,7	5,1	58,2	1016,7
N°200	6,2	93,8	5,1	58,3	1075,0
Filler	0	100	6,2	71,0	1146,0
Peso Total=				1146,0	
Números de briquetas a realizar =				3	

Fuente: Elaboración propia

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

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

Tabla N° 54. Dosificación con cemento asfáltico de 5,0%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. en Tamiz	5,0%	
				Peso Parcial	Peso Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,9	14,9
1/2"	81,5	18,5	17,2	195,9	210,8
3/8"	78,6	21,4	2,9	33,5	244,3
N°4	51,7	48,3	26,9	306,3	550,6
N°10	40,7	59,3	11,0	125,5	676,1
N°16	30,7	69,3	10,0	114,4	790,5
N°40	16,4	83,6	14,3	163,1	953,5
N°80	11,3	88,7	5,1	57,9	1011,4
N°200	6,2	93,8	5,1	58,0	1069,4
Filler	0	100	6,2	70,6	1140,0
Peso Total=				1140,0	
Números de briquetas a realizar =				3	

Fuente: Elaboración propia

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

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

Tabla N° 55. Dosificación con cemento asfáltico de 5,5%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. en Tamiz	5,5%	
				Peso Parcial	Peso Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,9	14,9
1/2"	81,5	18,5	17,2	194,9	209,7
3/8"	78,6	21,4	2,9	33,3	243,0
N°4	51,7	48,3	26,9	304,7	547,7
N°10	40,7	59,3	11,0	124,8	672,5
N°16	30,7	69,3	10,0	113,8	786,3
N°40	16,4	83,6	14,3	162,2	948,5
N°80	11,3	88,7	5,1	57,6	1006,1
N°200	6,2	93,8	5,1	57,7	1063,8
Filler	0	100	6,2	70,2	1134,0
Peso Total=				1134,0	
Números de briquetas a realizar =				3	

Fuente: Elaboración propia

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

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

Tabla N° 56. Dosificación con cemento asfáltico de 6,0%

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. en Tamiz	6,0%	
				Peso Parcial	Peso Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,8	14,8
1/2"	81,5	18,5	17,2	193,8	208,6
3/8"	78,6	21,4	2,9	33,1	241,7
N°4	51,7	48,3	26,9	303,1	544,8
N°10	40,7	59,3	11,0	124,2	669,0
N°16	30,7	69,3	10,0	113,1	782,1
N°40	16,4	83,6	14,3	161,4	943,5
N°80	11,3	88,7	5,1	57,3	1000,8
N°200	6,2	93,8	5,1	57,4	1058,1
Filler	0	100	6,2	69,9	1128,0
Peso Total=				1128,0	
Números de briquetas a realizar =				3	

Fuente: Elaboración propia

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

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

Tabla N° 57. Dosificación con cemento asfáltico de 6,5%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. en Tamiz	6,5%	
				Peso Parcial	Peso Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,7	14,7
1/2"	81,5	18,5	17,2	192,8	207,5
3/8"	78,6	21,4	2,9	32,9	240,4
N°4	51,7	48,3	26,9	301,5	541,9
N°10	40,7	59,3	11,0	123,5	665,4
N°16	30,7	69,3	10,0	112,5	778,0
N°40	16,4	83,6	14,3	160,5	938,5
N°80	11,3	88,7	5,1	57,0	995,4
N°200	6,2	93,8	5,1	57,1	1052,5
Filler	0	100	6,2	69,5	1122,0
Peso Total=				1122,0	
Números de briquetas a realizar =				3	

Fuente: Elaboración propia

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

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

Tabla N° 58. Dosificación con cemento asfáltico de 7,0%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. en Tamiz	7,0%	
				Peso Parcial	Peso Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,6	14,6
1/2"	81,5	18,5	17,2	191,8	206,4
3/8"	78,6	21,4	2,9	32,8	239,2
N°4	51,7	48,3	26,9	299,9	539,0
N°10	40,7	59,3	11,0	122,8	661,9
N°16	30,7	69,3	10,0	111,9	773,8
N°40	16,4	83,6	14,3	159,6	933,5
N°80	11,3	88,7	5,1	56,7	990,1
N°200	6,2	93,8	5,1	56,8	1046,9
Filler	0	100	6,2	69,1	1116,0
Peso Total=				1116,0	
Números de briquetas a realizar =				3	

Fuente: Elaboración propia

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

4.3.2 Ensayo de viscosidad vs temperatura para la elaboración de Mezclas Asfálticas Convencionales.

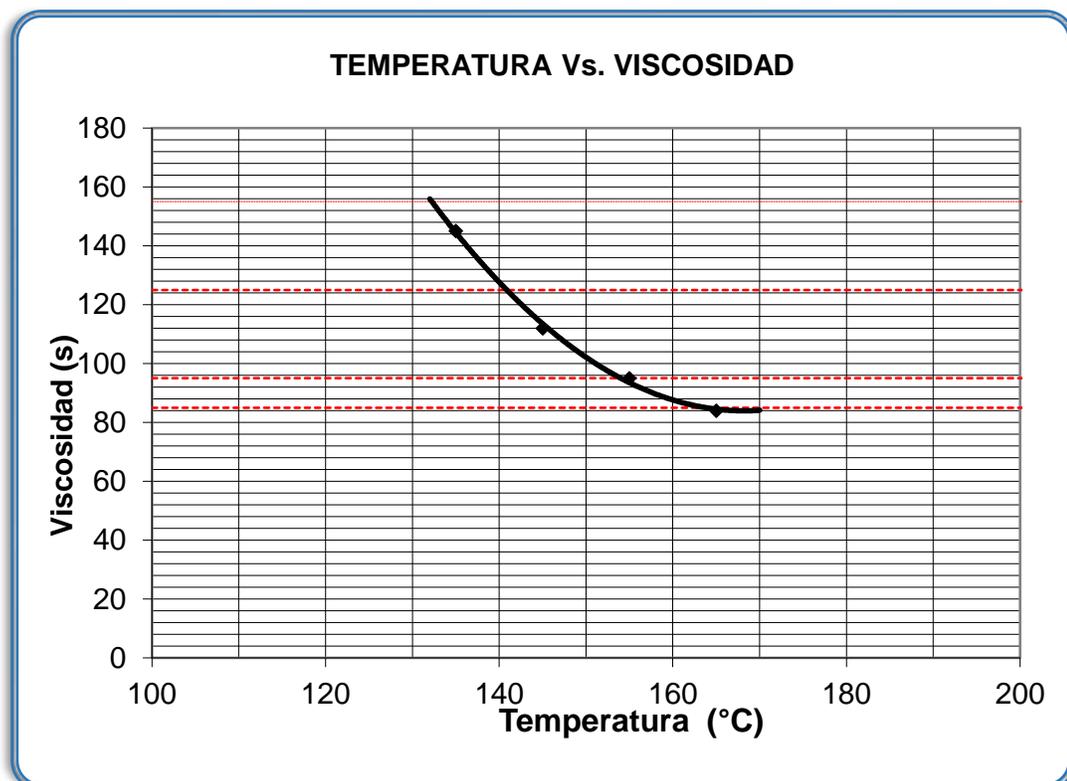
Este ensayo consiste en variar las temperaturas del cemento asfáltico para poder conocer la temperatura de aplicación y compactación de las briquetas que se realizará.

Tabla N° 59. Variaciones de temperatura y viscosidad

Punto	Temperatura °C	Viscosidad seg
1	135	145
2	145	112
3	155	95
4	165	84

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 13. Gráfica del ensayo de viscosidad vs temperatura.



Fuente: Elaboración propia

Se realizaron los ensayos correspondientes en laboratorio y podemos obtener los datos de la gráfica para tener las temperaturas de aplicación y compactación.

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

Temperatura 156 y 164 °C

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

Temperatura 135 y 139 °C

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

4.4 Desarrollo de la elaboración de las Briquetas

Equipo:

- ✓ Martillo de compactación.
- ✓ Dispositivo para moldear probetas.
- ✓ Extractor de probetas.
- ✓ Balanza $A \pm 0.1$ gr.
- ✓ Bandejas metálicas.
- ✓ Placa de calentamiento.
- ✓ Termómetro
- ✓ Espátula.
- ✓ Medidor de la estabilidad.
- ✓ Mezcla de agregados
- ✓ Asfalto 85-100
- ✓ Asfalto 40-70

Procedimiento del Ensayo:

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.

Figura N° 14. Se realiza el pesaje de los agregados para la muestra a ensayar.



Fuente: Elaboración propia

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° 15. Se realiza el mezclado homogéneo de la muestra.



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 110°C ni en ningún caso someterse a recalentamiento.

Figura N° 16. Calentamiento de los moldes para realizar el ensayo.



Fuente: Elaboración propia

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

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

Figura N° 17. Preparación de los moldes para el compactado.



Fuente: Elaboración propia

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

4.5 Ensayo de Marshall

Una vez extraído las briquetas de los moldes se proceden 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.

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

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

Se coloca la briqueta en las mordazas y aplica la carga, a una velocidad de deformación constante de $50.8\text{ mm por minuto}$ ($2'' / \text{minuto}$) hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($150\text{ }^{\circ}\text{F}$) 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° 18. Ensayo Marshall de estabilidad y fluencia.



Fuente: Elaboración propia

4.6 Proceso de Cálculo de Propiedades Mecánicas de la Mezcla Asfáltica Convencional 85-100

Se desarrollara para el ensayo solo una briqueta en la cual se lo realizara paso a paso para un mejor entendimiento del ensayo para el porcentaje de cemento asfaltico de 4,5%.

4.6.1 Briquetas.

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

En el ensayo ya realizado se tomara en cuenta la enumeración de las briquetas: B1, B2 y B3 para el porcentaje del cemento asfaltico 85-100.

4.6.2 Altura de las briquetas.

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 4,5% sus alturas correspondientes son las siguientes:

Tabla N° 60. Alturas medidas de cada briqueta.

Identificación	Alturas (cm)	Promedio de alturas (cm)
B1	6,50	6,48
	6,48	
	6,46	
	6,48	
B2	6,53	6,50
	6,51	
	6,47	
	6,49	
B3	6,38	6,40
	6,42	
	6,41	
	6,39	

Fuente: Elaboración propia

4.6.3 Base de Mezcla y Agregado.

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

Mientras que para la base de agregado se realiza el siguiente procedimiento de cálculo.

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

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

$$\text{Base de agregado} = 4,71$$

4.6.4 Peso de briqueta en el aire.

El peso de la briqueta en el aire consiste en medir su peso después de sacarlo del molde.

Tabla N° 61. Peso al aire de las briquetas.

Identificación	Peso briqueta en el aire (gr)
B1	1189,5
B2	1192,5
B3	1191,2

Fuente: Elaboración propia

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

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

Tabla N° 62. Peso briqueta saturada superficialmente seca.

Identificación	Peso briqueta en el aire S.S.S. (gr)
B1	1192,2
B2	1194,5
B3	1194,0

Fuente: Elaboración propia

4.6.6 Peso de briqueta sumergida en el agua.

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

Tabla N° 63. Peso briqueta sumergida en agua.

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

Fuente: Elaboración propia

4.6.7 Volumen de la briqueta.

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

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

$$\text{Vol. de briqueta}=1192,2-677,5$$

$$\text{Vol. de briqueta}=514,7 \text{ [gr]}$$

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

$$\text{Vol. de briqueta}=514,7 \text{ [cm}^3\text{]}$$

4.6.8 Densidad de la briqueta.

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

4.6.8.1 Densidad real de la briqueta.

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

$$\text{Densidad Real} = \frac{1189.5 \text{ gr}}{514,7\text{cm}^3}$$

$$\text{Densidad Real} = 2,311 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

4.6.8.2 Densidad máxima teórica de la briqueta.

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

$$\text{Densidad MáxT} = \frac{100}{\frac{4,5}{1,009} + \frac{100-4,5}{2,68}}$$

$$\text{Densidad MáxT} = 2,493 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

4.6.9 Porcentaje de Vacíos.

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

4.6.9.1 Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv).

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

$$V_v = \frac{2,493 - 2,312}{2,493} * 100\%$$

$$V_v = 7,27\%$$

4.6.9.2 Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM).

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

$$VAM = \frac{4,5 * 2,312}{1,005} + 7,27$$

$$VAM = 17,62 \%$$

4.6.9.3 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV).

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

$$RBV = \frac{17,62 - 7,27}{17,62} * 100\%$$

$$RBV = 58,76\%$$

4.6.10 Estabilidad y Fluencia.

La estabilidad y la fluencia son propiedades que se obtiene a partir de la prensa Marshall.

Tabla N° 64. Datos del ensayo de estabilidad y fluencia.

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad	Fluencia (plg.)
B1	1000	180,0
B2	1122	200,0
B3	1015	215,0

Fuente: Elaboración propia

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

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

Donde:

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

Tabla N° 65. Estabilidad real.

Identificación	Estabilidad (lb)		
	Lectura Dial	Real	Promedio
B1	1000	2204,6	2305,3
B2	1122	2473,6	
B3	1015	2237,7	

Fuente: Elaboración propia

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

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

Donde:

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

Tabla N° 66. Alturas promedio y factor de corrección por altura.

Identificación	Promedio de alturas (cm)	Factor de corrección por altura	Promedio del factor de corrección
B1	6,48	0,968	0,973
B2	6,50	0,963	
B3	6,40	0,988	

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

Tabla N° 67. Estabilidad corregida.

Identificación	Estabilidad Real Promedio (lb)	Promedio del factor de corrección	Estabilidad Corregida (lb)
B1	2305,3	0,973	2243,0
B2			
B3			

Fuente: Elaboración propia.

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

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

Tabla N° 68. Corrección de fluencia.

Identificación	Lectura dial	Fluencia 1/100	Promedio
	Fluencia (plg.)		
B1	180	7,1	7,81
B2	200	7,9	
B3	215	8,5	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 69. Resultados de la estabilidad y fluencia.

Identificación	Estabilidad		Fluencia	
	Real	Promedio	1/100	Promedio
B1	2204,6	2243,0	7,1	7,81
B2	2473,6		7,9	
B3	2237,7		8,5	

Fuente: Elaboración propia

4.7 Resultados del Diseño de la Mezcla Asfáltica Convencional 85-100

A continuación se muestra las planillas de resultados:

Tabla N° 70. 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 (VAM)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad Corregida Promedio (lb)	Fluencia 1/100 Promedio
4,5	B1	6,48	2,312	7,27	17,62	58,76	2243,0	7,81
	B2	6,50						
	B3	6,40						
5,0	B4	6,38	2,334	5,53	17,24	67,37	2436,2	9,45
	B5	6,44						
	B6	6,36						
5,5	B7	6,40	2,353	4,13	17,01	75,70	2704,3	11,22
	B8	6,38						
	B9	6,45						
6,0	B10	6,36	2,361	3,08	17,17	82,09	2779,3	13,98
	B11	6,30						
	B12	6,35						
6,5	B13	6,38	2,351	2,76	17,96	84,65	2536,7	15,16
	B14	6,42						
	B15	6,42						
7,0	B16	6,37	2,346	2,23	18,57	87,98	2335,7	16,86
	B17	6,40						
	B18	6,38						

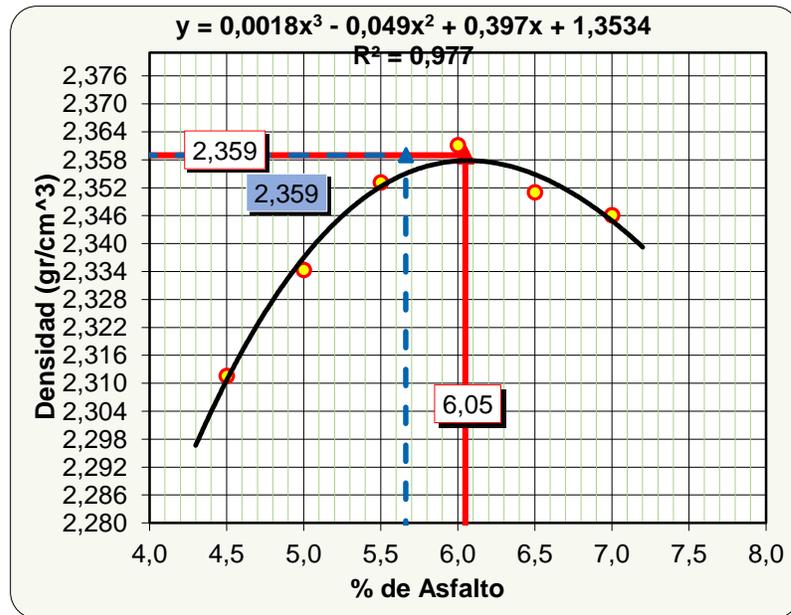
Fuente: Elaboración propia

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

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

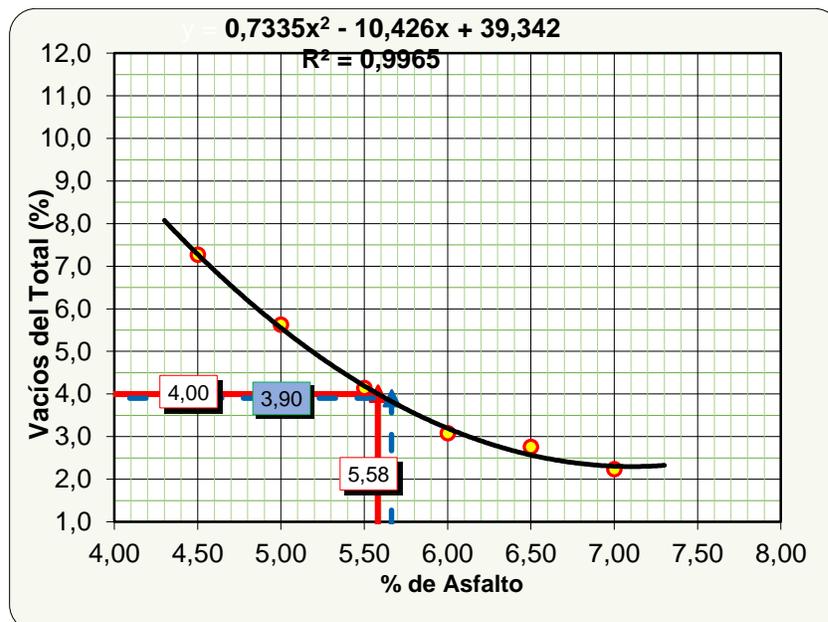
- Porcentaje de Asfalto vs. estabilidad corregida.
- Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo).

Figura N° 19. Porcentaje de Asfalto vs Densidad de la Briqueta.



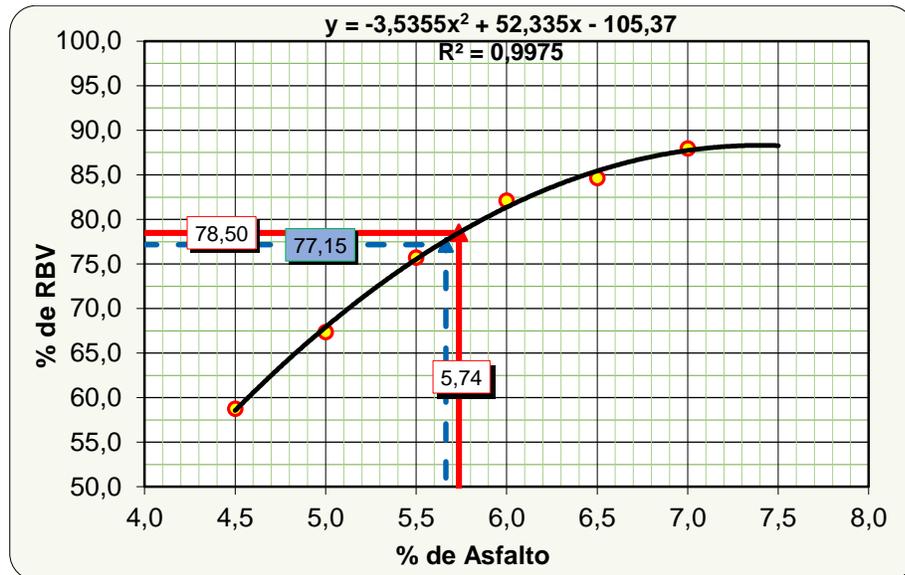
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 20. Porcentaje de Asfalto vs Vacíos de la mezcla (Vv).



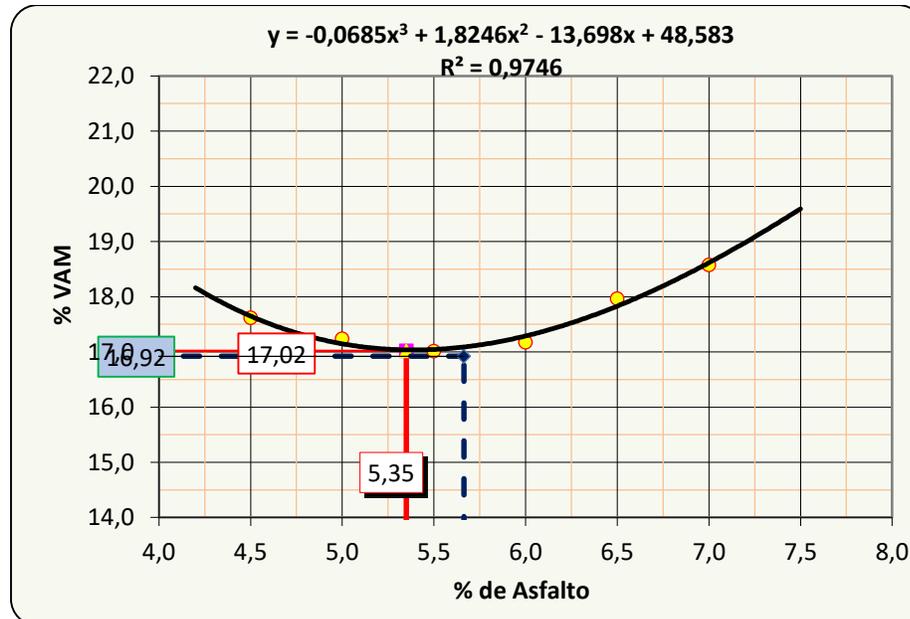
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 21. Porcentaje de Asfalto vs RBV.



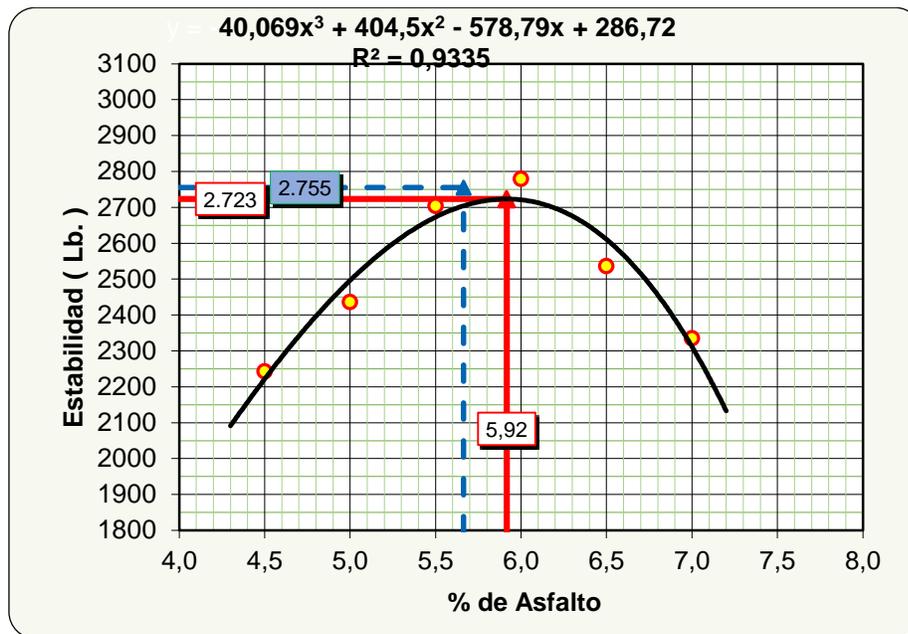
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 22. Porcentaje de Asfalto vs VAM.



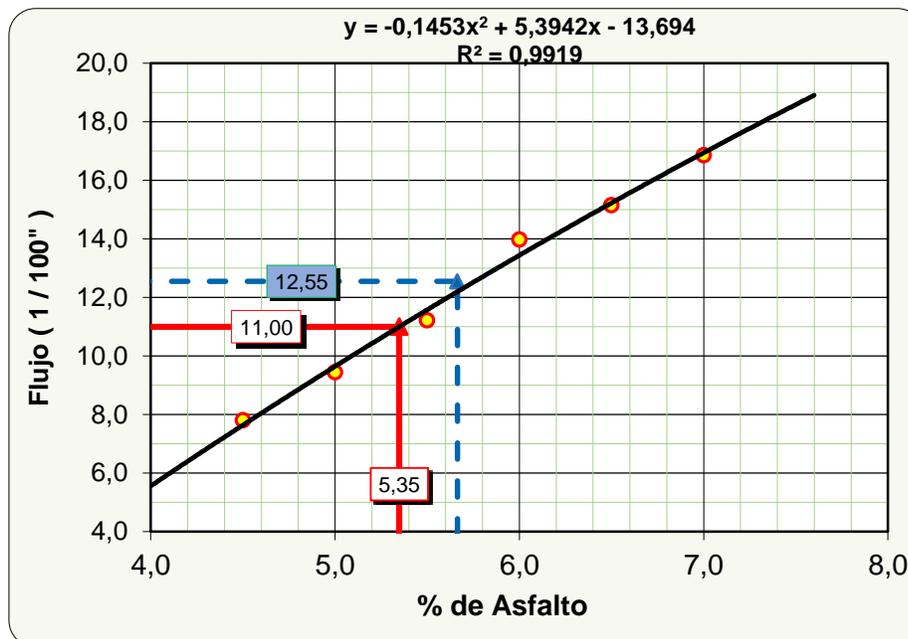
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 23. Porcentaje de Asfalto vs Estabilidad.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 24. Porcentaje de Asfalto vs Fluencia.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las gráficas obtenidas se tiene:

Tabla N° 71. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional 85-100.

VALORES				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRÁFICOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	6,05	2,359	-----	-----
% VACIOS	5,58	4,0	3	5
R.B.V.	5,74	78,5	75	82
V.A.M	5,35	22,3	15	
ESTABILIDAD (Lb)	5,92	2723,3	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,35	11,0	8	14
PROMEDIO (%)	5,66	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 72. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica convencional 85-100.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % ÓPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5,66	2,359	-----	-----
% VACIOS	5,66	3,90	3	5
R.B.V.	5,66	77,15	75	82
V.A.M	5,66	16,92		
ESTABILIDAD (Lb)	5,66	2755	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,66	12,55	8	14
% ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5,66	

Fuente: Elaboración propia

4.8 Resultados del Diseño de la Mezcla Asfáltica Modificada 40-70.

A continuación se muestra las planillas de resultados:

Tabla N° 73. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional 40-70.

% de Asfalto	Identificación	Altura Promedio (cm)	Densidad Real Promedio (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos de agregado (VAM)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	Estabilidad Corregida Promedio (lb)	Fluencia 1/100 Promedio
4,5	B1	6,59	2,297	7,27	18,15	56,77	2620,1	11,81
	B2	6,57						
	B3	6,48						
5,0	B4	6,52	2,326	5,53	17,54	66,12	3281,2	15,49
	B5	6,62						
	B6	6,59						
5,5	B7	6,50	2,351	4,13	17,09	75,43	3803,9	17,72
	B8	6,43						
	B9	6,36						
6,0	B10	6,35	2,353	3,08	17,46	80,63	3792,2	20,60
	B11	6,44						
	B12	6,41						
6,5	B13	6,44	2,351	2,76	17,95	84,87	3408,2	22,90
	B14	6,40						
	B15	6,42						
7,0	B16	6,36	2,341	2,23	18,77	87,05	2933,5	25,33
	B17	6,40						
	B18	6,38						

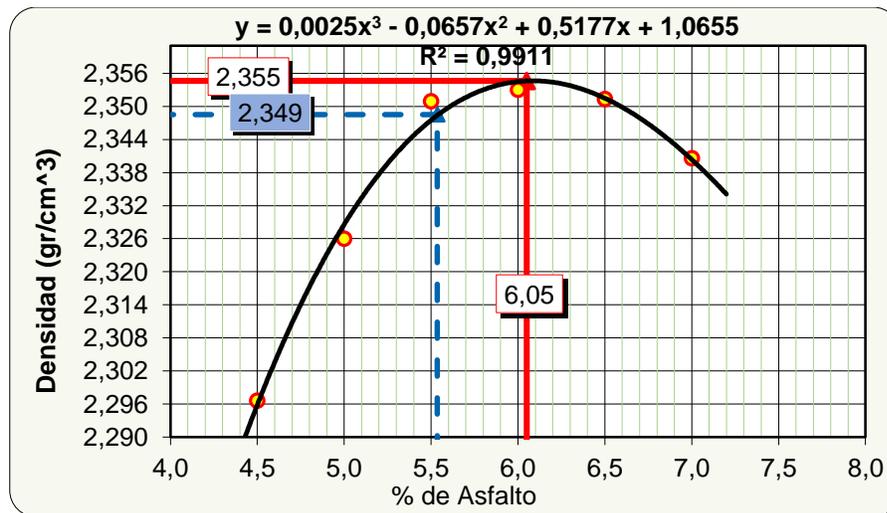
Fuente: Elaboración propia

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

- Porcentaje de Asfalto vs. densidad de la probeta.
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.
- Porcentaje de Asfalto vs. vacíos de agregado mineral (VAM)

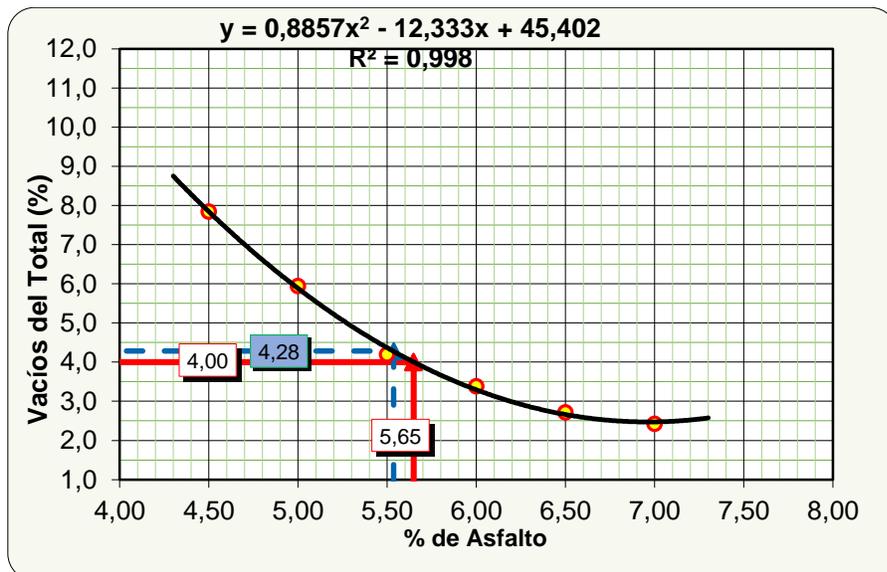
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (RBV).
- Porcentaje de Asfalto vs. estabilidad corregida.
- Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo).

Figura N° 25. Porcentaje de Asfalto vs Densidad de la Briqueta.



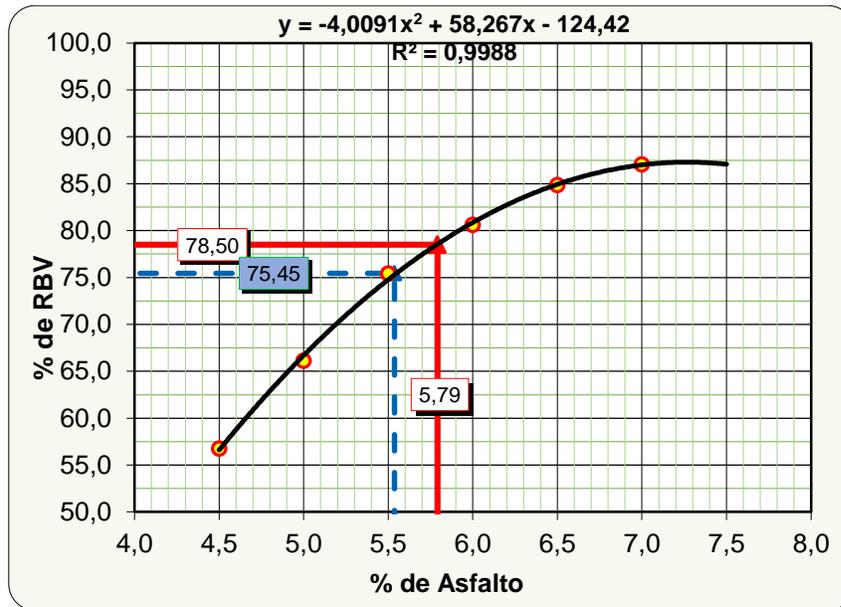
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 26. Porcentaje de Asfalto vs Vacíos de la mezcla (Vv).



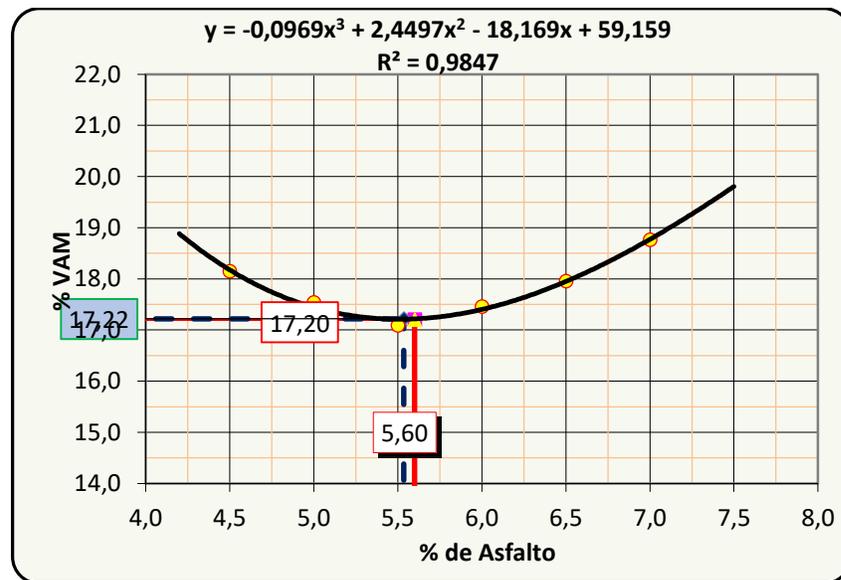
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 27. Porcentaje de Asfalto vs RBV.



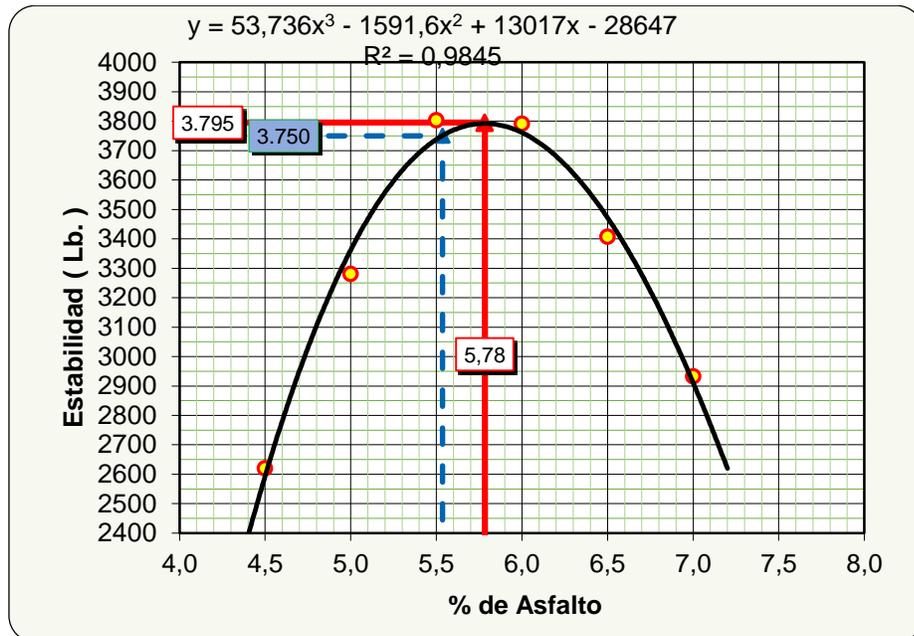
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 28. Porcentaje de Asfalto vs VAM.



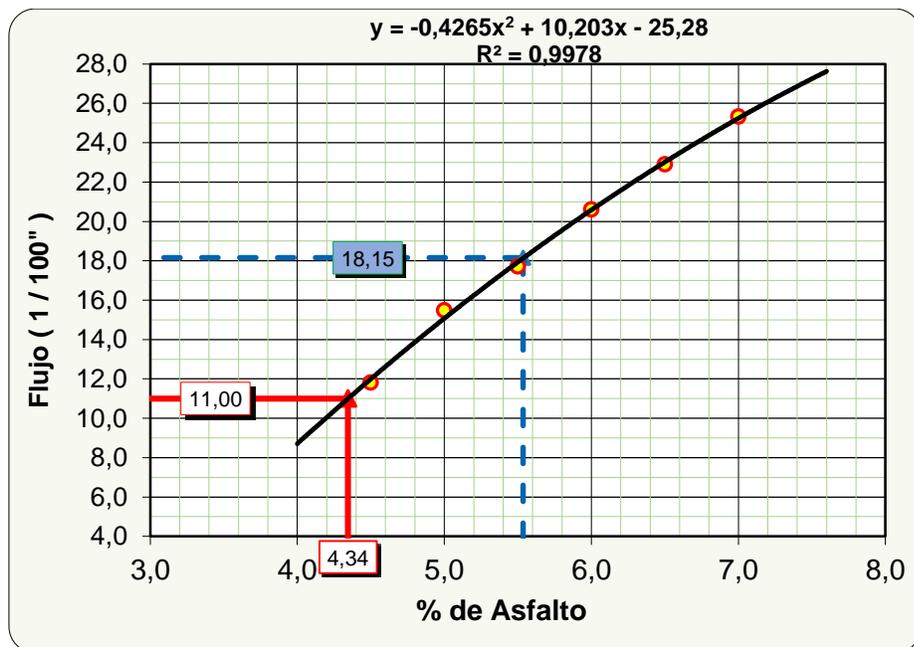
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 29. Porcentaje de Asfalto vs Estabilidad.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 30. Porcentaje de Asfalto vs Fluencia.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las gráficas obtenidas se tiene:

Tabla N° 74. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica modificada 40-70.

VALORES				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRÁFICOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	6,05	2,355	-----	-----
% VACIOS	5,65	4,0	3	5
R.B.V.	5,79	78,5	75	82
V.A.M	5,60	22,3	15	
ESTABILIDAD (Lb)	5,78	3794,9	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	4,34	11,0	8	14
PROMEDIO (%)	5,54	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 75. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica modificada 40-70.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % ÓPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5,54	2,349	-----	-----
% VACIOS	5,54	4,28	3	5
R.B.V.	5,54	75,45	75	82
V.A.M	5,54	17,22		
ESTABILIDAD (Lb)	5,54	3750	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5,54	18,15	8	14
% ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5,5	

Fuente: Elaboración propia

4.9 Preparación de Briquetas con el Porcentaje Óptimo

Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico que es igual al 5,66% para el cemento asfáltico 85-100 y el 5,54 para el cemento asfáltico 40-70 del total de la briqueta de 1200 gramos, y calculado anteriormente la temperatura de mezclado y compactado de las briquetas se procede a pesar las muestras para su respectiva comparación, en la siguiente tabla se muestran los pesos retenidos en cada tamiz repartidos de manera homogénea para la realización de briquetas convencionales con cemento asfáltico 85-100 como así mismo se lo realizara para el cemento asfáltico 40-70, manteniendo la combinación de agregados de 19% de grava 3/4", 31% de gravilla 3/8" y 50% de arena.

Tabla N° 76. Dosificación con el contenido óptimo de asfalto de 5,66%.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,66%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	98,7	1,3	1,3	14,8	14,8
1/2"	81,5	18,5	17,2	194,5	209,4
3/8"	78,6	21,4	2,9	33,2	242,6
N°4	51,7	48,3	26,9	304,2	546,8
N°10	40,7	59,3	11,0	124,6	671,4
N°16	30,7	69,3	10,0	113,6	785,0
N°40	16,4	83,6	14,3	161,9	946,9
N°80	11,3	88,7	5,1	57,5	1004,4
N°200	6,2	93,8	5,1	57,6	1062,0
Filler	0	100	6,2	70,1	1132,1
Peso Total				1132,1	

Fuente: Elaboración propia

Peso Muestra=	1132,1 gr.
Peso Asfalto (5,66%) =	67,9 gr.
Peso Total Material + C. Asf.=	1200,0 gr.

Tabla N° 77. Datos obtenidos del ensayo Marshall con porcentaje óptimo de asfalto 85-100.

% de Asfalto	Identificación	Altura Promedio (cm)	Peso Seco al aire (gr.)	Peso Sumergido al agua (gr.)	Peso Sumergido superficial seco(gr.)	Dial Lectura Estabilidad	Dial Lectura Fluencia
5,66	B1	6,38	1185,6	682,5	1187,6	1277	360
	B2	6,32	11475,6	680,0	1177,0	1185	340
	B3	6,29	1182,0	680,5	1183,5	1200	335
5,66	B1A	6,46	1177,5	680,2	1179,5	1156	300
	B2A	6,46	1179,5	680,4	1182,5	1042	330
	B3A	6,35	1192,2	685,6	1193,5	1100	300
5,66	B4A	6,44	1195,5	690,2	1198,5	920	285
	B5A	6,30	1186,5	685,9	1187,6	865	300
	B6A	6,48	1184,0	682,5	1186,2	958	300

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el ensayo las briquetas B1A, B2A y B3A fueron los datos obtenido como los valores de estabilidad remanente a las 24 horas, las briquetas B4A, B5A y B6A fueron los datos obtenidos como los valores de estabilidad remanente a las 36 horas, estos tiempos fueron sumergidos a baño maría

Tabla N° 78. Resultados de las mezclas asfálticas con tiempos de saturación utilizando el asfalto 85-100.

% de Asfalto	Identificación	PROPIEDADES MECÁNICAS						
		Altura Promedio (cm)	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (Ib)	Fluencia 1/100
5,66	C1	6,38	2,347				2794,2	
	C2	6,32	2,365				2633,4	
	C3	6,29	2,350				2687,8	
	Promedio		2,354	3,86	77,46	17,12	2705,1	13,58
5,66	C1A	6,46	2,358				2478,4	
	C2A	6,46	2,355				2268,5	
	C3A	6,35	2,365				2425,1	
	Promedio		2,352	3,94	77,05	17,19	2390,7	12,86
5,66	C4A	6,44	2,352				1982,6	
	C5A	6,30	2,365				1931,8	
	C6A	6,48	2,351				2043,4	
	Promedio		2,356	3,79	77,78	17,06	1985,9	11,61

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto la resistencia remanente de 24 horas es:

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

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{2390,7}{2705,1} * 100\%$$

$$\text{Resistencia Remanente} = 88,40\%$$

Por lo tanto la resistencia remanente de 36 horas es:

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

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{1985,9}{2705,1} * 100\%$$

$$\text{Resistencia Remanente} = 73,41\%$$

Tabla N° 79. Datos obtenidos del ensayo Marshall con porcentaje óptimo de asfalto 40-70.

% de Asfalto	Identificación	Altura Promedio (cm)	Peso Seco al aire (gr.)	Peso Sumergido al agua (gr.)	Peso Sumergido superficial seco(gr.)	Dial Lectura Estabilidad	Dial Lectura Fluencia
5,66	B1	6,38	1180,0	681,5	1182,3	1760	480
	B2	6,32	1173,9	680,5	1175,7	1720	470
	B3	6,29	1176,5	675,6	1178,5	1680	450
5,66	B1A	6,46	1178,7	680,2	1179,8	1722	405
	B2A	6,46	1191,3	687,5	1194,1	1652	435
	B3A	6,35	1185,2	682,5	1188,0	1602	450
5,66	B4A	6,35	1182,5	680,5	1183,9	1500	420
	B5A	6,38	1186,5	685,2	1188,2	1402	435
	B6A	6,40	1180,0	679,2	1182,5	1465	90

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el ensayo las briquetas B1A, B2A y B3A fueron los datos obtenido como los valores de estabilidad remanente a las 24 horas, las briquetas B4A, B5A y B6A

fueron los datos obtenidos como los valores de estabilidad remanente a las 36 horas, estos tiempos fueron sumergidos a baño maría

Tabla N° 80. Resultados de las mezclas asfálticas con tiempos de saturación utilizando el asfalto 40-70.

% de Asfalto	Identificación	PROPIEDADES MECÁNICAS						
		Altura Promedio (cm)	Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (Ib)	Fluencia 1/100
5,71	C1	6,38	2,356				3922,8	
	C2	6,32	2,371				3754,0	
	C3	6,29	2,339				3694,5	
	Promedio		2,355	3,96	76,68	16,97	3790,4	18,37
5,71	C1A	6,46	2,359				3758,4	
	C2A	6,46	2,352				33614,7	
	C3A	6,35	2,345				3461,1	
	Promedio		2,352	4,10	75,99	17,096	3611,4	16,93
5,71	C4A	6,35	2,349				3369,7	
	C5A	6,38	2,359				3174,3	
	C6A	6,40	2,345				3255,6	
	Promedio		2,351	4,15	75,80	17,13	3266,5	16,34

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto la resistencia remanente de 24 horas es:

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

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{3611,4}{3790,4} * 100\%$$

Resistencia Remanente =95,3%

Por lo tanto la resistencia remanente de 36 horas es:

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

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{3266,5}{3790,4} * 100\%$$

Resistencia Remanente =86,2%

4.10 Desarrollo del Tensión Indirecta AASTHO T-283

Equipo:

- ✓ Martillo de compactación.
- ✓ Dispositivo para moldear probetas.
- ✓ Extractor de probetas.
- ✓ Balanza A±0.1 gr.
- ✓ Bandejas metálicas.
- ✓ Placa de calentamiento.
- ✓ Termómetro
- ✓ Espátula.
- ✓ Medidor de la estabilidad.
- ✓ Mezcla de agregados
- ✓ Asfalto 85-100
- ✓ Asfalto 40-70
- ✓ Mordaza con franja de carga con superficie cóncava

Procedimiento del Ensayo:

La prensa utilizada en el ensayo de estabilidad y fluencia Marshall, es adecuada para efectuar el ensayo de tracción por compresión diametral. Para realizar este ensayo se utilizaron los datos del porcentaje óptimo del cemento asfáltico 85-100 y para el cemento asfáltico 40-70.

De esa manera se realizaron la separación en 3 grupos para realizar un análisis más detallado del comportamiento de las muestras, el grupo 3 de 36hrs de saturación se añadió por criterio del investigador de manera de tener un conocimiento de lo que realmente ocurre en ese periodo de tiempo la norma aplica de 0-24hrs de tiempo de saturación.

Dispositivo de sujeción de la probeta. Puede emplearse las mordazas del ensayo de estabilidad Marshall. La longitud de las mismas abarcará el ancho de las mordazas. Estos aditamentos permitirán el posicionamiento de la probeta a ensayar tal que estén contenidas en el plano diametral perpendicular a las bases de las mordazas.

Con un calibre se determina el diámetro con una aproximación de $\pm 0,1$ mm, de la probeta en seis planos, dos a dos perpendiculares: dos en el plano superior de la probeta, dos en el plano medio y dos en el plano inferior. Se registra el diámetro promedio “d” de las seis mediciones.

La altura de la probeta se mide también con precisión de $\pm 0,1$ mm en cuatro puntos definidos por los extremos de dos planos diametrales perpendiculares, con un radio de 10 mm inferior al radio de la probeta. Se registra la altura promedio “h” de las cuatro mediciones.

Grupo 1 de Briquetas: Las tres briquetas de este grupo se mantienen al aire en un recinto o estufa a una temperatura de 25 ± 1 °C durante 24 horas. Finalizado este período, se introducen en un baño de agua regulado a 25 ± 1 °C durante dos horas, determinando a continuación su resistencia a tracción indirecta por compresión diametral.

Grupo 2 de Briquetas: Las tres briquetas de este grupo se sumergen en un baño de agua regulado a 60 ± 1 °C durante 24 horas. Finalizado este período, se introducen en un baño de agua regulado a 25 ± 1 °C durante dos horas, determinando a continuación su resistencia a tracción indirecta.

Grupo 3 de Briquetas (Criterio del Investigador): Las tres briquetas de este grupo se sumergen en un baño de agua regulado a 60 ± 1 °C durante 36 horas. Finalizado este período, se introducen en un baño de agua regulado a 25 ± 1 °C durante dos horas, determinando a continuación su resistencia a tracción indirecta.

Se retira la probeta del baño maría y se sitúa en la mordaza acondicionada como se indica en la figura.

Figura N° 31. Equipos para realizar el ensayo.



Fuente: Elaboración propia

Se aplica la carga a la probeta manteniendo una velocidad de deformación de 50,8 milímetros por minuto constante, hasta que rompa la probeta.

El tiempo transcurrido entre el momento en que se retira una probeta del recinto termostático y la rotura de la misma en la prensa no debe exceder de 30 segundos.

Se registran o anotan los valores de la carga de rotura.

Figura N° 32. Ruptura de la Briqueta.



Fuente: Elaboración propia

Fundamentalmente se tomó en cuenta los datos obtenidos en el diseño del Marshall para el contenido de asfalto óptimo para el Cemento Asfáltico 85-100 es 5,66% y para el Cemento Asfáltico 40-70 es 5,54%, algunas variables se adjuntaron a la tabla de los ensayos de manera de poder tener un estudio más completo del ensayo, por la cual se realizaron las mediciones correspondientes. Se tomara como ejemplo de cálculo al cemento asfáltico 85-100 que se sumergen al agua en un baño maría 60 ± 1 °C, las demás muestras se realiza el mismo procedimiento.

4.10.1 Identificación de las Briquetas

Las briquetas se tendrá la siguiente nomenclatura, cemento asfáltico 85-100.

Tabla N° 81. Nomenclatura de las briquetas utilizando asfalto 85-100.

Tiempo	Identificación
0hrs-60 °C	D1
	D2
	D3
24hrs-60 °C	D1A
	D2A
	D3A
36hrs-60 °C	D4A
	D5A
	D6A

Fuente: Elaboración propia

4.10.2 Resistencia a Tensión Indirecta

La resistencia a compresión diametral, tracción indirecta de una probeta, se calcula con la fórmula siguiente, aproximando a la primera cifra decimal donde:

$$R = \frac{2P}{\pi * h * d}$$

R = Resistencia a compresión diametral en Kg/cm²

P = Carga máxima de rotura en Kg.

π = Constante 3,14159....

h = Altura de la probeta en cm.

d = Diámetro de la probeta en cm.

Tabla N° 82. Datos del Ensayo T. Indirecta utilizando asfalto 85-100.

Identificación	Altura(cm)	Diámetro (cm)	Carga Máxima (Kg)
D1	6,40	9,60	619
D2	6,38	10,00	670
D3	6,35	10,10	610
D1A	6,45	9,10	490
D2A	6,42	9,05	470
D3A	6,38	9,00	510
D4A	6,37	10,00	400
D5A	6,35	9,20	415
D6A	6,39	9,80	385

Fuente: Elaboración propia

Calculo:

$$R = \frac{2P}{\pi * h * d}$$

$$R = \frac{2 * 619}{\pi * 6,40 * 9,60}$$

$$R = 6,41 \text{ Kg/cm}^2$$

Tabla N° 83. Desarrollo del Ensayo T. Indirecta.

Identificación	Resist. Compr.	Resist. Compr. Promedio
D1	6,41	6,38
D2	6,69	
D3	6,05	
D1A	5,31	5,37
D2A	5,15	
D3A	5,65	
D4A	4,00	4,14
D5A	4,52	
D6A	3,91	

Fuente: Elaboración propia

4.10.3 Cálculo del Índice de Resistencia Conservada

Se calcula el valor medio de la resistencia a tracción indirecta de cada grupo de Briquetas. Con estos valores se calcula el índice de resistencia conservada por medio de la siguiente expresión:

$$\text{IRC \%} = \frac{R2}{R1} * 100$$

$$\text{IRC \%} = \frac{5,37}{6,38} * 100$$

$$\text{IRC \%} = \mathbf{84\%}$$

4.11 Resultados del Diseño del Ensayo a Tensión Indirecta

Tabla N° 84. Resultados del Ensayo T. Indirecta, Cemento Asfáltico 85-100.

Identificación	h(cm)	Diám. (cm)	C. Max. (Kg)	Resist. Compr. Kg/cm ²	Resist. Compr. Prom. Kg/cm ²	IRC %
D1	6,40	9,60	619	6,41	6,38	----
D2	6,38	10,00	670	6,69		
D3	6,35	10,10	610	6,05		
D1A	6,45	9,10	490	5,31	5,37	84
D2A	6,42	9,05	470	5,15		
D3A	6,38	9,00	510	5,65		
D4A	6,37	10,00	400	4,00	4,14	65
D5A	6,35	9,20	415	4,52		
D6A	6,39	9,80	385	3,91		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 85. Resultados del Ensayo T. Indirecta, Cemento Asfáltico 40-70.

Identificación	h(cm)	Diám. (cm)	C. Max. (Kg)	Resist. Compr. Kg/cm ²	Resist. Compr. Prom. Kg/cm ²	IRC %
E1	6,34	10,10	1090	10,84	11,45	----
E2	6,38	10,00	1206	12,03		
E3	6,40	10,05	1160	11,48		
E1A	6,45	9,95	1020	10,12	10,03	88
E2A	6,44	10,00	1000	9,89		
E3A	6,43	10,10	1030	10,10		
E4A	6,38	9,90	960	9,68	9,48	83
E5A	6,42	10,05	950	9,37		
E6A	6,40	9,90	935	9,39		

Fuente: Elaboración propia

4.12 Evaluación de las Propiedades Mecánico-Resistentes de las Mezclas Asfálticas Convencionales y Modificada con Polímeros

Para la presente Investigación se realizaron la evaluación de las propiedades mecánico-resistentes aplicando en ensayo del Marshall y el ensayo Tensión Indirecta.

Figura N° 33. Especificaciones del Método Marshall.

Especificación del Método Marshall	Tráfico Liviano		Tráfico Mediano		Tráfico Pesado	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
No. de golpes	35		50		75	
Estabilidad						
Newtons	3336		5338		8006	
Libras	750		1200		1800	
Fluencia 0,25 mm (0,01")	8	18	8	16	8	14
% de vacíos	3	5	3	5	3	5

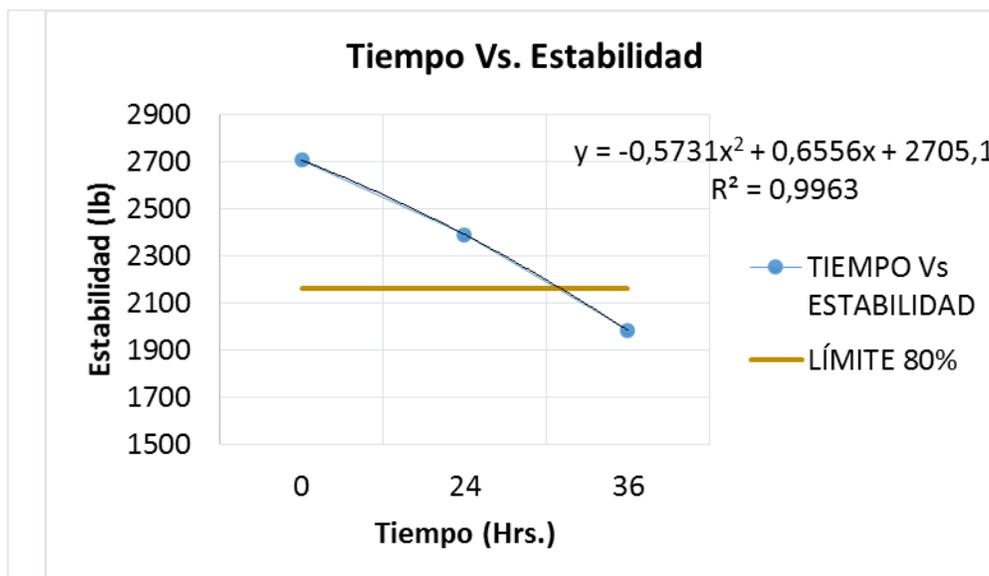
Fuente: The Asphalt Institute's Manual (MS-2)

Tabla N° 86. Resultados del Ensayo Marshall, Cemento Asfáltico 85-100.

Tiempo (Hrs.)	Estabilidad (lb)	Fluencia (1/100")
0	2705,1	13,58
24	2390,7	12,2
36	1985,9	11,61

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 34. Tiempo vs Estabilidad CA 85-100



Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados:

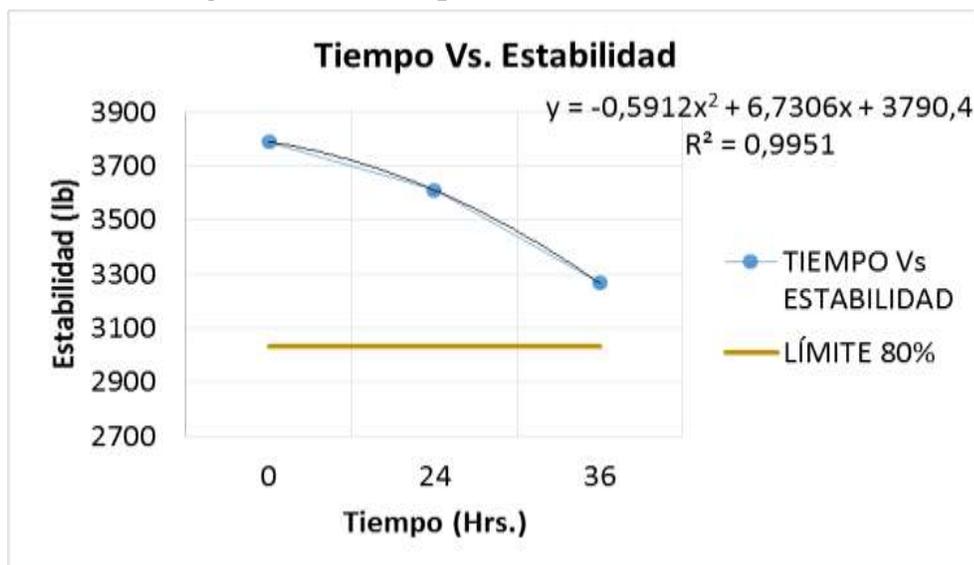
Se puede observar un decreciente valor de la estabilidad con respecto al tiempo, se puede observar también que en el tercer grupo de briquetas del cemento asfáltico 85-100 no cumple con las especificaciones.

Tabla N° 87. Resultados del Ensayo Marshall, Cemento Asfáltico 40-70.

Tiempo (Hrs.)	Estabilidad (lb)	Fluencia (1/100")
0	3790,4	18,37
24	3611,4	16,93
36	3266,5	16,34

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 35. Tiempo vs Estabilidad CA 40-70.



Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados:

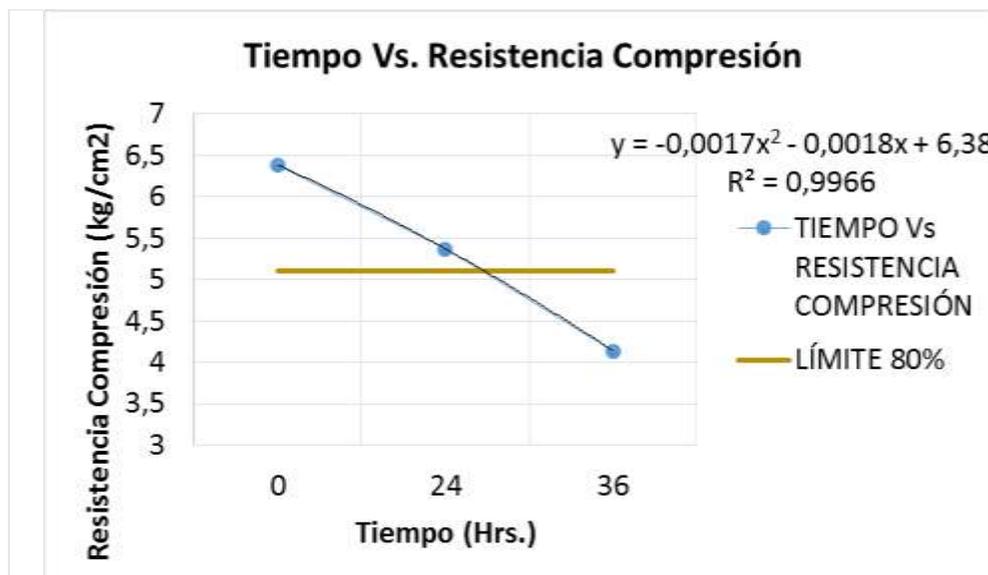
De acuerdo a las gráficas se puede observar que existe un decreciente valor de la estabilidad, pero estos valores no tienen una gran pérdida, se puede observar que los 3 grupos de las briquetas cumplen con la especificación del ensayo.

Tabla N° 88. Resultados del Ensayo a Tensión Indirecta, Cemento Asfáltico 85-100.

Tiempo (Hrs.)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
0	6,38
24	5,37
36	4,14

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 36. Tiempo vs Resistencia Compresión CA 85-100.



Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados:

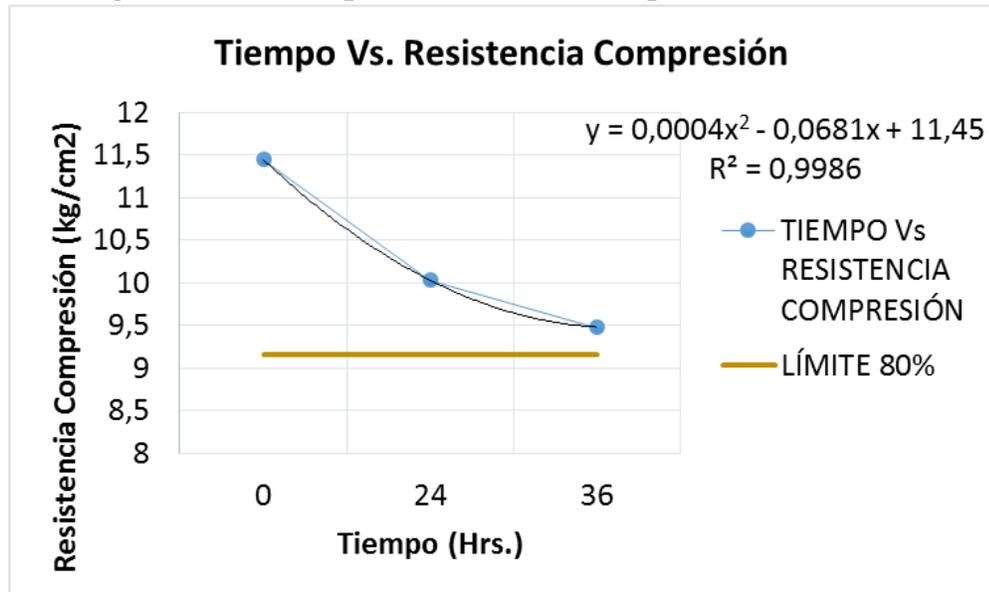
De acuerdo a las gráficas se puede observar que en el ensayo a Tensión Indirecta el segundo grupo de las briquetas está al borde del límite, esto se debe a que ese grupo de las muestras a ensayar sufrieron un daño superior, quedando fuera de rango el grupo tres de las briquetas.

Tabla N° 89. Resultados del Ensayo a Tensión Indirecta, Cemento Asfáltico 40-70.

Tiempo (Hrs.)	Resistencia Compresión (kg/cm2)
0	11,45
24	10,03
36	9,48

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 37. Tiempo vs Resistencia Compresión CA 40-70.



Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados:

De acuerdo a las gráficas se puede observar que en el ensayo a Tensión Indirecta utilizando el cemento asfáltico 40-70 cumplieron todos los grupos de las briquetas de acuerdo a las especificaciones, este cemento asfáltico es adecuado para zonas húmedas.

4.13 Resultados de las Variables

4.13.1 Variable Independiente

En la presente investigación realizada en el punto 1.6.2 Definición de las Variables se determinó como variable independiente a los Tiempos de Saturación y el tipo de cemento asfáltico a emplearse de manera de poder evaluar su comportamiento de las propiedades más relevantes que una mezcla asfáltica.

4.13.2 Variable Dependiente

Las variables dependientes son las propiedades de las mezclas asfálticas las cuales se realizaron las muestras se pudo observar un cambio en cada tipo de mezcla asfáltica utilizada la convencional y la modificada, las propiedades evaluadas son:

- Estabilidad
- Fluencia
- % de Vacíos de Aire
- % de Vacíos de Agregado mineral
- Peso Unitario
- Resistencia a la Tensión Indirecta

4.13.3 Resultados de la Variable Independiente y la Dependiente

Tabla N° 90. Resultados de las variables Método Marshall.

		VARIABLE DEPENDIENTE PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS					
		Densidad Real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad Corregida (lb)	Fluencia 1/100
Variable Independiente	CA 85-100 0hrs	2,354	3,86	77,46	17,12	2705,1	13,58
	CA 85-100	2,352	3,94	77,05	17,19	2390,7	12,86
	CA 85-100	2,356	3,79	77,78	17,06	1985,9	11,61
	CA 40-70 0hrs	2,355	3,96	76,68	16,97	3790,4	18,37
	CA 40-70 24hrs	2,352	4,10	75,99	17,09 6	3611,4	16,93
	CA 40-70 36hrs	2,351	4,15	75,80	17,13	3266,5	16,34

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 91. Resultados de las variables Método Tensión Indirecta.

		VARIABLE DEPENDIENTE PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS
		Resistencia Compresión (kg/cm²)
Variable Independiente	CA 85-100 0hrs	6,38
	CA 85-100 24hrs	5,37
	CA 85-100 36hrs	4,14
	CA 40-70 0hrs	11,45
	CA 40-70 24hrs	10,03
	CA 40-70 36hrs	9,48

Fuente: Elaboración propia

4.14 Validación de la Hipótesis

En la presente investigación se tiene la siguiente hipótesis:

Si mediante la elaboración de muestras obtenidas en laboratorio realizando una evaluación, entonces se podrá evaluar el comportamiento de las propiedades mecánico-resistentes de la mezcla asfáltica cuando se aplica humedad.

Al terminar el diseño y el análisis de los resultados obtenidos de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas se pudo observar que existen mejoras utilizando el cemento asfáltico 40-70 debido a que cumple con todas las especificaciones, en el análisis de resultados se muestra el comportamiento de las mismas cumpliendo con los valores mínimos que se indican en los gráficos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Dentro del aporte académico se enfocará en la teoría del diseño de las mezclas asfálticas, de sus características y propiedades mecánico-resistentes, además de ellos se podrá observar los cambios producidos de las mezclas asfálticas por diferentes ciclos de humedad, la aplicación práctica será una posible alternativa en el campo de los asfaltos para prever cuidados de transitabilidad del tráfico automotor y poder tener un conocimiento del daño que se efectúa por la humedad que presenta nuestra ciudad de Tarija utilizando asfalto provenientes del exterior.

2. De acuerdo a la hipótesis planteada inicialmente se verificó en la investigación que la propiedad mecánico-resistente de estabilidad, fluencia y la carga máxima es decreciente a medida que se incrementa tiempo de saturación de las muestras ya sea las mezclas asfálticas convencionales y modificadas, esto nos da a tener un claro conocimiento de que tipo de mezclas asfálticas se deberían utilizar en zonas humedades de nuestro departamento.

3. En la elaboración de las mezclas asfálticas que se realizaron con el cemento asfáltico 85-100 se obtuvieron datos de las propiedades mecánico-resistentes menores a las muestras que se utilizaron con el cemento asfáltico 40-70.

4. De acuerdo a los ensayos realizados se pudo observar que la estabilidad, la fluencia y la carga máxima cuando se utiliza el cemento asfáltico 40-70 modificado con polímeros se tiene mejores resultados y cumpliendo con lo planteado inicialmente.

5. Se realizó la inmersión en agua a temperatura de 60°C, en tiempos de 24hrs, 36hrs de manera de observar y determinar el daño que sufren las mezclas asfálticas convencionales y modificadas ante la presencia permanente del tiempo indicado.

6. Se establece que utilizando las mezclas asfálticas fabricadas con el cemento asfáltico 40-70 modificado con polímeros sería adecuado el empleo de este material para zonas húmedas, debido a que las zonas húmedas causan un gran daño al pavimento y por ello debemos de utilizar una mezcla que pueda soportar los fenómenos actuales en el pavimento, como ser el caso de una mezcla asfáltica modificada con polímeros que cumple con los dos ensayos que se plantearon en la investigación y para ello también se tomó en cuenta que deba de cumplir con las especificaciones indicadas.

7. El cemento asfáltico modificado con polímeros tiene mejores resultados en sus propiedades ante la inmersión en agua a temperatura de 60°C, este procedimiento se lo realiza para tener el efecto que la genera el daño más crítico que podría tener en algún fenómeno real en el pavimento flexible.

8. Se determinó que las mezclas asfálticas elaboradas con cemento asfáltico 85-100 sufren de un daño más crítico en el daño por humedad evaluado en el tercer grupo de briquetas.

9. Los 3 grupos elaborados que pertenecen a las mezclas asfálticas con el cemento asfáltico 40-70, que se realizaron los ensayos de Tensión Indirecta y el Marshall evaluándolos obtuvieron mayores resultados que las mezclas convencionales.

5.2 Recomendaciones

1. En el presente trabajo de investigación por disponibilidad de tiempo y para realizar los ensayos de cada grupo se elaboraron 3 briquetas de manera que se pueda tener un dato más confiable de los ensayos realizados, analizando y evaluando su comportamiento mecánico-resistente cuando está expuesto a la humedad.
2. Para garantizar la calidad de las mezclas asfálticas se deberá realizar la preparación adecuada para evitar daños en la elaboración de las muestras puestas en las briquetas.
3. Se debe de tener en cuenta que para la elaboración de las mezclas asfálticas se deberá controlar la temperatura de compactación para evitar errores que puedan afectar a los resultados de las propiedades mecánico-resistente.
4. Para la compactación de las briquetas elaboradas en el ensayo Marshall se deberá tener muy en cuenta el número de golpes sea exacto para que el compactado de la briqueta sea efectivo, además de ello se deberá de tener en cuenta que el martillo de compactación deberá estar verticalmente para evitar posibles fallas en las mediciones de las alturas de las briquetas.
5. Para la elaboración de las muestras del ensayo a tensión indirecta se deberá controlar cuidadosamente las temperaturas del baño maría y los tiempos de manera que se cumpla con la norma.
6. Se deberá realizar las mediciones cuidadosamente de los pesos de las muestras a diseñarse, de manera que pueda ser más exacto en el diseño para hallar el porcentaje óptimo porque además de ello servirá el mismo porcentaje para realizar el ensayo a tensión indirecta.
- 7.- Para las mediciones de las propiedades de las mezclas asfálticas obtenidas en el ensayo Marshall y Tracción Indirecta las mediciones que efectuaron deberán observar bien la fluencia y la estabilidad, para que no exista un error de paralaje y se evite datos erróneos.

