

CAPÍTULO I
DISEÑO TEÓRICO Y
METODOLÓGICO

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1 INTRODUCCIÓN

El agua, la humedad, las diferentes variaciones de temperatura y otros agentes son parte de los cambios climáticos más destructivos en los pavimentos asfálticos, provocando deterioros o efectos de alteración en su comportamiento mecánico-resistente, 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 un daño 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 ocasionar problemas de infiltración y a su vez genera un gran daño al pavimento, surgiendo la idea a partir de cómo es afectado el pavimento de las carreteras en algunas zonas húmedas de la ciudad de Tarija.

Cuando la temperatura rebasa los 45°C se acelera la deformación de la carpeta asfáltica, haciendo que aparezcan roderas y ondulaciones muy rápidamente. Estas deformaciones tienen consecuencias directas en el tránsito de los vehículos, y se debe principalmente al tipo de mezcla con la cual se construyó la carretera.

En este trabajo de investigación pretende realizar un análisis comparativo en el comportamiento de las mezclas asfálticas, analizando su comportamiento de las propiedades mecánico-resistentes en función a diferentes humedades y temperaturas.

Dentro del aporte teórico se enfocará en la teoría del diseño de las mezclas asfálticas tanto convencionales como modificadas y así sus características, propiedades mecánico-resistentes al observar los cambios producidos por diferentes condiciones provocadas por

cambios climáticos, 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 los diferentes cambios de temperaturas y humedades que se presenten en la zona, la relevancia social orientada sobre al tema se observará sobre qué tipo de asfalto utilizará en las condiciones climatológicas que presenta nuestra ciudad de Tarija utilizando asfalto provenientes del exterior.

1.2 SITUACIÓN PROBLÉMICA

Las mezclas asfálticas tanto convencionales como modificadas son el componente principal del paquete estructural de pavimentos flexibles que está compuesto por áridos y cemento asfáltico y en otros casos diferentes aditivos, en él 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 y a altas temperaturas, no pudiendo cumplir con su vida útil los diferentes tramos camineros, adicionando además el constante mantenimiento de los caminos que con llevan a gastos.

1.2.1 Problema

¿Por qué se realizará un análisis comparativo de la mezcla asfáltica convencional y modificada y como se verá el comportamiento del daño de las mismas cuando estén expuestas a diferentes humedades y temperaturas?

1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema

La relevancia social orientada sobre al tema se observará sobre qué tipo de asfalto utilizar en las condiciones climatológicas que presenta nuestra ciudad de Tarija utilizando asfalto proveniente del exterior.

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

Los equipos que se utilizarán para determinar la caracterización del ligante asfáltico y de los agregados que componen la mezcla asfáltica, los cementos asfálticos fueron obtenidos del servicio departamental de caminos SEDECA tanto el cemento asfáltico 85-100 BETUPEN PLUS y el modificado BETUFLEX 60/85.

1.3 DELIMITACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizará en la ciudad de Tarija, se utilizará áridos propios de la región, provenientes de la Chancadora Garzón cuyo material es procedente de San Mateo, de esta manera se realizará un análisis del comportamiento de sus propiedades mecánico-resistente de ambas mezclas asfálticas tanto convencionales como modificadas en cuanto a su estabilidad, fluencia y resistencia.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

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

Estas fallas por diferentes cambios climáticos en las zonas críticas, serán las que ocasionen fallas en el pavimento, es necesario que se realice proyectos que garanticen la seguridad de los usuarios para el buen manejo 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 de los factores que afectan al pavimento se realizara una investigación comparativa entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas afectadas a diferentes condiciones de humedad y temperatura de manera que se pueda realizar un análisis comparativo en cuanto a sus propiedades físico mecánicos, y se pueda

verificar un mejoramiento de las propiedades mecánico resistente de las mezclas asfálticas evaluadas por el daño por humedad y temperatura utilizando el asfalto convencional y modificado.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

Realizar un análisis comparativo de mezclas asfálticas convencionales y modificadas en función a diferentes humedades y temperaturas para determinar su comportamiento en cuanto a sus propiedades físico – mecánico - resistentes.

1.5.2 Objetivos específicos

- Establecer el comportamiento de las propiedades mecánico - resistentes en diferentes ciclos de saturación de humedad.
- 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 con variación de temperaturas.

1.6 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.6.1 Hipótesis

Si se realiza un análisis comparativo en cuanto a mezclas asfálticas convencionales y modificadas entonces se podrá diseñar de forma óptima las mezclas asfálticas y determinar el comportamiento físico-mecánico-resistente cuando están expuestas al daño por diferentes humedades y temperaturas.

1.7 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

1.7.1 Variables independientes:

- Daño por diferentes humedades y temperaturas

1.7.2 Variables dependientes:

- Propiedades físico-mecánico-resistentes de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas

Tabla N°1: Operacionalización de variables

Variables independiente	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor o acción
Daño por condiciones climáticas	Los cambios de temperatura, las fuertes lluvias, aunadas a malos drenajes y poco mantenimiento, exponen la infraestructura del pavimento a deterioros acelerados	Temperatura	25°C	Variación de temperaturas
			40°C	
			50°C	
		Humedad	24 hrs	Incorporación de agua
			48 hrs	
			72 hrs	

Variables dependientes	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor o acción
Propiedades físico-mecánico-resistentes de las mezclas asfálticas	Son las propiedades mecánico resistentes	Marshall	Estabilidad	Determinado en ensayo de laboratorio
			Fluencia	
			Relación de vacíos	
		Peso unitario		
		Tensión Indirecta	Resistencia a la tensión indirecta	Determinado en ensayo de laboratorio

Fuente: Elaboración propia

1.8 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 realizará de las mezclas asfálticas utilizando cemento asfáltico convencional y modificado para poder explicar de qué manera afectará las diferentes condiciones de humedad y temperatura en las mezclas asfálticas en las propiedades mecánico-resistentes de las cuales se estudiará.

1.9 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL

1.9.1 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 y variación de temperaturas.

- 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

1.9.2 Población

El comportamiento de las propiedades mecánico-resistentes se determina mediante los ensayos de laboratorio, observando los cambios producidos cuando son aplicadas diferentes variaciones en cuanto a temperatura, humedad y otros en las mezclas convencionales y modificadas.

El cemento asfáltico convencional BETUPEN PLUS (85-100) y el cemento asfáltico modificado BETUFLEX 60/85 se utilizarán para realizar los ensayos debido a que son de industria del Brasil y proporcionan una buena calidad, son empleados por el Servicio Departamental de Caminos (SEDECA).

1.9.3 Muestra

Variaciones a diferentes humedades y temperaturas adicionadas a las mezclas asfálticas convencionales y modificadas utilizando un mismo agregado.

Los agregados a utilizar son provenientes de la Chancadora Garzón.

1.9.4 Selección de las técnicas de 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 por diferentes temperaturas y humedades en las mezclas asfálticas.

1.9.5 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 el laboratorio de la empresa consultora S.A.H, de esa manera se realizará todos los ensayos que complementen a la investigación.

1.10 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

1.10.1 Método inductivo

La inducción es un razonamiento que analiza una porción de un todo sin duda, además es uno de los métodos más populares a la hora de la investigación científica y del pensamiento, en tanto, su característica más saliente y distintiva es que llega a la obtención de conclusiones o teorías sobre diversos aspectos a través del análisis de casos particulares.

Por esta manera que presenta es que popularmente se dice que el método inductivo consiste en ir de lo particular a lo general.

El trabajo de investigación consiste en realizar una comparación del cemento asfáltico convencional y modificado al ser sometidos a diferentes humedades y temperaturas. además de llevar a cabo los ensayos de laboratorio necesarios para saber la resistencia y el comportamiento de las propiedades mecánicas de las Mezclas Asfálticas, los métodos y las fórmulas para determinar los aspectos recién mencionados tiene que ver con parámetros y metodologías ya establecidas, elaboradas y realizadas en otros tipos de mezclas asfálticas, de esta forma se llegará a la obtención de las conclusiones del trabajo de investigación.

1.10.2 Técnica experimental

Se empleará la técnica experimental, debido a que reúne los medios necesarios de instrumentación y mecanismos adecuados para desarrollar la investigación y obtener los resultados necesarios donde se busca variar los parámetros normales para tal elemento o experiencia y que todavía no ha sido establecido oficialmente como nuevo elemento.

Un experimento siempre supone la práctica de prueba y contraprueba con el fin de obtener nuevas soluciones, posibilidades y elementos que puedan aplicarse a determinadas situaciones. De tal modo, experimental será todo aquello que se cree a modo de búsqueda. Para la realización de mi trabajo de investigación realizare en el laboratorio los ensayos de granulometría, equivalente de arena, durabilidad, peso unitario del agregado grueso y fino, desgaste por medio de la máquina de los ángeles, peso específico y absorción del agregado grueso y del agregado fino, determinación de partículas laminares, chatas y alargadas, ensayo de viscosidad Saybolt-Furol, ensayo de penetración, ensayo punto de

inflamación , ensayo de peso específico, ensayo de punto de ablandamiento , ductilidad , ensayo Marshall y ensayo a tensión indirecta que son técnicas conocidas.

1.11 ALCANCE

El proyecto de investigación considera realizar un análisis comparativo de mezclas asfálticas convencionales 85-100 y modificadas con polímeros BETUFLEX 60-85 en función a diferentes humedades y temperaturas para así determinar su comportamiento en cuanto a sus propiedades físico - mecánico - resistentes. El estudio se centra en determinar las propiedades mecánicas especialmente: Estabilidad, fluencia y la resistencia a la tensión indirecta.

Se establecen los elementos fundamentales para la realización de este trabajo de investigación, por lo que en primera instancia se hará una introducción del tema central, el porqué de esta investigación se detallará en el siguiente punto a través de las justificaciones, luego se procederá a la situación problémica que será la base del desempeño del trabajo de investigación puesto que en él se plasmarán los puntos que a nuestro juicio son de vital importancia para el desarrollo de trabajos relacionados y que hasta el momento no tienen una solución completamente satisfactoria, luego se mencionará el problema, posteriormente se establecerán cuáles son los objetivos, tanto de forma general como específica, luego se estipulará la hipótesis con la que se cuenta para la ejecución de esta investigación, se definirá las variables (dependiente e independiente), posteriormente se realizará el diseño metodológico en donde se presentan los componentes, métodos y técnicas empleadas, procedimiento para el análisis y la interpretación de la información y por último el alcance.

En lo posterior se procederá a realizar los aspectos generales de las mezclas asfálticas así que en la primera instancia se realizará las generalidades del capítulo, luego la definición de mezcla asfáltica convencional y modificada, se mencionará los componentes de la mezcla asfáltica, seguido se realizará los conceptos de asfalto y agregados, y se establecerán los tipos de asfalto.

Posteriormente se realizará los ensayos en laboratorio donde se utilizará la mezcla asfáltica convencional 85-100 y modificada BETUFLEX 60-85 y una vez encontrado el porcentaje óptimo se procederá a realizar los cálculos de la etapa del proyecto los cuales serán plasmados en la tesis. Una vez obtenidas las briquetas con el método de diseño

Marshall por consiguiente las someteremos a diferentes grados de saturación (24 hr, 48 hr, 72 hr) variando las temperaturas(25°C,40°C,50°C) respectivamente, luego se realizarán los ensayos Marshall y tensión indirecta sometiendo las briquetas a compresión para determinar su resistencia.

Con los resultados obtenidos se realizará un análisis comparativo de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas.

Finalmente se establecen las conclusiones y recomendaciones del proyecto, y por último la bibliografía, donde se utilizaron libros, tesis y manuales para la realización del proyecto.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO DE 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. (Construmine,2017, p.1)

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. (Uson, 1999, p.108)

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 máltenos.

Los asfáltenos no se disuelven en el heptano. Los asfáltenos una vez separados de los máltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parece al polvo grueso de grafito. Los asfáltenos le dan al asfalto su color y dureza. (Asopac,2004, p.28)

Los máltenos 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 asfáltenos y las resinas. La proporción de los asfáltenos y máltenos 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. (Icct,2011,p.13)

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. (Maxima,2019, p.1)

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 sólido 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. (Gaspar,2018, p.2)

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 proporciónamiento 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.

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

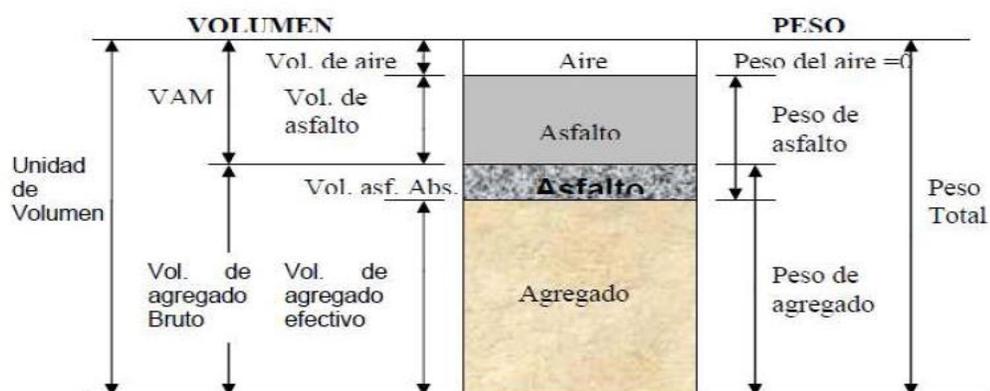
La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor posible (en la realidad) de vacíos; preferiblemente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

Vacíos 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 cuanta 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 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 macro dispersión lograda consta de un sistema de dos fases en donde

- El polímero se dispersa sin ejercer efecto alguno.
- Absorben los aceites máltenos 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 ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS

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 (peso vehicular).

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

2.10 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.

2.11 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

2.12 ENSAYO TENSIÓN INDIRECTA

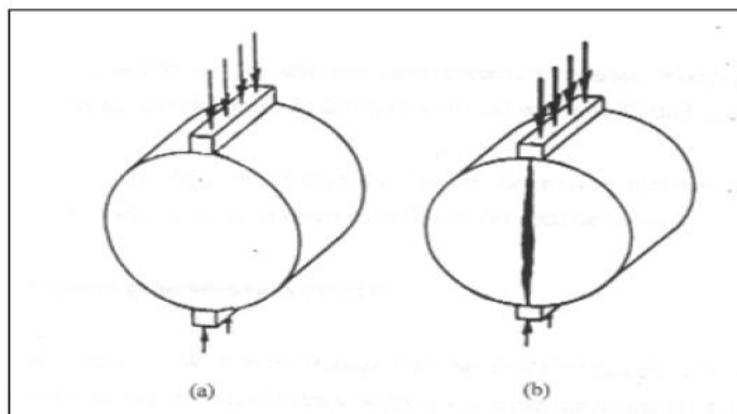
La determinación de la resistencia a Tensión Indirecta en las mezclas asfálticas representa un parámetro mecánico, que puede resultar una herramienta sumamente útil para evaluar la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica, valorando la cohesión de la mezcla, además permitirá complementar 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 N°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 a diferentes temperaturas que resistan las briquetas tanto las fabricadas con mezcla convencional como modificada.

2.13 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 micro estructural aún no se comprenden en su totalidad.

2.13.1 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.

2.14 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 I. 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.

En el 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 que se realice adecuadamente a las normas que se establecen.

2.15 MARCO CONCEPTUAL

2.15.1 Agregado grueso

Se denominará agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (N°4). Para esta investigación debe ser procedente de trituración.

2.15.3 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.

2.15.2 Agregado fino

Se denomina agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75mm(N°4) y 75 µm (N°200). El agregado fino deberá proceder de trituración de piedra de cantera, natural o de fuentes naturales de arena.

2.15.4 Propiedades

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

2.15.5 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.

2.15.6 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.

2.15.7 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.

2.16 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	
Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad	D-4318	T-89/T-90
Cemento asfáltico		
Ensayos	Norma ASTM	Norma AASHTO
Penetración	D-5	T-49
Viscosidad Saybolt-Furol	D-445	T-72
Punto de inflamación	D-92	T-48
Peso específico	D-70	T-43
Punto de ablandamiento	D-36	T-53
Ductilidad	D-113	T-51
Ensayos		
Ensayo Marshall		T 245-97
Ensayo Tensión Indirecta		T 283

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III
RELEVAMIENTO DE LA
INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

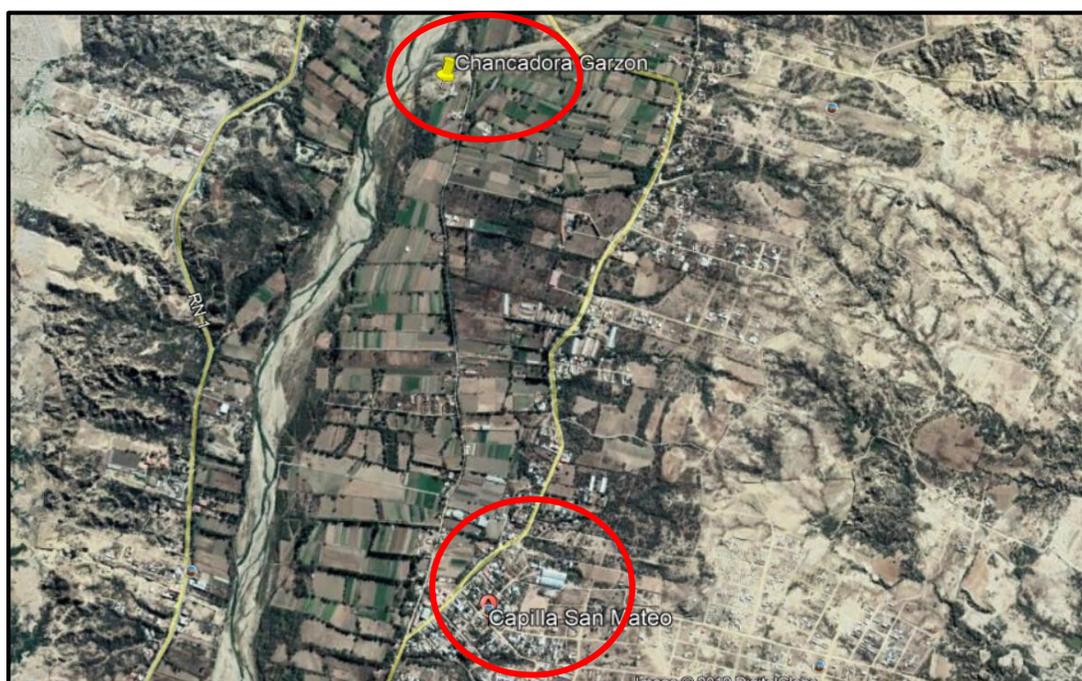
3.1 CRITERIOS A UTILIZARSE

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 utilizará 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 Chancadora Garzón se encuentra a la orilla del río Sella.

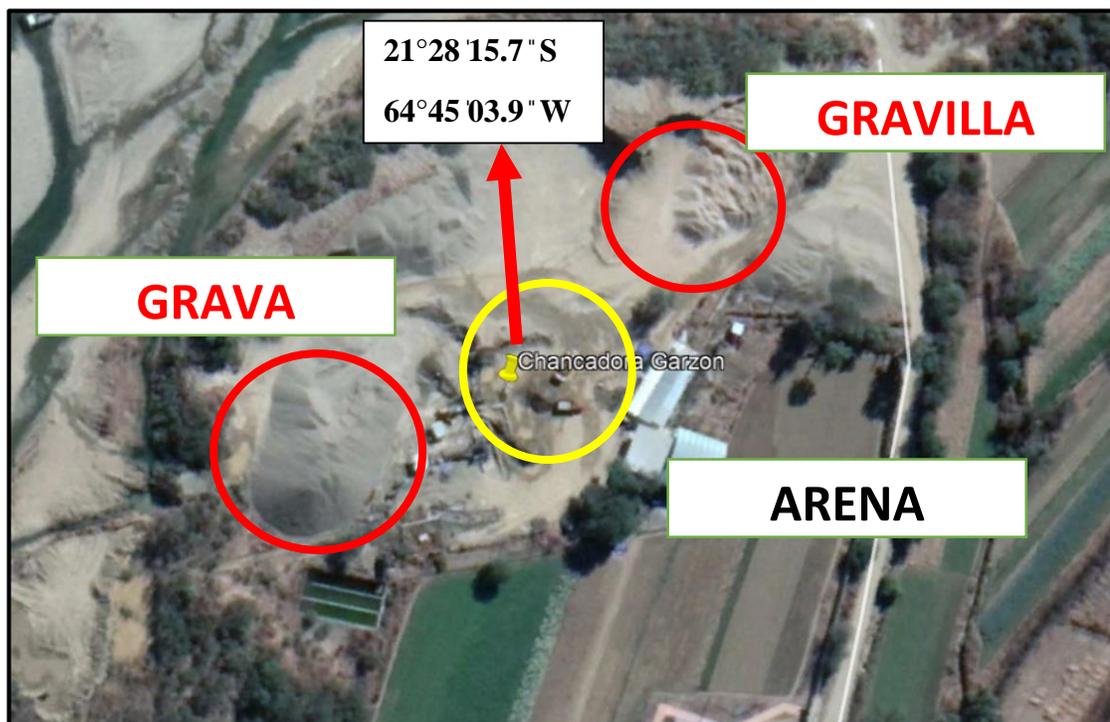
Ubicación del banco de materiales

Figura N°3. Ubicación de la comunidad de San Mateo.



Fuente: <https://www.GoogleEarth.jpg>.

Figura N°4. Coordenadas de la Chancadora Garzón.



Fuente: <https://www.GoogleEarth.jpg>.

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 0 hrs a 24 hrs debido a que se realiza una relación entre las muestras secas y húmedas que deben cumplir la especificación.

En la presente investigación se variará los ciclos de saturación para poder realizar un análisis más detallado a las 24, 48, 72 hrs, 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 a temperaturas de 25, 40, 50 °C.

3.1.3 Criterios de selección de asfalto

El cemento asfáltico convencional BETUPEN PLUS 85-100 y el cemento asfáltico modificado BETUFLEX 60-85 se utilizarán para realizar los ensayos debido a que son de industria Brasileira 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 desglosará 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
Total briquetas elaboradas	15

Fuente: Elaboración propia.

Se realizarán 15 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)
	Mezclas convencionales	6
	24	3
	48	3
	72	3
	Descripción	Cantidad(unidad)
	Mezclas con polimeros	6
	24	3
	48	3
	72	3
Ensayo Tensión Indirecta(Tsr)	Descripción	Cantidad(unidad)
	Mezclas convencionales	6
	24	3
	48	3
	72	3
	Descripción	Cantidad(unidad)
	Mezclas con polimeros	6
	24	3
	48	3
	72	3
TOTAL		60
Briquetas elaboradas para hallar el porcentaje óptimo para CA 85-100 y CA BETUFLEX 60-85		30
Total briquetas elaboradas para los ensayos		90

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 variando las temperaturas de las mezclas elaboradas con cemento asfáltico convencional y modificado elaborados con materiales que se utilizan en la ciudad de Tarija.

3.4 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.4.1 Cemento asfáltico

El cemento asfáltico a utilizarse es el CONVENCIONAL 85-100 y MODIFICADO BETUFLEX 60-85 cuyo distribuidor es una empresa de Brasil la ficha técnica se adjunta en el siguiente cuadro:

Tabla N° 5. 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 inflamación °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 a 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 utilizará un cemento asfáltico con polímeros BETUFLEX 60-85 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° 6. Especificación técnica del cemento asfáltico modificado BETUFLEX 60-85.

Especificaciones			
Ensayos	Método	unid.	especificación
Penetración muestra original (100g, 5s, 25°C)	AASHTO T49	0.1mm	40-70
Punto de ablandamiento	AASTHO T 53	°C	60 min
Punto de inflamación	AASTHO T 48	°C	235

Fuente: Especificación técnica del fabricante.

3.4.2 Ensayo de los agregados

Los materiales componentes de la investigación, son provenientes de la planta Chancadora Garzón ubicada en San Mateo.

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 realizará los ensayos para los agregados pétreos:

- a) Grava 3/4"
- b) Grava 3/8" (Gravilla)
- c) Arena triturada

3.4.3 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 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^{1/2}”, 2”, 1^{1/2}”, 3/4”, 1/2”, 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 N°4, N°10, etc.

A la porción de material agregado que queda retenida en la malla N°10 (esto es, con partículas mayores de 2,00 mm) se le conoce como agregado grueso. Al material que pasa por la malla N°10 pero queda retenido en la malla N°200 (partículas mayores que 0,075 mm) se le conoce como agregado fino. El material que pasa por la malla N°200 se llama fino y corresponde a impurezas, limo y arcilla.

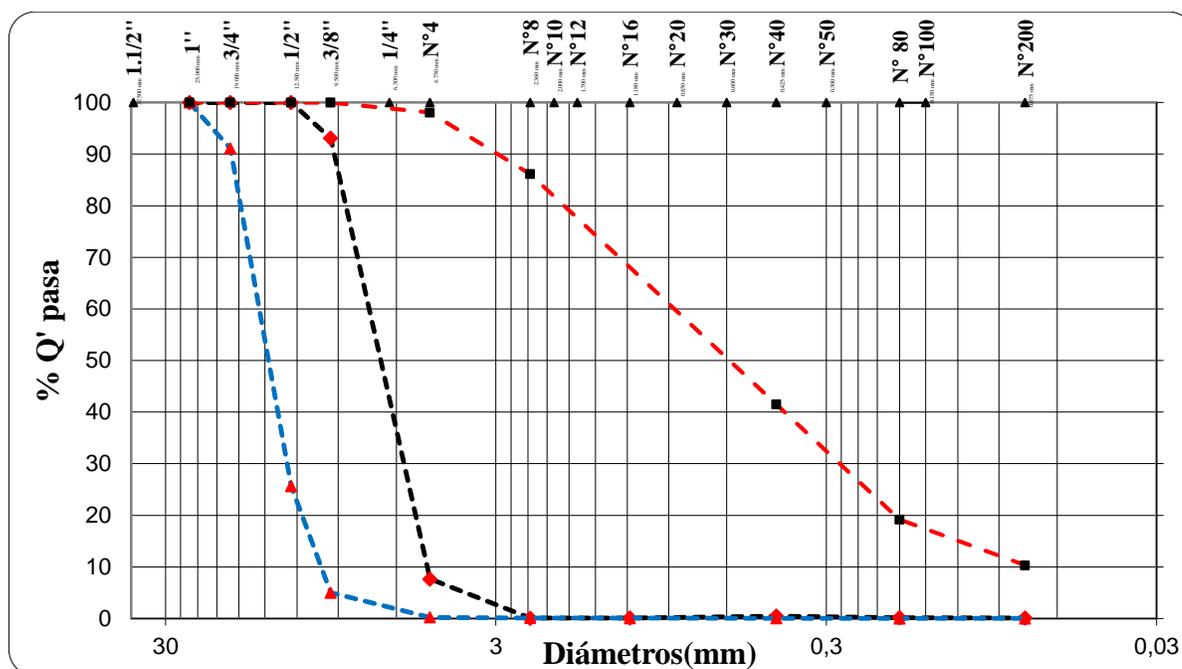
En el método de la (AASHTO T-27) y (ASTM C-136) se dan los procedimientos detallados para ejecutar un análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.

Tabla N°7. Planilla de resultados de las granulometrías de la grava, gravilla y arena del ensayo 1.

Peso Total Seco(gr)	6255		4135		1000	
Tamiz	Grava 3/4		Gravilla 3/8		Arena	
N°	Peso Ret.(gr) Acumulado	% Que Pasa	Peso Ret.(gr) Acumulado	% Que Pasa	Peso Ret.(gr) Acumulado	% Que Pasa
1"	0	100	0	100	0	100
3/4"	556	91,111	0	100	0	100
1/2"	4649	25,675	0	100	0	100
3/8"	5942	5,004	286	93,083	0	100
N° 4	6241	0,224	3818	7,666	19,4	98,059
N° 8	6248	0,112	4132	0,073	138,8	86,120
N° 16	6250	0,080	4130	0,121	207,4	79,264
N° 40	6252	0,048	4115	0,484	584,9	41,508
N° 80	6253	0,032	4128	0,169	808,0	19,200
N° 200	6254	0,016	4130	0,121	896,8	10,320

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 1. Curva granulométrica del agregado



El ensayo de desgaste de los ángeles, ASTM C-131 O AASHTO T-96, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a abrasión. Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores 37.5 mm (1 ½”) y agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4”), por medio de la máquina de los ángeles. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en el manual de la Administradora Boliviana de Carreteras(ABC).

Procedimiento

Figura N°5. Tamizando la muestra por los tamices 3/4”, 1/2” y 3/8”.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6. Vaciando en una bandeja la muestra hasta obtener un peso retenido de 2500 gr.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 7. En una bandeja 2500 gr de peso retenido del tamiz 1/2" y en la otra de 3/8"



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 8. Máquina de los ángeles donde introducimos las muestras de las 2 bandejas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 9. Una vez terminado las 500 revoluciones, hacemos girar la máquina para que salga la muestra desgastada.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 10. Muestra en la bandeja de la máquina de los ángeles.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 11. Tamizando la muestra en el tamiz N°12.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 12. Lavando la muestra para luego meter al horno.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Tabla N° 8. Tabla de los agregados gruesos y el N° de esferas para el desgaste de los Ángeles.

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
Peso total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Número de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 9. 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)		3687
Tipo de gradación "B"		
Diferencia		1313
Número de ensayos realizados		1
Carga abrasiva		11 esferas a 32,5 Rpm 500 revoluciones

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1313\text{gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \mathbf{26.26\%}$$

Tabla N° 10. 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)		3645
Tipo de gradación "C"		
Diferencia		1355
Número de ensayos realizados		1
Carga abrasiva		8 esferas a 32,5 rpm 500 revoluciones

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo:

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

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1355}{5000} * 100$$

% de desgaste = 27.1 %

3.4.5 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 máximos 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° 13. Colocando las muestras en los recipientes para posteriormente colocar el sulfato de sodio.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 11. Datos del ensayo de durabilidad para el agregado grueso.

Granulometría				Peso materiales	
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material (gr)	Antes	Después
N°	Pasa	Ret.		Ensayo(gr.)	Ensayo(gr.)
2"	2"	1"	100,0	0	0
1"	1"	3/4"	97,8	752,5	745,2
3/4"	3/4"	1/2"	81,4	502,5	486,2
1/2"	1/2"	3/8"	74,5	300,2	294,5
3/8"	3/8"	N° 4	51,0	200,7	194,8

Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento de cálculo para el tamiz 1":

Pérdida por diferencia = Peso antes ensayo – Peso después ensayo

$$\text{Pérdida por diferencia} = 752,5 - 745,2$$

Pérdida por diferencia = 7,3gr.

%Pasa al tamiz = % Tamiz Pasa – % Tamiz Ret

$$\% \text{Pasa al tamiz} = 97,8 - 81,4$$

%Pasa al tamiz = 16,4 %

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

$$\% \text{ de pérdida respecto al tamiz} = \frac{7,3}{752,5} * 100\%$$

% de pérdida respecto al tamiz = 0,97%

% de p. r. a la muestra total

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

$$\% \text{ de pérdida respecto a la muestra total} = \frac{0,97}{100} * \frac{16,4}{100} * 100\%$$

% de pérdida respecto a la muestra total = 0,16%

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

Tabla N° 12. 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	7,3	16,4	0,97	0,16
3/4"	16,3	6,9	3,24	0,22
1/2"	5,7	23,5	1,90	0,45
3/8"	5,9	51,0	2,94	1,50
N° 4	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

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

$$\% \text{ Total de pérdida (Grueso)} = 2,33\%$$

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

Granulometría				Peso materiales	
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material (gr)	Antes	Después
N°	Pasa	Ret.		Ensayo(gr.)	Ensayo(gr.)
3/8"	3/8"	N° 4	0	0	0
N° 4	N° 4	N° 8	43,1	100,0	96,5
N° 8	N° 8	N° 40	20,9	100,0	94,2
N° 40	N° 40	N° 80	9,7	100,0	97,8

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° 14. 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
N° 4	3,5	22,2	3,50	0,78
N° 8	5,8	20,9	5,80	1,21
N° 40	2,2	9,7	2,20	0,21

Fuente: Elaboración propia

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

$$\% \text{ Total de pérdida (Fino)} = 2,20\%$$

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

$$\% \text{ Total de pérdida} = 2,33 + 2,20$$

$$\% \text{ Total de pérdida} = 4.53\%$$

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

Objetivos

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 3/4" 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°C a 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 interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergida en agua, a la temperatura de 25°C de temperatura ambiente. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en el manual de la Administración Bolivianas de Carreteras (ABC).

Procedimiento

Figura N° 14. Secado la muestra saturada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 15. Introduciendo la muestra al canastillo para luego obtener el peso de la muestra saturada con superficie seca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 16. Introduciendo el canastillo con la muestra en agua



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 17. Equilibrando la balanza con las pesas para obtener el peso sumergido.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 18. Vaciando la muestra saturada en una bandeja para luego meter al horno.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 19. Obtención del peso seco de la muestra.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Tabla N° 15. Datos del ensayo de peso específico de la grava 3/4".

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. Seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	2945	2996	1845
2	2692	2743	1686

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Grava de 3/4"

$$\text{Peso específico del agregado seco} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico del agregado seco} = \frac{2945}{2996 - 1845}$$

$$\text{Peso específico del agregado seco} = 2,559 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

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

$$\text{P. E. A. Saturado de superficie seca} = \frac{2996}{2996 - 1845}$$

$$\text{P. E. A. Saturado de superficie seca} = 2,603 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{2945}{2945 - 1845}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,677 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{2996 - 2945}{2945} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = 1,73 \%$$

Tabla N° 16. Resultados del ensayo de peso de la grava 3/4".

Muestra N°	Peso específico a granel (gr/cm3)	Peso específico saturado con sup. Seca (gr/cm3)	Peso específico aparente (gr/cm3)	% de absorción
1	2,559	2,603	2,677	1,73
2	2,547	2,595	2,676	1,89
	2,553	2,599	2,677	1,81

Fuente: Elaboración propia.

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

Tabla N° 17. Datos del ensayo se realiza para la gravilla de 3/8”.

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4868,80	5004,60	2994,60
2	4860,00	5002,90	2988,80
3	4865,50	5003,20	2990,60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 18. Resultados del ensayo de peso específico de la gravilla 3/8”.

Muestra N°	Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico saturado con sup. Seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% de absorción
1	2,42	2,49	2,60	2,79
2	2,41	2,48	2,60	2,94
3	2,42	2,49	2,60	2,83
	2,42	2,49	2,60	2,85

Fuente: Elaboración propia.

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

Objetivo

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 2 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 el manual de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

Procedimiento

Figura N° 20. Muestra saturada y puesta en una bandeja grande.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 21. Secando la muestra de arena con secadora.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 22. Introduciendo la muestra en el cono en 3 capas con 25 golpes y enrasando.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 23. Obteniendo el peso de la muestra, vaciando la muestra en el matraz.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 24. Llenando de agua el matraz con la muestra.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 25. Agitando el matraz y vaciando en un plato toda la muestra.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 26. La muestra en el plato listo para meter al horno y pesarla posteriormente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 27. Obtención del peso seco de la muestra.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Tabla N° 19. Datos del ensayo peso específico del agregado fino.

Determinación	Muestra - 1	Muestra - 2
Picnómetro	1	1
Temperatura	25	25
A (peso en el aire de la muestra seca)	494,6 gr	494,2 gr
B (peso muestra saturada con superficie seca)	500,0 gr	500,0 gr
X (peso del picnómetro + agua + muestra)	1174,5 gr	1175,6 gr
J (peso del picnómetro + agua)	864,9 gr	864,9 gr

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

$$\text{Peso específico del agregado seco} = \frac{A}{B - (x - J)}$$

$$\text{Peso específico del agregado seco} = \frac{494,6}{500 - (1174,5 - 864,9)}$$

$$\text{Peso específico del agregado seco} = 2,598 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{P. E. A. Saturado superficial seco} = \frac{B}{B - (x - J)}$$

$$\text{P. E. A. Saturado superficial seco} = \frac{500}{500 - (1174,5 - 864,9)}$$

$$\text{P. E. A. Saturado superficial seco} = 2,626 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - (x - J)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{494,6}{494,6 - (1174,5 - 864,9)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,674 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500 - 494,6}{494,6} * 100\%$$

% de absorción = 1,09%

Para la muestra 2 se realizan el mismo procedimiento.

Tabla N° 20. Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino.

Descripción	Arena ensayo 1	Arena ensayo 2
Peso específico del agregado seco ($\frac{\text{gr}^3}{\text{cm}}$)	2598	2.611
P. E. A. Saturado sup. seco ($\frac{\text{gr}^3}{\text{cm}}$)	2.626	2.641
Peso específico aparente ($\frac{\text{gr}^3}{\text{cm}}$)	2.674	2.693
% de absorción	1.09	1.17

Fuente: Elaboración propia

Se realizó tomar la media de los datos representativos 2,64 gr/cm³.

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

Objetivo

El ensayo de equivalente e arena y agregados finos asigna un valor empírico a las cantidad relativa 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 con respecto del material y tamizado ´por el tamiz N°4 para poder tener la muestra que se utilizará para este ensayo colocarlo en un recipiente. Luego se debe de colocar la muestra que se utilizará 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.

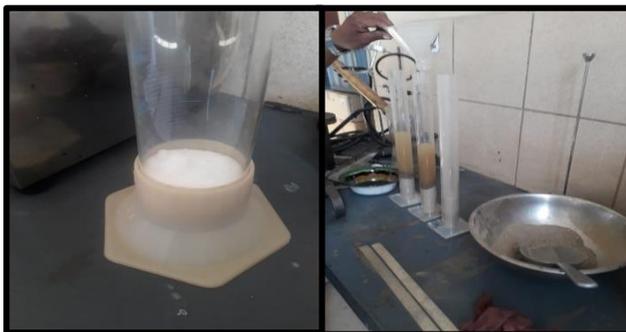
Dejar el cilindro y el contenido en reposo por 20 min ±15s.

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 el manual de la Administración Boliviana de Carreteras (ABC).

Procedimiento

Figura N° 28. Probetas y materiales para el ensayo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 29. Mediante un embudo vierto la muestra de arena en las probetas hasta el límite que indica la probeta.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 30. Las probetas con el defloculante.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 31. Agitando la probeta con el defloculante.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 32. Las tres probetas después de la mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 33. Llenamos con agua las 3 probetas hasta el límite superior.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 34. Mezclando toda la muestra con agua y el defloculante.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 35. Introduciendo el pisón para compactar.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 36. Verificando como quedo después del apisonamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Tabla N° 21. Datos del ensayo de equivalente de arena.

Ensayo	Lecturas		
Ensayo N°	1	2	3
Lectura nivel superior	154,94	152,4	157,48
Lectura nivel inferior	86,36	81,28	86,36
Número de ensayos realizados	3		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos

Utilizaremos el promedio para realizar los cálculos:

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

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{86,36}{154,94} * 100$$

$$\text{Equivalente de arena} = 55,7\%$$

Tabla N° 22. Resultados del ensayo equivalente de arena.

Descripción	Ensayo		
	1	2	3
% de arena	55,7	53,3	54,8
Promedio	54,6 %		

Fuente: Elaboración propia.

3.4.9 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 manual de la Administración Boliviana de Carreteras (ABC).

Figura N° 37. Separando las muestras para la realizar el ensayo.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 23. Datos de ensayo de caras fracturadas.

Descripción		Unidad	Lecturas
Grava 3/4"	Peso total de muestra	gr.	1000
	Peso de caras fracturadas retenidas	gr.	781,5
Gravilla 3/8"	Peso total de muestra	gr.	500
	Peso de caras fracturadas retenidas	gr.	392,7
Número de ensayos		1	

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

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

Peso caras no fracturadas=1000-781,5

Peso caras no fracturadas=218,5[gr.]

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

Porcentaje de caras fracturadas= $\frac{781,5}{1000} * 100\%$

Porcentaje de caras fracturadas=78,15%

Tabla N° 24. Resultados del ensayo de caras fracturadas.

Descripción		Unidad	Lecturas
Grava 3/4"	Peso de caras no fracturadas	gr.	218,5
	Porcentaje de caras fracturadas	%	78,2
Gravilla 3/8"	Peso de caras no fracturadas	gr.	392,7
	Porcentaje de caras fracturadas	%	78,5

Fuente: Elaboración propia

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

Objetivo

Este ensayo describe el procedimiento para la determinación de los porcentajes de los agregados. Los aparatos y procedimientos para la determinación de los porcentajes de los agregados. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en el manual de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

Resultados

Tabla N° 25. Datos del ensayo partículas laminares.

Material	Peso total de la muestra	Peso retenido de partículas laminares
3/4" (grava)	1050,7 gr	38,5 gr
3/8" (gravilla)	1000 gr	58,4 gr

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo

$$\% \text{ total de partículas laminares} = \frac{\text{Peso retenido partículas laminares}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100\%$$

$$\% \text{ total de partículas laminares} = \frac{38,5}{1000} * 100\%$$

$$\% \text{ total de partículas laminares} = \mathbf{3,66\%}$$

Tabla N° 26. Resultados del ensayo.

Material	% Total de partículas laminares
3/4"	3,66%
3/8"	5,84%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 27. Datos del ensayo chatas alargadas.

Material	Peso total de la muestra	Peso retenido de partículas laminares
3/4"	1000 gr	43,80 gr
3/8"	1000 gr	20,70 gr

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo

$$\% \text{ T. d. P Chatas y alargadas} = \frac{\text{Peso retenido partículas chatas y alargadas}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100\%$$

$$\% \text{ T. d. P Chatas y alargadas} = \frac{43,80}{1000} * 100\%$$

$$\% \text{ T. d. P Chatas y alargadas} = \mathbf{4,38\%}$$

Tabla N° 28. Resultados del ensayo chatas y alargadas.

Material	% Total de partículas laminares
3/4"	4,38%
3/8"	2,07%

Fuente: Elaboración propia.

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:

3.4.11 Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol (AASHTO T-84) (ASTM E-102)

Objetivo

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 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 toar 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 el manual de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

Procedimiento

Figura N° 38. Equipo de viscosidad Saybolt-Furol.



Fuente: Elaboración

Figura N° 39. Controlando con el termómetro que la temperatura llegue a 50°C.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 40. Los corchos puestos en el tubo de viscosidad.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 41. Poniendo los 2 frascos recibidor.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 42. El cemento asfáltico en el tubo de viscosidad.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 43. Se retiró el tapón de corcho y se controla el tiempo hasta que llegue a la marca de aforo.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Tabla N° 29. Datos del ensayo de viscosidad del cemento asfáltico convencional 85-100.

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C AASHTO T-72	Seg.	117	125
Número de ensayos realizados		2	

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados:

Resultados: **121 segundos**

NOTA: PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO BETUFLEX 60-85 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.

3.4.12 Ensayo de penetración (AASHTO T49-97) (ASTM D-5)

Objetivo

La penetración se define como la distancia, expresada en decimas 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 segundos 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 coloca en el baño María por una hora a 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 decimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en el manual de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

Procedimiento

Figura N° 44. Equipo de penetración.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 45. Muestras del residuo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 46. Baño de agua a 25°C.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Tabla N° 30. Datos del ensayo de penetración del cemento asfáltico 85-100..

Descripción		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Penetración a 25°C, 100g. 5seg.(0,1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	0,1mm	92	89
	Lectura N°2	0,1mm	94	93
	Lectura N°3	0,1mm	90	91
Promedio		0,1mm	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 91,5 (0,1mm) a 25°C, 100 gr. 5 seg.

Tabla N° 31. Datos del ensayo de penetración del cemento asfáltico BETUFLEX 60-85.

Descripción		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Penetración a 25°C, 100g. 5seg.(0,1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	0,1mm	52	50
	Lectura N°2	0,1mm	53	54
	Lectura N°3	0,1mm	52	52
Promedio		0,1mm	52,3	52
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 52,2 (0,1mm) a 25°C, 100gr. 5seg.

3.4.13 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° 47. Punto de inflamación en proceso de ejecución.



Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos:

Tabla N° 32. Datos del ensayo de punto de inflamación-cemento asfáltico 85-100.

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	242	250
Número de ensayos realizados	2		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados.

Resultado: 246°C.

Tabla N° 33. Datos del ensayo de punto de inflamación del cemento asfáltico
BETUFLEX 60-85.

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	310	304
Número de ensayos realizados	2		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados.

Resultado: 307°C

3.4.14 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° 34. Datos del ensayo de peso específico cemento asfáltico 85-100.

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Peso picnómetro	gr.	34,82	34,8
Peso picnómetro + agua (25°C)	gr.	67,88	67,9
Peso picnómetro + muestra	gr.	55,61	54,4
Peso picnómetro + agua + muestra	gr.	68,06	68,1
Número de ensayos realizados	2		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo:

Peso específico del cemento asfáltico =

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

$$\text{Peso esp. del CA.} = \frac{55,61\text{gr}}{((67,88\text{gr}) + 55,61\text{gr} - 34,82\text{gr}) - (68,06)} * 0,997077$$

$$\text{Peso esp. del CA.} = 1,006 \text{ gr/cm}^3$$

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=1,007 gr/cm³

Datos obtenidos:

Tabla N° 35. Datos del ensayo de peso específico cemento asfáltico BETUFLEX 60-85.

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Peso picnómetro	gr.	34,8	34,8
Peso picnómetro + agua (25°c)	gr.	67,88	67,9
Peso picnómetro + muestra	gr.	54,25	54,4
Peso picnómetro + agua + muestra	gr.	68,16	68,1
Número de ensayos realizados	2		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo:

Peso específico del cemento asfáltico =

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

$$\text{Peso esp. del CA.} = \frac{54,25\text{gr}}{((67,88\text{gr})+54,25\text{gr}-34,8\text{gr})-(68,16)} * 0,997077$$

$$\text{Peso esp. del CA.} = 1,012 \text{ gr/cm}^3$$

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=1,010 gr/cm³

3.4.15 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° 36. Datos obtenidos del ensayo punto de ablandamiento
cemento asfáltico 85-100.*

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de ablandamiento	°C	48	50

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 49°C.

*Tabla N° 37. Datos obtenidos del ensayo punto de ablandamiento
cemento asfáltico BETUFLEX 60-85.*

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de ablandamiento	°C	65	67

Fuente: Elaboración propia

Cálculo: Se realizó a proceder a tomar un promedio de ambas muestras de manera de obtener un resultado más claro del ensayo 66°C.

Figura N° 48. Soporte de anillos.



Fuente: Elaboración propia

3.4.16 Ensayo de ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T 51-00)

Objetivo

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm, a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de la forma descrita en 1 se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y a una velocidad de $5\text{cm}/\text{min} \pm 5\%$. Para otras temperaturas debería especificarse la velocidad.

Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo se describen con detalle en los métodos AASHTO T51 y ASTM D113.

Figura N° 49. Armado de los moldes y colocado de glicerina con maicena.



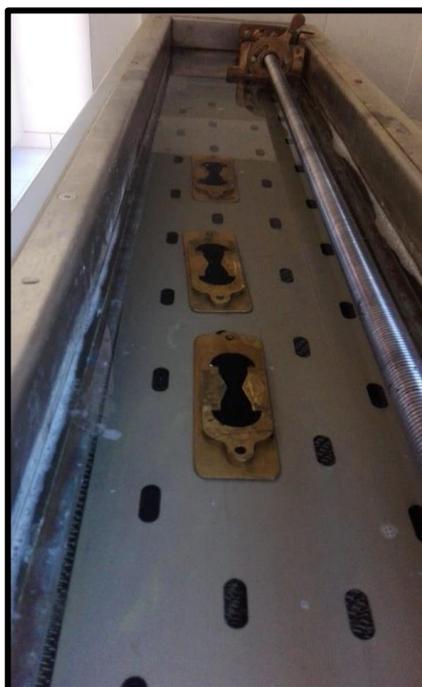
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 50. Colocar el cemento asfáltico en los moldes dejando por 30 minutos secando.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 51. Enrasar y posteriormente dejarlo en el agua por 30 minutos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 52. Encender el equipo y ver cuánto es la marcación en la regla cuando caiga al estirarse el ligante del cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 38. Datos del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico 85-100.

Descripción	Molde 1 (cm)	Molde 2 (cm)
Ductilidad, 25°C, 5cm/min	105	110
Promedio (cm)	107,5	
N° de ensayos	2	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 39. Datos del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico BETUFLEX 60-85.

Descripción	Molde 1 (cm)	Molde 2 (cm)
Ductilidad, 25°C, 5cm/min	143	146
Promedio (cm)	144,5	
N° de ensayos	2	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
DISEÑO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS

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° 40. 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%	26,6%	C-131
	Gravilla 3/8"	-	40%	27,1%	
Durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración	Grava; Gravilla	-	12%	2,33%	C-88
	Arena	-	12%	2,12%	
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	Grava 3/4"	-	-	1,81gr/cm ³	C-127
	Gravilla 3/8"	-	-	2,618gr/cm ³	C-127
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	Arena	-	-	2,64 gr/cm ³	C-128
Equivalente de arena		45%	-	54,6%	D-2419
Porcentaje de caras fracturadas	Grava 3/4"	75%	-	78,2%	D-5821
	Gravilla 3/8"	75%	-	78,5%	
Porcentaje de agregados chatas y alargadas	Grava 3/4"	-	10%	4,38%	D 4791
	Gravilla 3/8"	-	10%	2,07%	

Laminaridad	Grava 3/4"	-	15%	3,66%	
	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° 41. Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico 85-100.

Ensayo	Especificación		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Peso específico	1	1,05	1,006 gr/cm ³	ASTM D-70
Punto de ablandamiento	43	53	49 °C	ASTM D-36
Punto de inflamación	232	-	246 °C	ASTM D-92
Penetración	85	100	91,5 (0,1mm)	ASTM D-5
Viscosidad Saybolt-Furol	100	-	121 seg	ASTM D-102
Ductilidad	100	-	107,5cm	ASTM D-113

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 42. Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico BETUFLEX 60-85.

Ensayo	Especificación		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Peso específico	1	1,05	1,010 gr/cm ³	ASTM D-70
Punto de ablandamiento	60	-	66 °C	ASTM D-36
Punto de inflamación	232	-	307 °C	ASTM D-92
Penetración	40	70	52,2(0,1mm)	ASTM D-5
Ductilidad	100	-	144,5cm	ASTM D-113

Fuente: Elaboración propia

4.2 DOSIFICACIÓN DE MATERIALES PÉTREOS

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 Garzon, 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 BETUFLEX 60-85 lo cual se desarrolló en los laboratorios de la empresa consultora S.A.H , se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 25% de agregado grueso de 3/4", 25% de grava de 3/8" y 50% de agregado fino para la granulometría de la mezcla, los cuales cumplen con las especificaciones del manual de la administradora Boliviana de carreteras (ABC), por lo q se da por aceptado los factores de combinación.

Tabla N° 43. Requisitos de graduación para la mezcla.

Tamiz	Gradación de los agregados			
	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D
2"	100	-	-	-
1 ^{1/2}	97 - 100	100	-	-
1"	-	97 - 100	100	-
3/4"	66 - 80(5)	-	97 - 100	100
1/2 "	-	-	76 - 88(5)	97 - 100
3/8"	48 - 60(6)	53 - 70(6)	-	-
N°4	33 - 45(5)	40 - 52(6)	49 - 59(7)	57 - 69(6)
N°8	25 - 33(4)	25 - 39(4)	36 - 45(6)	41 - 49(6)
N°40	9 - 17(3)	10 - 19(3)	14 - 22(3)	14 - 22(3)
N°200	3 - 8(2)	3 - 8(2)	3 - 7(2)	3 - 8(2)
Bitumen soluble en CS ₂ (+)%	4,0 - 7,0	4,5 - 7,5	4,5 - 9,0	4,5 - 9,0

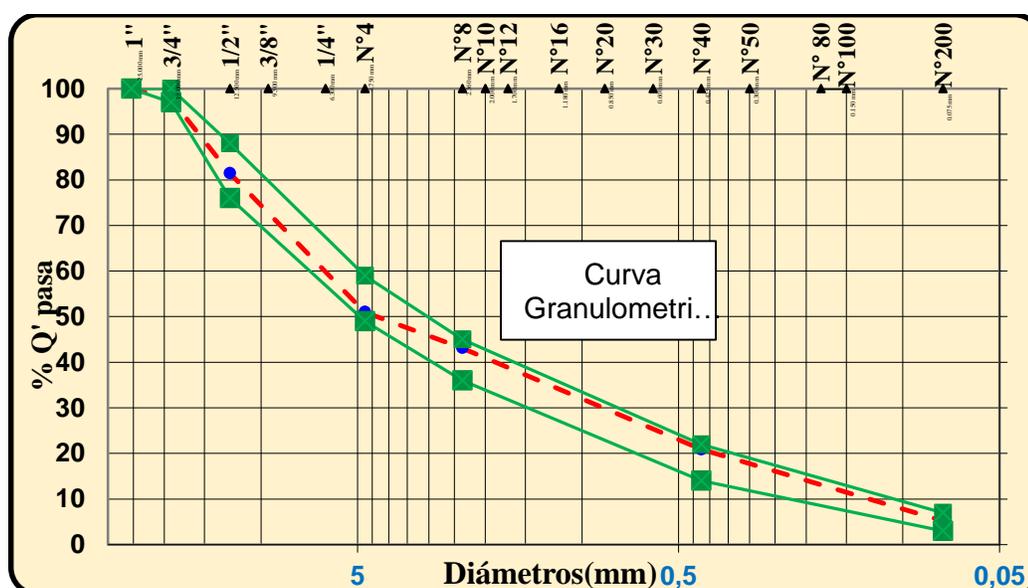
Fuente: Especificaciones técnicas generales de construcción ABC.

Tabla N° 44. Dosificación de materiales pétreos.

Agregados		Grava 3/4		Gravilla 3/8		Arena		% que pasa	Tolerancias (+/-)	Faja		
% Usado		25%		25%		50%				Especif. Grad. Media	Inf.	Sup.
Tamices		% total	% comb.	% total	% comb.	% total	% comb.					
Pulg	mm.							Inf.	Sup.			
1"	25,4	100,0	25,0	100,0	25,0	100,0	50,0	100,0	0%	100	100	
3/4"	19,1	91,1	22,8	100,0	25,0	100,0	50,0	97,8	0%	97	100	
1/2"	12,5	25,7	6,4	100,0	25,0	100,0	50,0	81,4	5%	76	88	
3/8"	9,50	5,0	1,3	93,1	23,3	100,0	50,0	74,5				
N°4	4,75	0,2	0,1	7,7	1,9	98,1	49,0	51,0	7%	49	59	
N°8	2,36	0,1	0,0	0,1	0,0	86,1	43,1	43,1	5%	36	45	
N°16	1,18	0,1	0,0	0,1	0,0	79,3	39,6	39,7				
N°40	0,425	0,0	0,0	0,5	0,1	41,5	20,8	20,9	3%	14	22	
N°80	0,18	0,0	0,0	0,2	0,0	19,2	9,6	9,7				
N°200	0,075	0,0	0,0	0,1	0,0	10,3	5,2	5,2	2%	3	7	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 2. 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 15 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 = % Pasante tamiz N°8.

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

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

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

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

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

Proceso de cálculo:

$$a = 51,7 \%$$

$$b = 40,7 \%$$

$$c = 6,2 \%$$

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 trabajarán en las diferentes dosificaciones con los siguientes porcentajes: 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% y 6,5%.

Primera dosificación con 4,5% de contenido de asfalto.

Tabla N° 45. Dosificación con cemento asfáltico de 4,5%.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. en tamiz	4,50%	
				Peso parcial	Peso acumulado
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	97,8	2,2	2,2	25,5	25,5
1/2"	81,4	18,6	16,4	187,5	212,9
3/8"	74,5	25,5	6,9	79,0	292,0
N°4	51,0	49,0	23,5	269,5	561,5
N°10	43,1	56,9	7,9	90,5	652,0
N°16	39,7	60,3	3,4	39,2	691,2
N°40	20,9	79,1	18,8	215,4	906,6
N°80	9,7	90,3	11,2	128,8	1035,4
N°200	5,2	94,8	4,5	51,1	1086,5
Filler	0	100,0	5,2	59,5	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.

Primera dosificación con 5,0% de contenido de asfalto.

Tabla N° 46. Dosificación con cemento asfáltico de 5,0%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. en tamiz	5,0%	
				Peso parcial	Peso acumulado
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	97,8	2,2	2,2	25,3	25,3
1/2"	81,4	18,6	16,4	186,5	211,8
3/8"	74,5	25,5	6,9	78,6	290,5
N°4	51,0	49,0	23,5	268,1	558,6
N°10	43,1	56,9	7,9	90,0	648,6
N°16	39,7	60,3	3,4	39,0	687,6
N°40	20,9	79,1	18,8	214,3	901,9
N°80	9,7	90,3	11,2	128,1	1030,0
N°200	5,2	94,8	4,5	50,8	1080,8
Filler	0	100,0	5,2	59,2	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.

Primera dosificación con 5,5% de contenido de asfalto.

Tabla N° 47. Dosificación con cemento asfáltico de 5,5%.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. en tamiz	5,5%	
				Peso parcial	Peso acumulado
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	97,8	2,2	2,2	25,2	25,2
1/2"	81,4	18,6	16,4	185,5	210,7
3/8"	74,5	25,5	6,9	78,2	288,9
N°4	51,0	49,0	23,5	266,7	555,6
N°10	43,1	56,9	7,9	89,5	645,2
N°16	39,7	60,3	3,4	38,8	684,0
N°40	20,9	79,1	18,8	213,1	897,1
N°80	9,7	90,3	11,2	127,4	1024,6
N°200	5,2	94,8	4,5	50,5	1075,1
Filler	0	100,0	5,2	58,9	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.

Primera dosificación con 6,0% de contenido de asfalto.

Tabla N° 48. Dosificación con cemento asfáltico de 6,0%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. en tamiz	6,0%	
				Peso parcial	Peso acumulado
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	97,8	2,2	2,2	25,1	25,1
1/2"	81,4	18,6	16,4	184,5	209,6
3/8"	74,5	25,5	6,9	77,8	287,4
N°4	51,0	49,0	23,5	265,3	552,7
N°10	43,1	56,9	7,9	89,1	641,8
N°16	39,7	60,3	3,4	38,6	680,4
N°40	20,9	79,1	18,8	212,0	892,4
N°80	9,7	90,3	11,2	126,8	1019,1
N°200	5,2	94,8	4,5	50,3	1069,4
Filler	0	100,0	5,2	58,6	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.

Primera dosificación con 6,5% de contenido de asfalto.

Tabla N° 49. Dosificación con cemento asfáltico de 6,0%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. en tamiz	6,5%	
				Peso parcial	Peso acumulado
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	97,8	2,2	2,2	24,9	24,9
1/2"	81,4	18,6	16,4	183,5	208,5
3/8"	74,5	25,5	6,9	77,4	285,9
N°4	51,0	49,0	23,5	263,9	549,8
N°10	43,1	56,9	7,9	88,6	638,3
N°16	39,7	60,3	3,4	38,4	676,8
N°40	20,9	79,1	18,8	210,9	887,6
N°80	9,7	90,3	11,2	126,1	1013,7
N°200	5,2	94,8	4,5	50,0	1063,7
Filler	0	100,0	5,2	58,3	1122,0
Peso total=				1128,0	
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.

4.4 ENSAYO DE VISCOSIDAD VS TEMPERATURA PARA LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVENCIONALES.

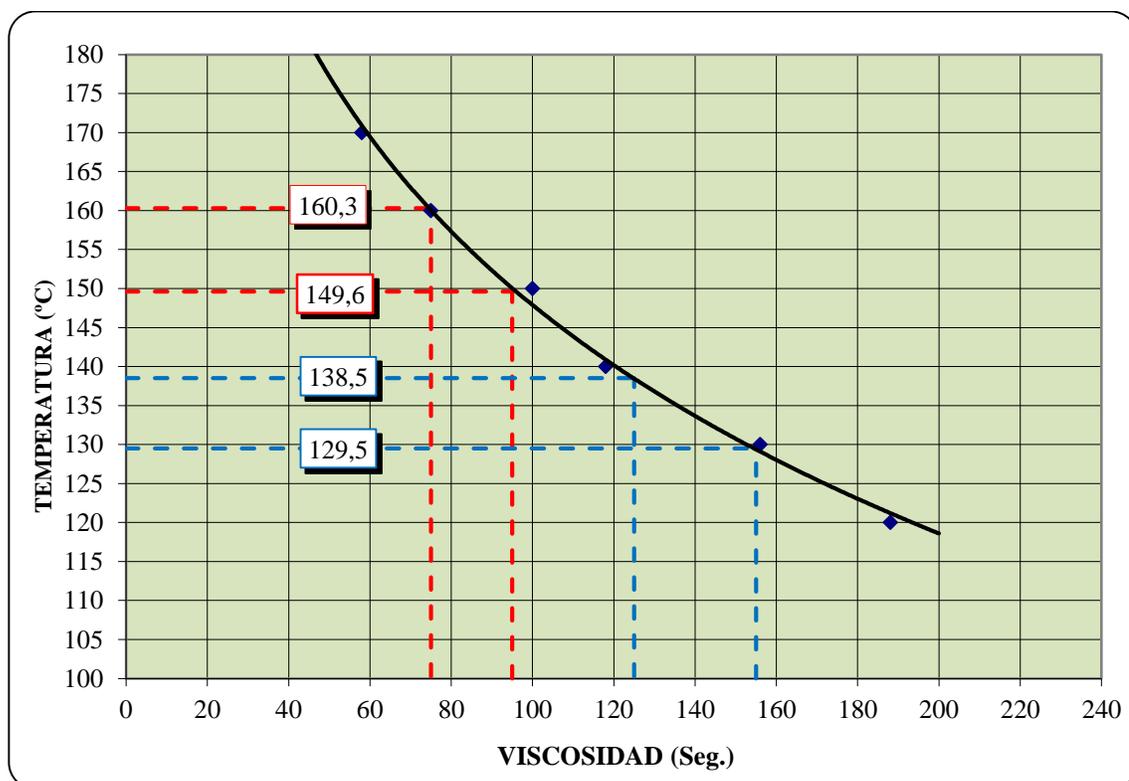
Este ensayo consiste en variar las temperaturas del cemento asfáltico para poder conocer la temperatura de aplicación y compactación de las briquetas que se realizará.

Tabla N° 50. Variaciones de temperatura y viscosidad

Viscosidad Saybol Furol	
Temperatura (°C)	Viscosidad (Seg.)
120	188
130	156
140	118
150	100
160	75
170	58

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3. Gráfico 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 75-95 Saybolt-Furol.

Temperatura 150 y 160 °C

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

Temperatura 130 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.

4.5 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 BETUFLEX 60-85

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 bandejas 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° 53. 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 cemento asfáltico caliente, hasta completar el peso total de agregados más asfalto calculado para un porcentaje de la mezcla total.

Figura N° 54. 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° 55. 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 al 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° 56. 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.

Figura N° 57. Extracción de la briqueta mediante un gato hidráulico



Fuente: Elaboración propia

4.6 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 $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($140 \pm 1.8^{\circ}\text{F}$) durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos.

Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas. La temperatura de las mismas se debe mantener entre 21°C y 38°C (70 a 100°F). Si es inferior, deberán calentarse en baño de agua hasta alcanzar la temperatura indicada. Se lubrican las varillas de guía con una película delgada de aceite de tal forma que la mordaza superior deslice fácilmente sin pegarse. Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que 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 mm por minuto ($2''$ / minuto) hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para

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

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

Figura N° 58. Midiendo las alturas de las briquetas con un vernier.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 59. Determinando el peso de las briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 60. Ensayo Marshall de estabilidad y fluencia.



Fuente: Elaboración propia

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

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

4.7.1 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 tomará en cuenta la enumeración de las briquetas: B1, B2 y B3 para el porcentaje del cemento asfáltico 85-100.

4.7.2 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° 51. Alturas medidas de cada briqueta.

Identificación	Alturas (cm)	Promedio de alturas (cm)
B1	6,34	6,33
	6,32	
	6,33	
	6,33	
B2	6,38	6,40
	6,42	
	6,41	
	6,39	
B3	6,33	6,32
	6,31	
	6,32	
	6,32	

Fuente: Elaboración propia

4.7.3 Base de mezcla y agregado.

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

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

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

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

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

4.7.4 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° 52. Peso al aire de las briquetas.

Identificación	Peso briketa en el aire (gr)
B1	1193,5
B2	1190,0
B3	1196,0

Fuente: Elaboración propia

4.7.5 Peso de briketa en el aire saturado superficialmente seco (S.S.S.)

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

Tabla N° 53. Peso briketa saturada superficialmente seca.

Identificación	Peso briketa en el aire S.S.S. (gr)
B1	1195,9
B2	1193,0
B3	1199,5

Fuente: Elaboración propia

4.7.6 Peso de briketa sumergida en el agua.

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

Tabla N° 54. Peso briketa sumergida en agua.

Identificación	Peso briketa sumergida en agua (gr)
B1	671,5
B2	668,0
B3	673,5

Fuente: Elaboración propia

4.7.7 Volumen de la briketa.

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

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

Vol. de briketa=1195,9-671,5

Vol. de briketa=524,4 [gr]

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

$$\text{Vol. de briqueta} = 524,4 \text{ [cm}^3\text{]}$$

4.7.8 Densidad de la briqueta.

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

4.7.9 Densidad real de la briqueta.

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

$$\text{Densidad real} = \frac{1193,5 \text{ gr}}{524,4 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad real} = 2,276 \text{ [gr/cm}^3\text{]}$$

4.7.10 Densidad máxima teórica de la briqueta.

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

$$\text{Densidad máx T} = \frac{100}{\frac{4,5}{1,007} + \frac{100 - 4,5}{2,66}}$$

$$\text{Densidad máx T} = 2,477 \text{ [gr/cm}^3\text{]}$$

4.7.11 Porcentaje de vacíos.

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

4.7.12 Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv).

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

$$V_v = \frac{2,477 - 2,272}{2,477} * 100\%$$

$$V_v = 8,27\%$$

4.7.13 Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM).

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

$$VAM = \frac{4,5 * 2,272}{1,007} + 8,27$$

$$VAM = 18,43\%$$

4.7.14 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV).

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

$$RBV = \frac{18,43 - 8,27}{18,43} * 100\%$$

$$RBV = 55,10\%$$

4.7.15 Estabilidad y fluencia.

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

Tabla N° 55. Datos del ensayo de estabilidad y fluencia.

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad	Fluencia (plg.)
B1	73	190
B2	68	229
B3	66	178

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° 56. Estabilidad real.

Identificación	Estabilidad (lb)		
	Lectura dial	Real	Promedio
B1	73	1800,9	1702,2
B2	68	1677,5	
B3	66	1628,2	

Fuente: Elaboración propia

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

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

Donde:

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

Tabla N° 57. Alturas promedio y factor de corrección por altura.

Identificación	Promedio de alturas (cm)	Factor de corrección por altura	Promedio del factor de corrección
B1	6,33	1,005	1,000
B2	6,40	0,988	
B3	6,32	01,008	

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

Tabla N° 58. Estabilidad corregida.

Identificación	Estabilidad real promedio (lb)	Promedio del factor de corrección	Estabilidad corregida (lb)
B1	1702,2	1,000	1702,2
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° 59. Corrección de fluencia.

Identificación	Lectura dial	Fluencia 1/100	Promedio
	Fluencia (plg.)		
B1	190	7,5	7,83
B2	229	9,0	
B3	178	7,0	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 60. Resultados de la estabilidad y fluencia.

Identificación	Estabilidad		Fluencia	
	Real	Promedio	1/100	Promedio
B1	1800,9	1702,2	7,5	7,83
B2	1677,5		9,0	
B3	1628,2		7,0	

Fuente: Elaboración propia

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

A continuación se muestra las planillas de resultados:

Tabla N° 61. 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 (V.v)	% Vacíos de agregado (V.A.M)	% Vacíos llenos de asfalto (R.B.V)	Estabilidad corregida promedio (lb)	Fluencia 1/100 promedio
4,5	B1	6,33	2,272	8,27	18,43	55,10	1702,2	7,83
	B2	6,40						
	B3	6,32						
5,0	B4	6,36	2,287	6,97	18,32	61,97	1935,2	9,17
	B5	6,35						
	B6	6,42						
5,5	B7	6,41	2,312	5,25	17,87	70,64	2104,9	11,17
	B8	6,32						
	B9	6,37						
6,0	B10	6,39	2,321	4,17	18,00	76,83	2020,9	13,83
	B11	6,30						
	B12	6,37						
6,5	B13	6,39	2,321	3,43	18,41	81,38	1690,6	16,43
	B14	6,34						
	B15	6,35						

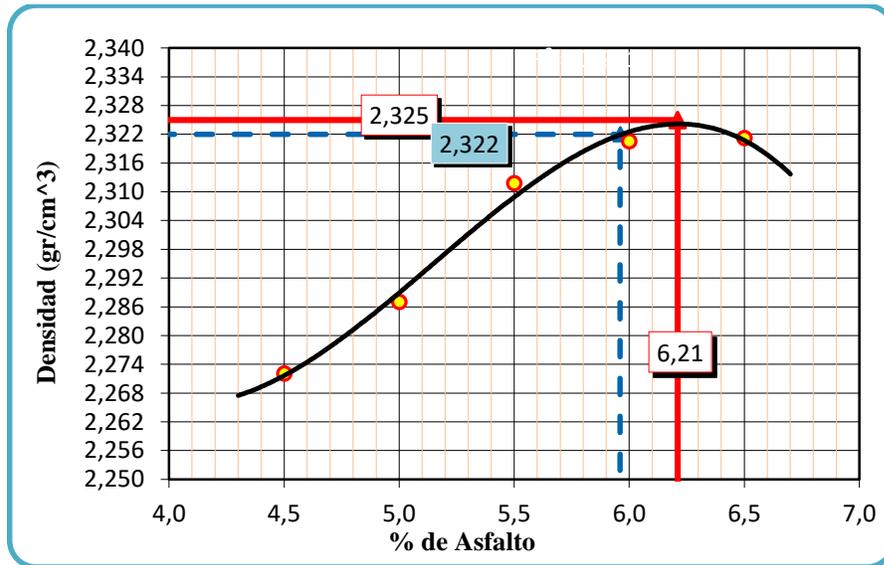
Fuente: Elaboración propia

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.

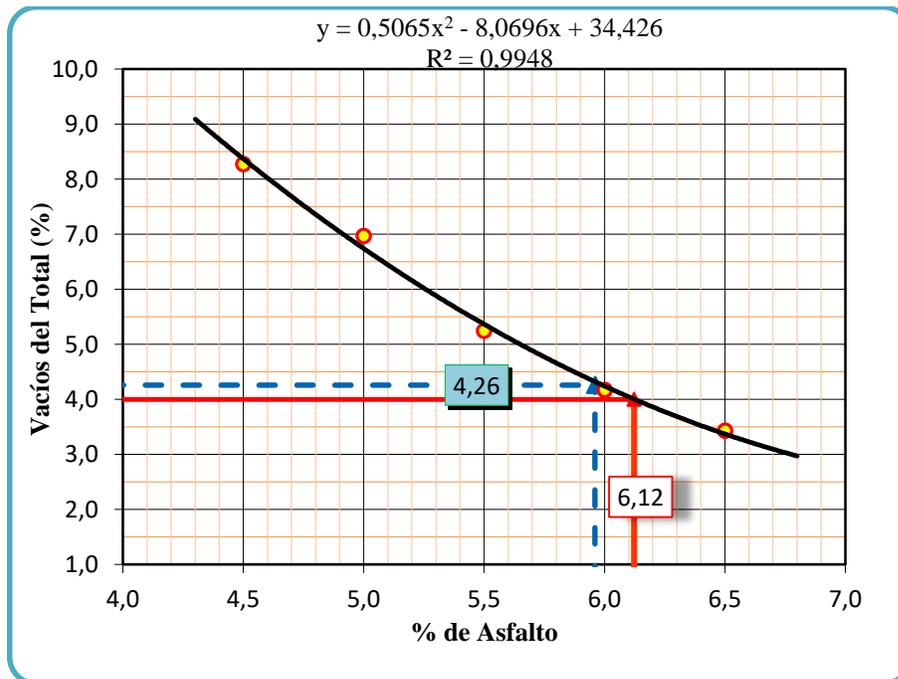
- Porcentaje de asfalto vs. Vacíos de agregado mineral (VAM)
- Porcentaje de asfalto vs. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV).
- Porcentaje de asfalto vs. Estabilidad corregida.
- Porcentaje de asfalto vs. Fluencia (flujo).

Figura N°61. Porcentaje de asfalto vs densidad de la briqueta.



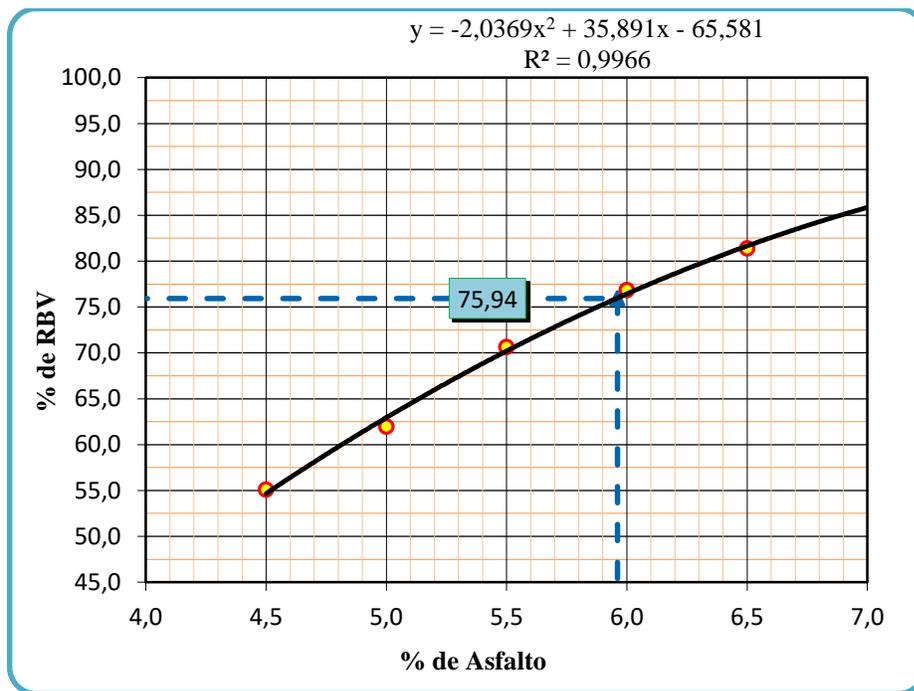
Fuente: Elaboración propia

Figura N°62. Porcentaje de asfalto vs vacíos de la mezcla (Vv).



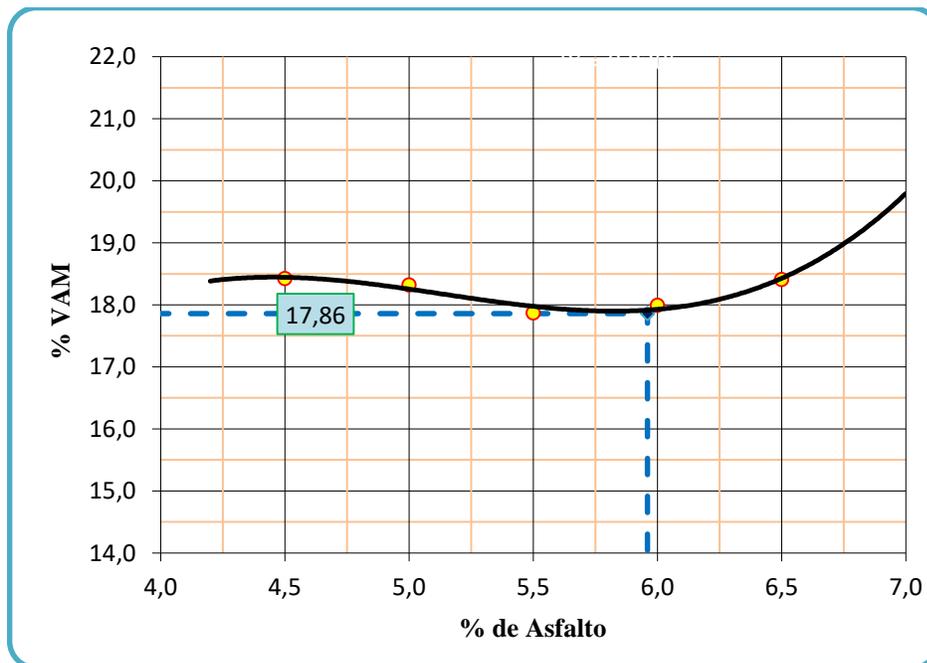
Fuente: Elaboración propia

Figura N°63. Porcentaje de asfalto vs R.B.V.



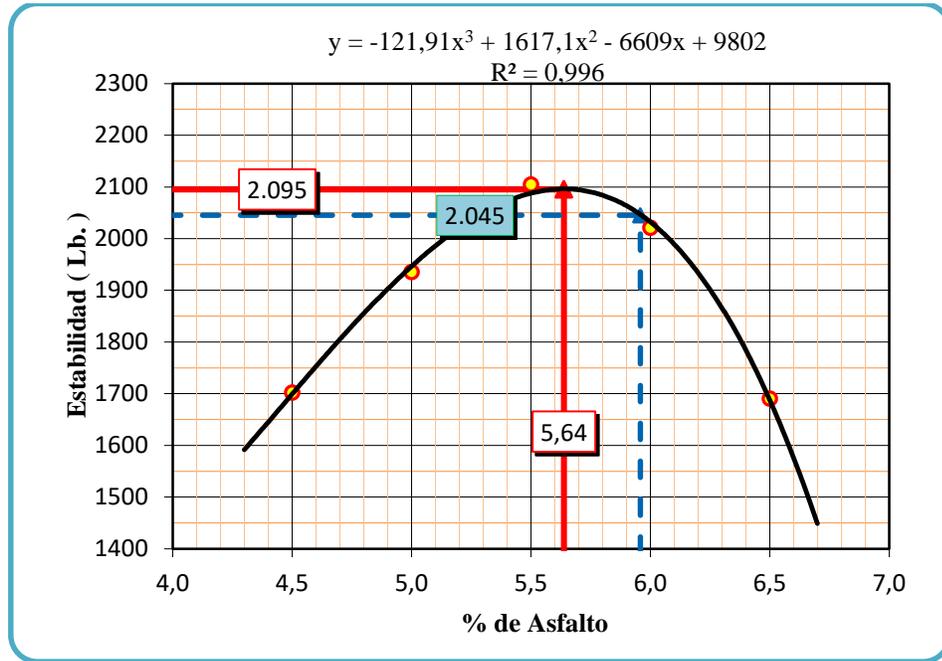
Fuente: Elaboración propia

Figura N°64. Porcentaje de asfalto vs V.A.M.



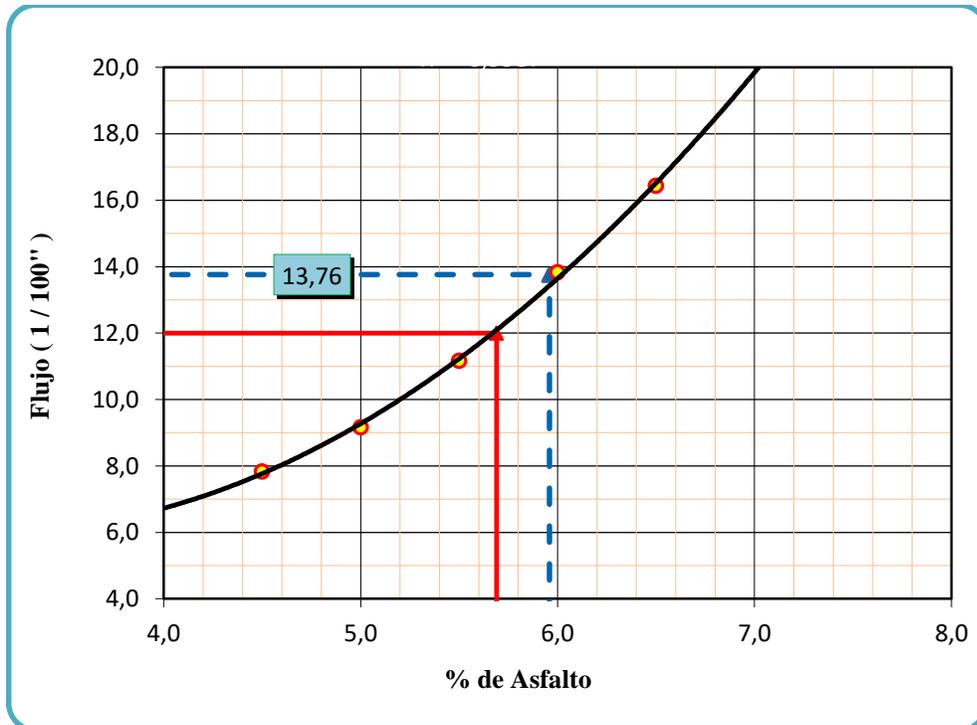
Fuente: Elaboración propia

Figura N°65. Porcentaje de asfalto vs estabilidad.



Fuente: Elaboración propia

Figura N°66. Porcentaje de asfalto vs fluencia.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las gráficas obtenidas se tiene:

Tabla N°62. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional 85-100.

Valores				
Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	6,24	2,325	-----	-----
% Vacios	6,12	4,00	3	5
R.B.V.	6,10	6,10	75	82
V.A.M				
Estabilidad (lb)	5,64	2095,1	> 1500 lb. (75 golpes)	
Fluencia 1/100"	5,69	5,69	8	16
Promedio (%)	5,96	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas (densidad, Vv, RBV, estabilidad y fluencia)		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°63. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica convencional 85-100.

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,96	2,32	-----	-----
% Vacios		4,26	3	5
R.B.V.		75,94	75	82
V.A.M		17,86	13	
Estabilidad (lb)		2045	> 1500 lb. (75 golpes)	
Fluencia 1/100"		13,76	8	16
% óptimo de asfalto propuesto			5,96	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 64. Porcentaje en la mezcla total.

Porcentaje en la mezcla total			
Mezcla bituminosa total	Grava	3/4"	23,51
	Gravilla	3/8"	23,51
	Arena chancada		47,02
	% Asfalto óptimo		5,96
	Total		100,0%

Fuente: Elaboración propia

4.9 RESULTADOS DEL DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA BETUFLEX 60-85.

A continuación, se muestra las planillas de resultados:

Tabla N° 65. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica modificada.

% de asfalto	Identificación	Altura promedio (cm)	Densidad real promedio (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (V.v)	% Vacíos de agregado (V.A.M)	% Vacíos llenos de asfalto (R.B.V)	Estabilidad corregida promedio (lb)	Fluencia 1/100 promedio
4,5	B1	6,38	2,279	8,04	18,19	55,81	2255,0	8,50
	B2	6,37						
	B3	6,42						
5,0	B4	6,30	2,300	6,46	17,85	63,79	2546,6	9,90
	B5	6,40						
	B6	6,36						
5,5	B7	6,37	2,320	4,93	17,57	71,93	2831,0	12,50
	B8	6,34						
	B9	6,40						
6,0	B10	6,33	2,332	3,76	17,61	78,65	3036,0	16,67
	B11	6,28						
	B12	6,37						
6,5	B13	6,30	2,328	3,21	18,19	82,36	2693,9	20,83
	B14	6,28						
	B15	6,27						

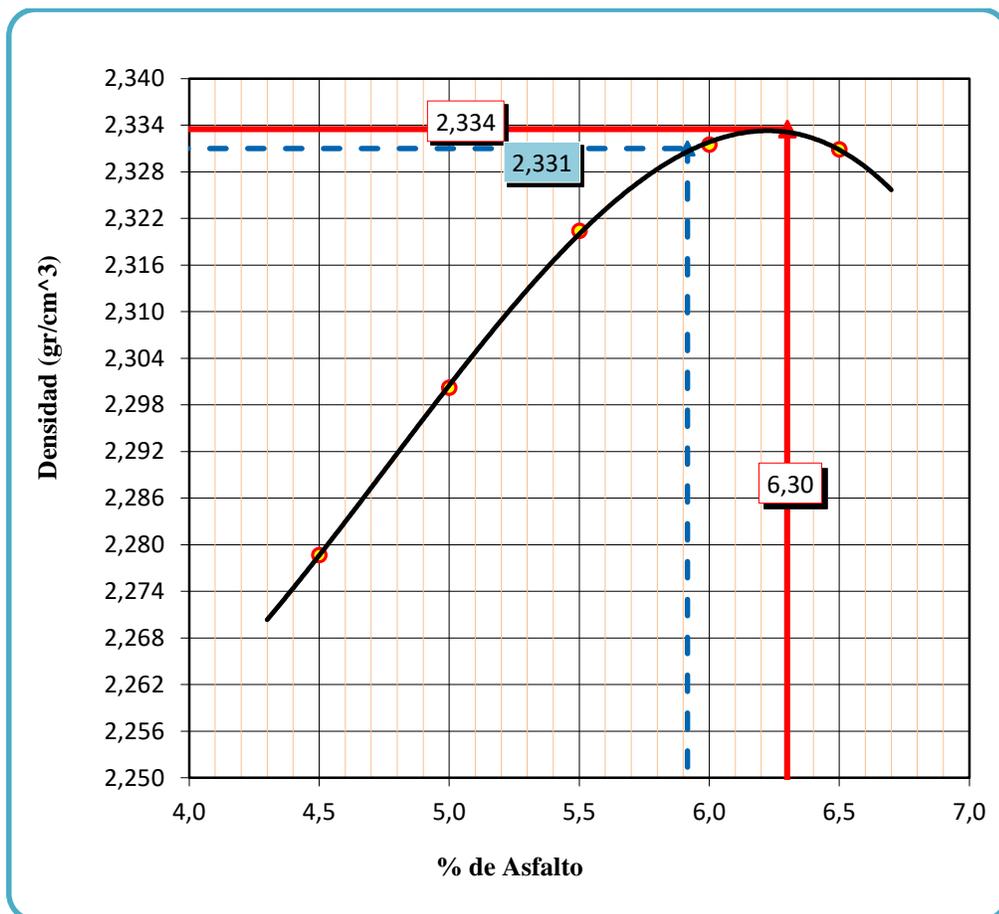
Fuente: Elaboración propia

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.

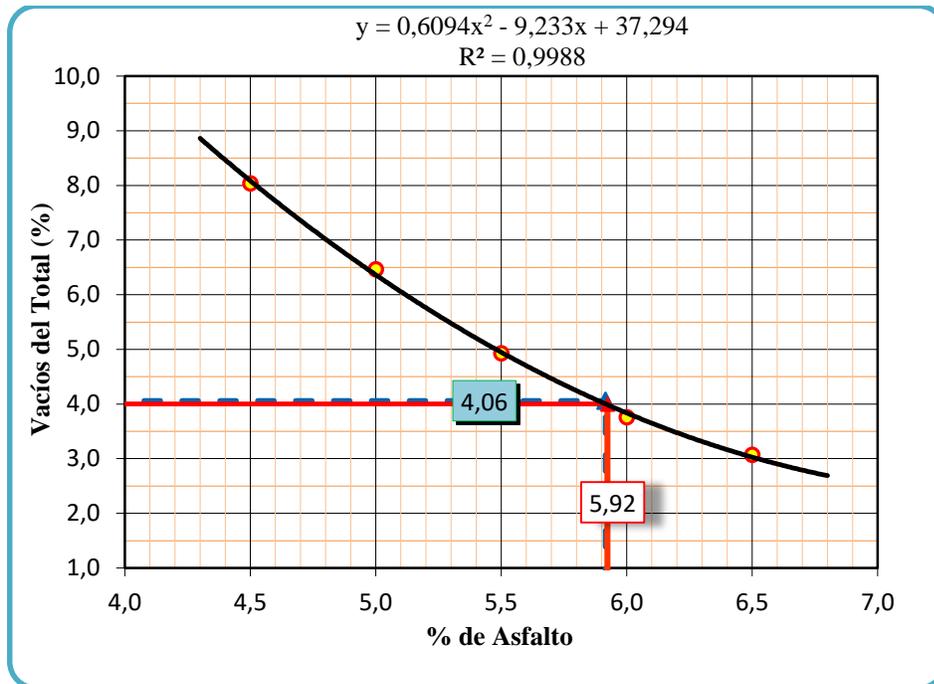
- Porcentaje de asfalto vs. Vacíos de agregado mineral (vam)
- Porcentaje de asfalto vs. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (rbv).
- Porcentaje de asfalto vs. Estabilidad corregida.
- Porcentaje de asfalto vs. Fluencia (flujo).

Figura N° 67. Porcentaje de asfalto vs densidad de la briqueta.



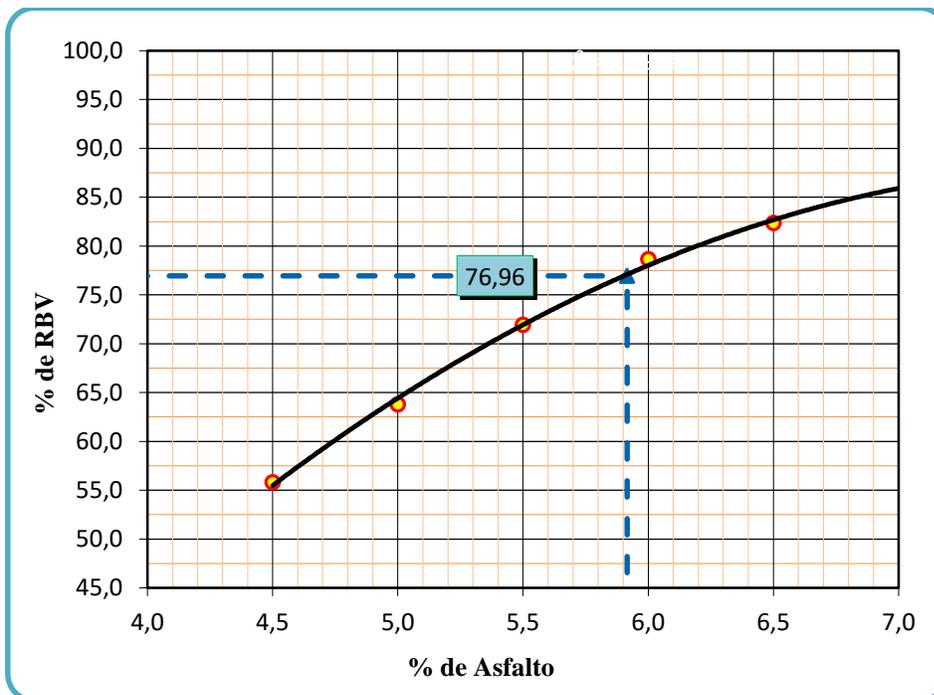
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 68. Porcentaje de asfalto vs vacíos de la mezcla (Vv).



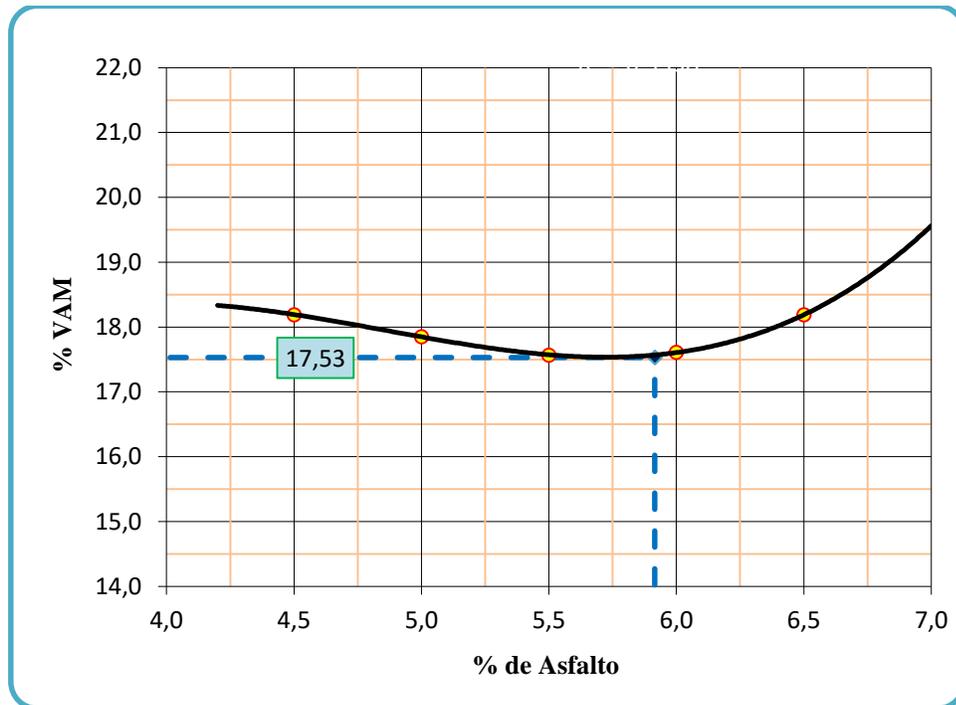
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 69. Porcentaje de asfalto vs R.B.V.



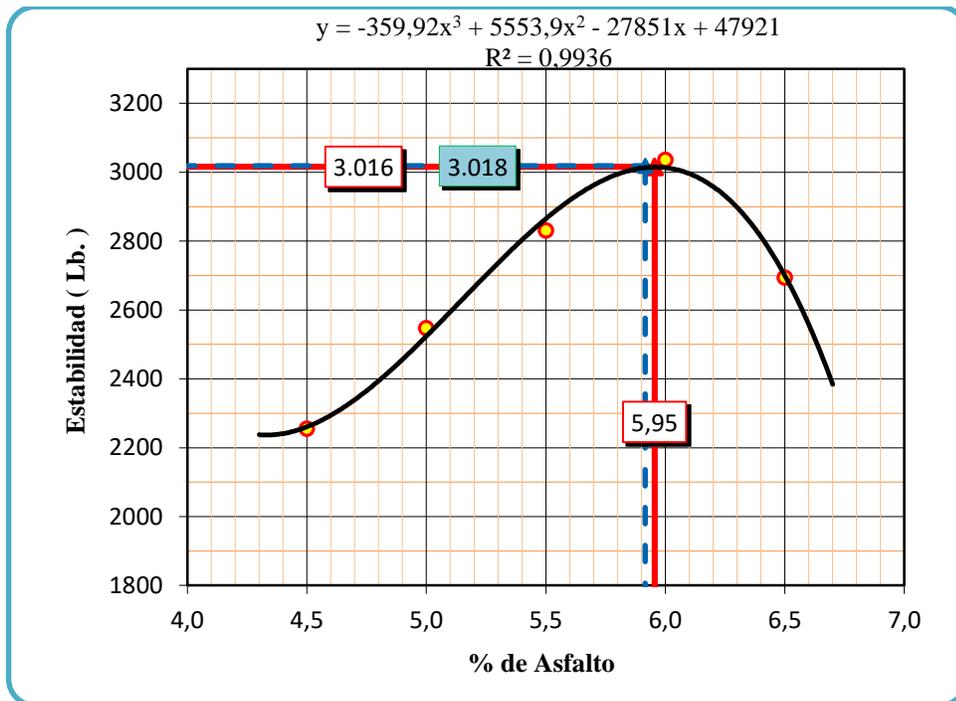
Fuente: Elaboración propia

Figura N°70. Porcentaje de asfalto vs V.A.M.



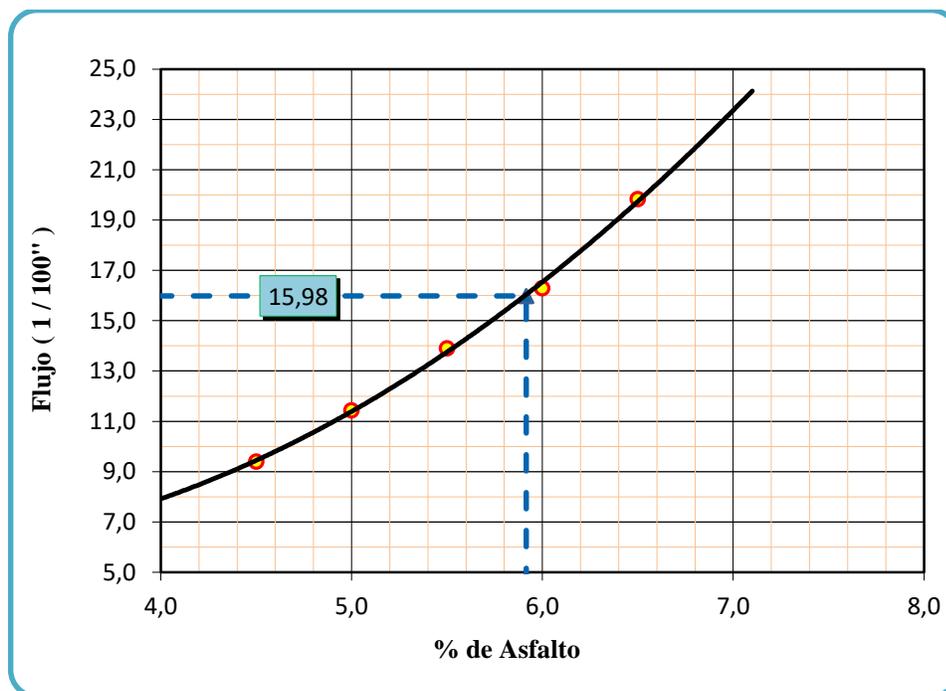
Fuente: Elaboración propia

Figura N°71. Porcentaje de asfalto vs estabilidad.



Fuente: Elaboración propia

Figura N°72. Porcentaje de asfalto vs fluencia.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las gráficas obtenidas se tiene:

Tabla N°66. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica modificada .

Valores				
Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	6,30	2,334	-----	-----
% Vacios	5,92	4,00	3	5
R.B.V.	5,97	5,97		
V.A.M	0,00	16,7		
Estabilidad (lb)	5,95	3015,7	> 1500 lb. (75 golpes)	
Fluencia 1/100"	5,43	5,43		
Promedio (%)	5,92	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas (densidad, Vv, RBV, estabilidad y fluencia)		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°67. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica modificada.

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,92	2,33	-----	-----
% Vacios		4,06	3	5
R.B.V.		76,96	75	82
V.A.M		17,53	13	
Estabilidad (lb)		3018	> 1500 lb. (75 golpes)	
Fluencia 1/100"		15,98	8	16
% óptimo de asfalto propuesto			5,92	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 68. Porcentaje en la mezcla total

Porcentaje en la mezcla total			
Mezcla bituminosa total	Grava	3/4"	23,52
	Gravilla	3/8"	23,52
	Arena chancada		47,04
	% Asfalto óptimo		5,92
	Total		100,0%

Fuente: Elaboración propia

4.10 PREPARACIÓN DE BRIQUETAS CON EL PORCENTAJE ÓPTIMO

Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico que es igual al 5,96% para el cemento asfáltico 85-100 y el 5,92% para el cemento asfáltico BETUFLEX 60-85 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 BETUFLEX 60-85, manteniendo la combinación de agregados de 25% de grava 3/4", 25% de gravilla 3/8"y 50% de arena.

Tabla N° 69. Dosificación con el contenido óptimo de asfalto de 5,96%.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	5,96%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	97,8	2,2	2,2	0,0	0,0
3/4"	81,4	18,6	16,4	25,1	25,1
1/2"	74,5	25,5	6,9	184,6	209,7
3/8"	51,0	49,0	23,5	77,8	287,5
N°4	43,1	56,9	7,9	265,4	552,9
N°10	39,7	60,3	3,4	89,1	642,0
N°16	20,9	79,1	18,8	38,6	680,7
N°40	9,7	90,3	11,2	212,1	892,8
N°80	5,2	94,8	4,5	126,8	1019,6
N°200	0	100,0	5,2	50,3	1069,9
Filler	0	100	6,2	58,6	1128,5
Peso total				1128,5	

Fuente: Elaboración propia

Peso muestra=	1128,5 gr.
Peso asfalto (5,96%) =	71,5 gr.
Peso total material + C. Asf.=	1200,0 gr.

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 con los valores de estabilidad remanente a las 48 horas, y las briquetas B7A, B8A y B9A con los valores de estabilidad remanente a las 72 hr ,estos tiempos fueron sumergidos a baño maría.

Tabla N° 70. 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.)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
Ensayo realizado a 0 hrs - Temperatura 25-1°c							
5,96	B1	6,42	1192,2	680,5	1193,0	86	14
	B2	6,36	1185,6	675,2	1186,5	84	13
	B3	6,37	1190,6	678,6	1191,2	82	13,50
Ensayo realizado a 24 hrs - Temperatura 60 °c							
5,96	B1A	6,40	1196,4	682,0	1196,9	72	13
	B2A	6,32	1191,5	680,1	1192,1	77	14
	B3A	6,35	1193,6	680,0	1194,2	74	14
Ensayo realizado a 24 hrs - Temperatura 25 °c							
5,96	B4A	6,40	1182,6	672,5	1183,2	117	15
	B5A	6,31	1192,5	680,2	1193,4	120	14
	B6A	6,36	1185,5	675,4	1186,2	115	15
Ensayo realizado a 48 hrs - Temperatura 40 °c							
5,96	B7A	6,40	1192,2	680,4	1193,0	79	14
	B8A	6,32	1178,8	673,0	1179,2	83	13
	B9A	6,28	1183,5	672,2	1183,8	76	14
Ensayo realizado a 72 hrs - Temperatura 50 °c							
5,96	B10A	6,36	1186,4	675,5	1187,1	48	11
	B11A	6,42	1184,0	675,1	1185,0	53	13
	B12A	6,28	1188,4	676,2	1189,2	45	12

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 71. 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 (V _v)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
5,96	C1	6,42	2,326				2084,4	
	C2	6,36	2,319				2067,1	
	C3	6,37	2,323				2012,8	
	Promedio		2,323	4,15	78,95	19,70	2054,8	13,50
5,96	C1A	6,40	2,324				1776,2	
	C2A	6,32	2,327				1899,5	
	C3A	6,35	2,321				1825,5	
	Promedio		2,324	5,46	67,87	17,00	1831,9	13,80
5,96	C4A	6,40	2,316				2886,3	
	C5A	6,31	2,324				2960,3	
	C6A	6,36	2,321				2837,0	
	Promedio		2,320	4,25	76,37	17,98	2891,7	14,37
5,96	C7A	6,40	2,326				1948,9	
	C8A	6,32	2,329				2047,6	
	C9A	6,28	2,313				1874,9	
	Promedio		2,323	4,14	76,84	17,89	1966,9	13,37
5,96	C10A	6,36	2,319				1184,1	
	C11A	6,42	2,322				1307,5	
	C12A	6,28	2,317				1110,1	
	Promedio		2,319	4,28	76,21	18,01	1200,6	12,13

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto la resistencia remanente de 24 hrs a 60°C es:

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

$$\text{Resistencia remanente} = \frac{1831,9}{2054,8} * 100\%$$

$$\textbf{Resistencia remanente} = \textbf{89,2\%}$$

Por lo tanto la resistencia remanente de 24 hrs a 25°C es:

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

$$\text{Resistencia remanente} = \frac{2891,7}{2054,8} * 100\%$$

$$\textbf{Resistencia remanente} = \textbf{140,7\%}$$

Por lo tanto la resistencia remanente de 48 hrs a 40°C es:

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

$$\text{Resistencia remanente} = \frac{1966,9}{2054,8} * 100\%$$

$$\textbf{Resistencia remanente} = \textbf{95,7\%}$$

Por lo tanto la resistencia remanente de 72 hrs a 50°C es:

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

$$\text{Resistencia remanente} = \frac{1200,6}{2054,8} * 100\%$$

$$\textbf{Resistencia remanente} = \textbf{58,4\%}$$

Para realizar el ensayo las briquetas B1A, B2A y B3A fueron los datos obtenido como los valores de estabilidad remanente a las 24 horas a una temperatura de 60°C, las briquetas B4A, B5A y B6A fueron los datos obtenidos con los valores de estabilidad remanente a las 24 horas a una temperatura de 25°C, las briquetas B7A, B8A y B9A con los valores de estabilidad remanente a las 48hr a una temperatura de 40°C, las briquetas B10A, B11A, Y B12A fueron los datos obtenidos con los valores de estabilidad remanente a las 72 horas a una temperatura de 50°C estos tiempos fueron sumergidos a baño maría

Tabla N° 72. Datos obtenidos del ensayo Marshall con porcentaje óptimo de asfalto BETUFLEX 60-85.

% de asfalto	Identificación	Altura promedio (cm)	Peso seco al aire (gr.)	Peso sumergido al agua (gr.)	Peso sumergido superficial seco (gr.)	Lectura dial estabilidad	Lectura dial fluencia
Ensayo realizado a 0 hrs - Temperatura 25-1°c							
5,92	B1	6,32	1192,2	680,8	1193,4	124	16,20
	B2	6,35	1186,2	679,0	1187,6	121	15,00
	B3	6,28	1185,5	678,4	1186,2	120	15,50
Ensayo realizado a 24 hrs - Temperatura 60 °c							
5,92	B1A	6,28	1187,5	678,6	1187,9	115	16,5
	B2A	6,36	1185,0	678,0	1185,8	115	17,0
	B3A	6,35	1183,6	675,0	1184,0	112	15,5
Ensayo realizado a 24 hrs - Temperatura 25 °c							
5,92	B4A	6,35	1184,5	677,0	1185,6	178	18,5
	B5A	6,39	1192,2	682,2	1193,2	183	17,0
	B6A	6,40	1190,0	679,0	1190,8	178	17,8
Ensayo realizado a 48 hrs - Temperatura 40 °c							
5,92	B7A	6,45	1188,7	680,0	1189,4	126	16,8
	B8A	6,32	1188,0	680,2	1188,6	120	15,0
	B9A	6,28	1189,6	676,0	1190,0	118	16,5
Ensayo realizado a 72 hrs - Temperatura 50 °c							
5,92	B10A	6,39	1193,4	680,8	1194,2	89	15,0
	B11A	6,37	1190,2	682,3	1191,5	84	14,4
	B12A	6,34	1185,8	680,0	1186,7	80	13,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 73. Resultados de las mezclas asfálticas con tiempos de saturación utilizando el asfalto BETUFLEX 60-85.

% de asfalto	Identificación	Propiedades mecánicas						
		Altura promedio (cm)	Densidad real (gr/cm ³)	% Vacíos en la mezcla (Vv)	% Vacíos llenos de asfalto (RBV)	% Vacíos de agregado (VAM)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia 1/100
5,92	C1	6,32	2,326				3083,5	16,20
	C2	6,35	2,332				2985,0	15,00
	C3	6,28	2,335				3016,6	15,50
	Promedio		2,331	3,91	80,04	19,57	3028,4	15,57
5,92	C1A	6,28	2,332				2837,0	16,5
	C2A	6,36	2,334				2837,0	17,0
	C3A	6,35	2,325				2763,0	15,5
	Promedio		2,330	3,93	77,66	17,59	2829,2	16,33
5,92	C4A	6,35	2,329				4391,2	18,5
	C5A	6,39	2,333				4514,5	17,0
	C6A	6,40	2,325				4391,2	17,8
	Promedio		2,329	3,98	77,44	17,63	4401,3	17,77
5,92	C7A	6,45	2,334				3108,4	16,8
	C8A	6,32	2,337				2960,3	15,0
	C9A	6,28	2,314				2911,0	16,5
	Promedio		2,328	4,01	77,29	17,66	2996,2	16,10
5,92	C10A	6,39	2,325				2195,6	15,0
	C11A	6,37	2,337				2072,2	14,4
	C12A	6,34	2,340				1973,6	13,7
	Promedio		2,334	3,77	78,40	17,45	2072,1	14,37

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto la resistencia remanente de 24 hrs a 60°C es:

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

$$\text{Resistencia remanente} = \frac{2829,2}{3028,4} * 100\%$$

$$\text{Resistencia remanente} = \mathbf{93,4\%}$$

Por lo tanto la resistencia remanente de 24 hrs a 25°C es:

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

$$\text{Resistencia remanente} = \frac{4401,3}{3028,4} * 100\%$$

$$\text{Resistencia remanente} = \mathbf{145,3\%}$$

Por lo tanto la resistencia remanente de 48 hrs a 40°C es:

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

$$\text{Resistencia remanente} = \frac{2996,2}{3028,4} * 100\%$$

$$\text{Resistencia remanente} = \mathbf{98,9\%}$$

Por lo tanto la resistencia remanente de 72 hrs a 50°C es:

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

$$\text{Resistencia remanente} = \frac{2072,1}{3028,4} * 100\%$$

$$\text{Resistencia remanente} = \mathbf{68,4\%}$$

4.11 DESARROLLO DEL ENSAYO A 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 BETUFLEX 60-85
- ✓ 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 BETUFLEX 60-85.

De esa manera se realizaron la separación en 4 grupos para realizar un análisis más detallado del comportamiento de las muestras, el grupo 4 de 48 hrs y grupo 5 de 72 hrs de saturación se añadió por criterio del investigador de manera detener un conocimiento de lo que realmente ocurre en ese periodo de tiempo la norma aplica de 0 - 24 hrs 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 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Finalizado este período, se

introducen en un baño de agua regulado a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 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°C durante 24 horas. Finalizado este período, se introducen en un baño de agua regulado a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 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 25°C durante 24 horas. Finalizado este período, se introducen en un baño de agua regulado a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ durante dos horas, determinando a continuación su resistencia a tracción indirecta.

Grupo 4 de briquetas (criterio del investigador): Las tres briquetas de este grupo se sumergen en un baño de agua regulado a 50°C durante 48 horas. Finalizado este período, se introducen en un baño de agua regulado a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ durante dos horas, determinando a continuación su resistencia a tracción indirecta.

Grupo 5 de briquetas (criterio del investigador): Las tres briquetas de este grupo se sumergen en un baño de agua regulado a 50°C durante 72 horas. Finalizado este período, se introducen en un baño de agua regulado a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 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° 73. 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° 74. 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 5,96% y para el Cemento Asfáltico BETUFLEX 60-85 es 5,92%, 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 realizarán las mediciones correspondientes. Se tomará como ejemplo de cálculo al cemento asfáltico 85-100 que se sumergen al agua en un baño maría $25 \pm 1^\circ\text{C}$, las demás muestras se realiza el mismo procedimiento.

4.11.1 Identificación de las briquetas

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

Tabla N° 74 Nomenclatura de las briquetas utilizando cemento asfáltico 85-100.

Tiempo	Identificación
0-25-1°C	D1
	D2
	D3
24 hrs-60°C	D1A
	D2A
	D3A
24 hrs-25°C	D4A
	D5A
	D6A
48 hrs-40°C	D7A
	D8A
	D9A
72 hrs-50°C	D10A
	D11A
	D12A

Fuente: Elaboración propia

4.11.2 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°75. Datos del ensayo T. Indirecta utilizando asfalto 85-100.

Ensayo realizado a 0 hrs - Temperatura 25-1°C								
N°	Altura briqueta				Promedio (Cm)	Diametro (Cm)	Lectura Dial	Carga (Kg)
	M-1	M-2	M-3	M-4				
1	6,32	6,42	6,30	6,33	6,34	10,10	105	1174,95
2	6,32	6,42	6,30	6,33	6,34	10,10	103	1152,57
3	6,44	6,38	6,34	6,30	6,37	10,15	102	1141,38
Ensayo realizado a 24 hrs - Temperatura 60°C								
N°	Altura briqueta				Promedio (cm)	Diametro (cm)	Lectura dial	Carga (kg)
	M-1	M-2	M-3	M-4				
1	6,40	6,36	6,35	6,30	6,35	10,15	101	1130,19
2	6,32	6,42	6,30	6,33	6,34	10,10	99	1107,81
3	6,30	6,28	6,28	6,30	6,29	10,10	98	1096,62
Ensayo realizado a 24 hrs – Temperatura 25°C								
N°	Altura briqueta				Promedio (cm)	Diametro (cm)	Lectura dial	Carga (kg)
	M-1	M-2	M-3	M-4				
1	6,41	6,42	6,43	6,27	6,38	10,15	105	1174,95
2	6,32	6,42	6,30	6,33	6,34	10,10	103	1152,57
3	6,30	6,28	6,28	6,30	6,29	10,10	100	1119,00
Ensayo realizado a 48 hrs - Temperatura 40°C								
N°	Altura briqueta				Promedio (cm)	Diametro (cm)	Lectura dial	CARGA (kg)
	M-1	M-2	M-3	M-4				
1	6,32	6,28	6,33	6,39	6,33	10,00	47	525,93
2	6,38	6,25	6,30	6,38	6,33	10,15	47	525,93
3	6,42	6,33	6,30	6,31	6,34	10,10	51	570,69
Ensayo realizado a 72 hrs - Temperatura 50°C								
N°	Altura briqueta				Promedio (cm)	Diametro (cm)	Lectura dial	CARGA (kg)
	M-1	M-2	M-3	M-4				
1	6,41	6,42	6,43	6,27	6,38	10,00	40	447,60
2	6,44	6,38	6,34	6,30	6,37	10,00	37	414,03
3	6,32	6,27	6,38	6,36	6,33	10,10	42	469,98

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 76. Datos del ensayo T. Indirecta utilizando asfalto BETUFLEX 60-85.

Ensayo realizado a 0 hrs - Temperatura 25-1°C								
N°	Altura briqueta				Promedio (cm)	Diametro (cm)	Lectura dial	CARGA (kg)
	M-1	M-2	M-3	M-4				
1	6,28	6,33	6,29	6,32	6,31	10,15	141	1577,79
2	6,25	6,27	6,30	6,30	6,28	10,10	138	1544,22
3	6,23	6,28	6,33	6,30	6,29	10,15	135	1510,65
Ensayo realizado a 24 hrs - Temperatura 60°C								
N°	Altura briqueta				Promedio (cm)	Diametro (cm)	Lectura dial	Carga (kg)
	M-1	M-2	M-3	M-4				
1	6,32	6,30	6,28	6,35	6,31	10,15	140	1566,60
2	6,30	6,28	6,28	6,32	6,30	10,15	127	1421,13
3	6,40	6,25	6,27	6,37	6,32	10,10	130	1454,70
Ensayo realizado a 24 hrs - Temperatura 25°C								
N°	Altura briqueta				Promedio (cm)	Diametro (cm)	Lectura dial	Carga (kg)
	M-1	M-2	M-3	M-4				
1	6,32	6,30	6,28	6,35	6,31	10,10	140	1566,60
2	6,38	6,29	6,27	6,35	6,32	10,10	136	1521,84
3	6,40	6,25	6,27	6,37	6,32	10,15	130	1454,70
Ensayo realizado a 48 hrs - Temperatura 40°C								
N°	Altura briqueta				Promedio (cm)	Diametro (cm)	Lectura dial	Carga (kg)
	M-1	M-2	M-3	M-4				
1	6,43	6,40	6,38	6,35	6,39	10,10	87	973,53
2	6,30	6,28	6,28	6,32	6,30	10,00	84	939,96
3	6,30	6,38	6,31	6,35	6,34	10,00	82	917,58
Ensayo realizado a 72 hrs - Temperatura 50°C								
N°	Altura briqueta				Promedio (cm)	Diametro (cm)	Lectura dial	Carga (kg)
	M-1	M-2	M-3	M-4				
1	6,43	6,40	6,38	6,34	6,39	10,15	65	727,35
2	6,35	6,40	6,42	6,38	6,39	10,15	62	693,78
3	6,32	6,30	6,29	6,35	6,32	10,15	60	671,40

Fuente: Elaboración propia

Calculo:

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

$$R = \frac{2 * 1175}{\pi * 6,34 * 10,10}$$

$$R = 11,46 \text{ Kg/cm}^2$$

Tabla N° 77. Desarrollo del ensayo a Tensión Indirecta.

Identificación	Resist. Compr.	Resist. Compr. Promedio
D1	11,68	11,46
D2	11,45	
D3	11,25	
D1A	11,16	11,05
D2A	11,01	
D3A	10,99	
D4A	11,55	11,40
D5A	11,45	
D6A	11,21	
D7A	5,29	5,39
D8A	5,21	
D9A	5,67	
D10A	4,46	4,43
D11A	4,14	
D12A	4,68	

Fuente: Elaboración propia

4.11.3 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:

$$\text{IRC \%} = \frac{R_2}{R_1} * 100$$

$$\text{IRC \%} = \frac{11,05}{11,46} * 100$$

$$\text{IRC \%} = 96,42\%$$

4.12 RESULTADOS DEL DISEÑO DEL ENSAYO A TENSIÓN INDIRECTA

Tabla N° 78. 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	I.R.C %
D1	6,34	10,10	1175,0	11,68	11,46	----
D2	6,34	10,10	1152,6	11,45		
D3	6,37	10,15	1141,4	11,25		
D1A	6,35	10,15	1130,19	11,16	11,05	96,42
D2A	6,34	10,10	1107,81	11,01		
D3A	6,29	10,10	1096,62	10,99		
D4A	6,38	10,15	1130,2	11,55	11,40	99,48
D5A	6,34	10,10	1107,8	11,45		
D6A	6,29	10,10	1096,6	11,21		
D7A	6,33	10,00	525,9	5,29	5,39	47,03
D8A	6,33	10,15	525,9	5,21		
D9A	6,34	10,10	570,7	5,67		
D10A	6,38	10,00	447,6	4,46	4,43	38,66
D11A	6,37	10,00	414,0	4,14		
D12A	6,33	10,10	470,0	4,68		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 79. Resultados del ensayo T. Indirecta, cemento asfáltico BETUFLEX 60-85.

Identificación	h(cm)	Diám. (cm)	C. Max. (Kg)	Resist. Compr. Kg/cm ²	Resist. Compr. Prom. Kg/cm ²	I.R.C %
D1	6,31	10,15	1577,8	15,70	15,4	----
D2	6,28	10,10	1544,2	15,50		
D3	6,29	10,15	1510,7	15,08		
D1A	6,31	10,15	1566,6	15,57	14,7	95,45
D2A	6,30	10,15	1421,1	14,16		
D3A	6,32	10,10	1454,7	14,50		
D4A	6,31	10,10	1566,6	15,64	15,1	98,06
D5A	6,32	10,10	1521,8	15,17		
D6A	6,32	10,15	1454,7	14,43		
D7A	6,39	10,10	973,5	9,60	9,44	61,30
D8A	6,30	10,00	940,0	9,51		
D9A	6,34	10,00	917,6	9,22		
D10A	6,39	10,15	727,4	7,14	6,9	44,81
D11A	6,39	10,15	693,8	6,81		
D12A	6,32	10,15	671,4	6,67		

Fuente: Elaboración propia

4.13 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA EN COSTO.

Tabla N° 80. Precios unitarios de mezcla asfáltica convencional BETUPEN PLUS .

Análisis de precios unitarios				
Proyecto: Análisis comparativo de mezclas asfálticas convencionales y modificadas en relación a su comportamiento a diferentes humedades y temperaturas				
Actividad: Carpeta concreto asfáltico convencional BETUPEN PLUS				
Unidad: m ³				
Cantidad: 1,00				
Tipo de cambio bs/\$us:				6,97
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs.)	Precio total (Bs.)
1. Materiales				
1 Grava de 3/4"	m ³	0,028	152,00	4,26
2 Gravilla de 3/8"	m ³	0,178	152,00	27,06
3 Arena triturada	m ³	0,735	145,00	106,58
4 Cemento asfáltico convencional 85-100	kg	140,40	9,00	1.263,60
5 Gasolina	lt	18,00	3,74	67,32
Total materiales				1.468,81
2. Mano de obra				
1 Ayudante de operador	hr	0,028	16,00	0,45
2 Capataz	hr	1,80	25,00	45,00
3 Operador	hr	0,82	20,00	16,40
4 Operador de equipo liviano	hr	0,08	18,00	1,48
5 Operador de planta	hr	0,09	23,19	2,09
6 Obrero	hr	0,07	12,07	0,87
7 Chofer	hr	0,0012	18,00	0,02
Sub total mano de obra				66,31
Beneficios sociales - % del sub total de mano de obra			60,00%	39,79
Impuestos iva (14,94% de subtotal mano de obra+cargas sociales)			14,94%	15,85
Total mano de obra				121,95

3. Equipo maquinaria y herramientas					
1	Compactador liso	hr	0,035	303,85	10,63
2	Distribuidor de agregados	hr	0,028	455,03	12,74
Autop					
3	Esoba mecanica autop	hr	0,028	71,55	2,00
4	Planta de calentamiento de	hr	0,090	965,23	86,87
Asfalto					
5	Ccompactador neumatico	hr	0,084	332,81	27,96
T Sp1000					
6	Terminadora de asfalto	hr	0,075	669,06	50,18
7	Cargador frontal de	hr	0,0001	421,29	0,04
ruedas=950 m ³					
8	Volqueta=12m ³	hr	0,001	227,87	0,27
Herramientas - % del total de la mano de obra				5,00%	6,10
Total equipo maquinaria y herramientas					196,79
4. Gastos generales y administrativos					
Gastos generales - % de (1 + 2 + 3)				15,00%	268,13
Total gastos generales y administrativos					268,13
5. Utilidad					
Utilidad - % de (1 + 2 + 3 + 4)				10,00%	205,57
Total utilidad					205,57
6. Impuestos					
Impuesto IT de (1 + 2 + 3 + 4 +5)				3,09%	69,87
Total impuestos					69,87
Total precio unitario 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6					2.331,12
Precio unitario	\$us.	334,45	Bs.	2.331,12	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 81. Precios unitarios de mezcla asfáltica modificada BETUFLEX 60/85.

Análisis de precios unitarios				
Proyecto:		Análisis comparativo de mezclas asfálticas convencionales y modificadas en relación a su comportamiento a diferentes humedades y temperaturas		
Actividad:		Carpeta concreto asfáltico modificado BETUFLEX 60/85		
Unidad:		m ³		
Cantidad:		1,00		
Tipo de cambio Bs/\$us:				6,97
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs.)	Precio total (Bs.)
1. Materiales				
1 Grava de 3/4"	m ³	0,028	152,00	4,26
2 Gravilla de 3/8"	m ³	0,177	152,00	26,90
3 Arena triturada	m ³	0,732	145,00	106,14
4 Cemento	kg	136,53	14,64	1.998,80
5 Gasolina	lt	18,00	3,74	67,32
Total materiales				2.203,42
2. Mano de obra				
1 Ayudante de operador	hr	0,028	16,00	0,45
2 Capataz	hr	1,80	25,00	45,00
3 Operador	hr	0,82	20,00	16,40
4 Operador de equipo liviano	hr	0,08	18,00	1,48
5 Operador de planta	hr	0,09	23,19	2,09
6 Obrero	hr	0,07	12,07	0,87
7 Chofer	hr	0,0012	18,00	0,02
Sub total mano de obra				66,31
Beneficios sociales - % del sub total de mano de obra			60,00%	39,79
Impuestos iva (14,94% de subtotal mano de obra+cargas sociales)			14,94%	15,85
Total mano de obra				121,95
3. Equipo maquinaria y herramientas				
1 Compactador liso	hr	0,035	303,85	10,63
2 Distribuidor de agregados autop	hr	0,028	455,03	12,74

3 Esoba mecanica autop	hr	0,028	71,55	2,00
4 Planta de calentamiento de asfalto	hr	0,090	965,23	86,87
5 Cmpactor neumatico T Sp1000	hr	0,084	332,81	27,96
6 Terminadora de asfalto	hr	0,075	669,06	50,18
7 Cargador frontal de ruedas=950 m ³	hr	0,0001	421,29	0,04
8 Volqueta=12m ³	hr	0,001	227,87	0,27
Herramientas - % del total de la mano de obra			5,00%	6,10
Total equipo maquinaria y herramientas				196,79
4. Gastos generales y administrativos				
Gastos generales - % de (1 + 2 + 3)			15,00%	378,32
Total gastos generales y administrativos				378,32
5. Utilidad				
Utilidad - % de (1 + 2 + 3 + 4)			10,00%	290,05
Total utilidad				290,05
6. Impuestos				
Impuesto IT de (1 + 2 + 3 + 4 +5)			3,09%	98,59
Total impuestos				98,59
Total precio unitario 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6				3.289,12
Precio unitario	\$us.	471,90	Bs.	3.289,12

Fuente: Elaboración propia.

Comparando de acuerdo a los valores en los análisis de precios unitarios desarrollados en el apartado anterior se exponen en la siguiente tabla.

Tabla N° 82. Costo unitario de las mezclas asfálticas.

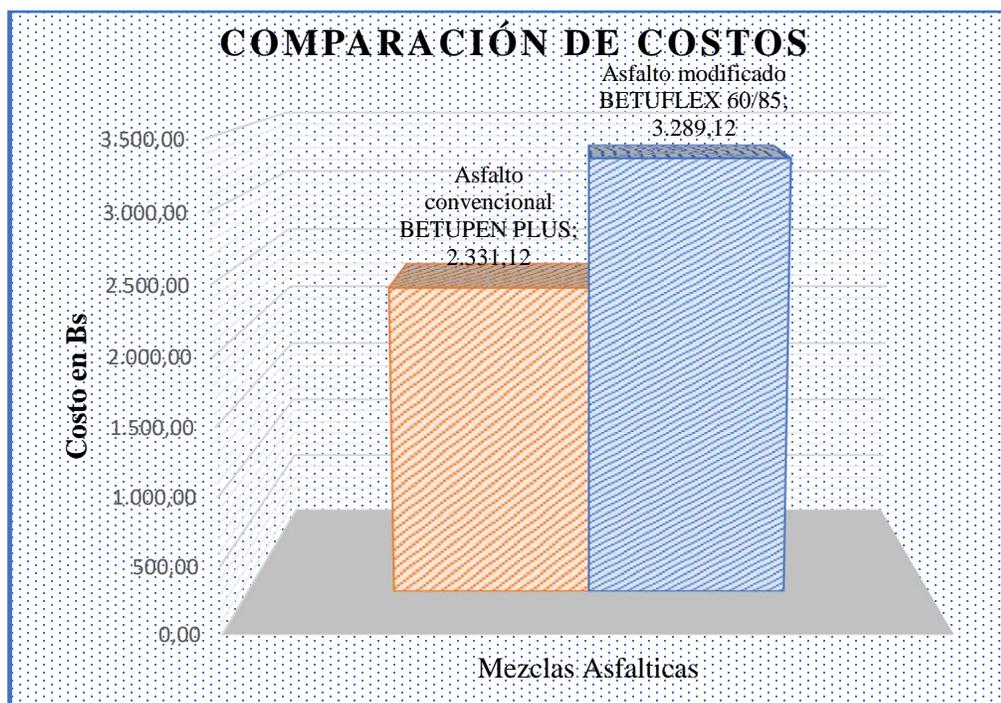
Material	Mezcla asfáltica BETUPEN PLUS	Mezcla asfáltica BETUFLEX 60/85
Costo bs 1/m ³	2331,12	3289,12
Diferencia en bolivianos	-	958
Diferencia en (%)	-	29,13

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 82 se aprecia los costos de los dos tipos de mezclas que se desarrollaron en la investigación.

De acuerdo a este precio se puede interpretar la diferencia que existe entre los precios definidos en esta investigación para cada una de las mezclas asfálticas desarrolladas. La mezcla asfáltica modificada presenta una diferencia de costo de 958 bs/m³ esto significa un aumento del 29,13% referente al costo de la mezcla convencional.

Gráfico N° 4. Comparación de costo de una mezcla asfáltica convencional 85-100 y una mezcla asfáltica modificada BETUFLEX 60-85.



Fuente: Elaboración propia.

4.14 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICO-RESISTENTES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVENCIONALES Y MODIFICADA EN RELACIÓN A SU COMPORTAMIENTO A DIFERENTES HUMEDADES Y TEMPERATURAS

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

Tabla N° 83. 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°84. Resultados del ensayo Marshall, cemento asfáltico 85-100.

Humedad (horas)	Temperatura°C	Estabilidad (lb)	Fluencia (1/100)
0	1-25	2054,76	13,50
24	60	1831,93	13,80
24	25	2891,66	14,37
48	40	1966,90	13,37
72	50	1200,58	12,13

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 5. Tiempo vs Estabilidad CA 85-100.



Fuente: Elaboración propia

4.15 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS A DIFERENTES HUMEDADES Y TEMPERATURAS DEL ENSAYO MARSHALL

De acuerdo a la gráfica N°5 se puede observar un decreciente valor de la estabilidad al aumentarse la humedad y las temperaturas, se puede observar también que los primeros 4 grupos de briquetas cumplen con las especificaciones y que en el quinto grupo de briquetas del cemento asfáltico 85-100 saturados por 72 horas a una temperatura de 50°C no cumple con las especificaciones con un valor de 1200,58 lb.

Tabla N° 85. Resultados del ensayo Marshall, cemento asfáltico BETUFLEX 60-85.

Humedad (horas)	Temperatura°C	Estabilidad (lb)	Fluencia (1/100)
0	1-25	3028,36	15,57
24	60	2829,19	16,33
24	25	4401,26	17,77
48	40	2996,22	16,10
72	50	2072,14	14,37

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6. Tiempo vs estabilidad CA BETUFLEX 60-85.

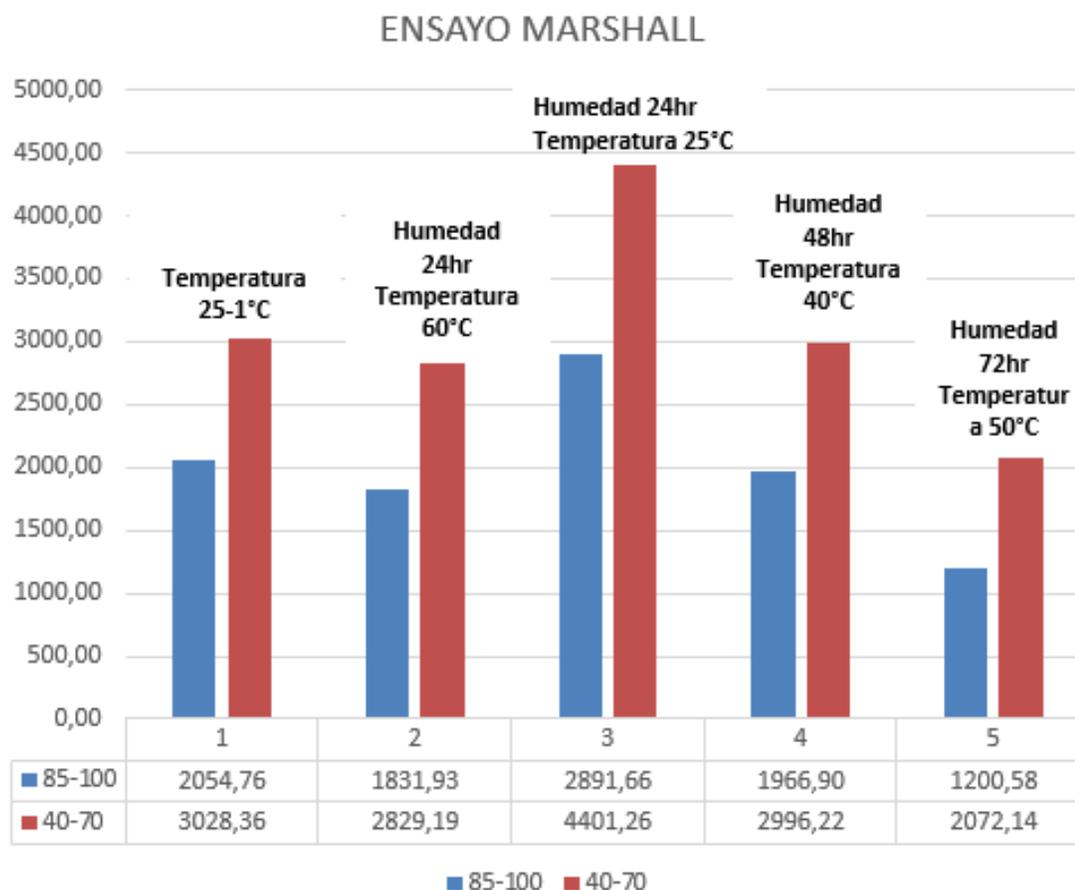


Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la gráfica N°6 se puede observar que existe un decreciente valor de la estabilidad a medida que se aumenta la humedad y temperatura, se puede observar que los primeros 4 grupos de briquetas cumplen con las especificaciones del ensayo Marshall, también se puede observar que el quinto grupo de briquetas que fue saturada por 72 horas con una temperatura constante de 50°C no cumple con las especificaciones del ensayo.

4.16 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL Y MODIFICADO EN RELACIÓN A DIFERENTES HUMEDADES Y TEMPERATURAS

Gráfico N° 7. Comparación de la estabilidad.



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° 7 se puede apreciar un mejor comportamiento en la resistencia (estabilidad) en el asfalto modificado BETUFLEX 60-85 siendo capaz de resistir cambios de humedades y temperaturas con un daño mínimo.

Humedad por 24 horas con una temperatura de 60°C

En ambos tipos de mezcla asfáltica convencional y modificada se pudo verificar que cumplen con la resistencia remanente que sobrepasaron el 85% de la estabilidad patrón, dando un resultado de la mezcla asfáltica convencional con un porcentaje del 89,2% y la mezcla asfáltica modificada con un porcentaje del 93,4%. Obteniendo una diferencia porcentual de estabilidad del 32,15% entre el asfalto convencional y el modificado.

Verificando que el asfalto modificado BETUFLEX 60-85 nos brinda mayor estabilidad que el convencional 85-100, por las características poliméricas que cuenta.

Humedad por 24 horas con una temperatura de 25°C

En ambos tipos de mezcla asfáltica convencional y modificada se pudo verificar que cumplen con la resistencia remanente que sobrepasaron el 85% de la estabilidad patrón, dando un resultado de la mezcla asfáltica convencional con un porcentaje del 140.7% y la mezcla asfáltica modificada con un porcentaje del 145.3%. Obteniendo una diferencia porcentual de estabilidad del 35,25% entre el asfalto convencional y el modificado. Verificando que el asfalto modificado BETUFLEX 60-85 nos brinda mayor estabilidad que el convencional 85-100, por las características poliméricas que cuenta. En este grupo de briquetas se pudo encontrar el pico más alto de estabilidad en relación a los otros tiempos de humedad.

Humedad por 48 horas con una temperatura de 40°C

En ambos tipos de mezcla asfáltica convencional y modificada se pudo verificar que cumplen con la resistencia remanente que sobrepasaron el 85% de la estabilidad patrón, dando un resultado de la mezcla asfáltica convencional con un porcentaje del 95,7% y la mezcla asfáltica modificada con un porcentaje del 98,9%. Obteniendo una diferencia porcentual de estabilidad del 34,35% entre el asfalto convencional y el modificado. Verificando que el asfalto modificado BETUFLEX 60-85 nos brinda mayor estabilidad que el convencional 85-100, por las características poliméricas que cuenta.

Humedad por 72 horas con una temperatura de 50°C

En ambos tipos de mezcla asfáltica convencional y modificada no cumplen con la resistencia remanente por alto contenido de humedad y el incremento de temperatura provocando que sufra un gran daño siendo menor al 85% de la estabilidad patrón, dando un resultado de la mezcla asfáltica convencional con un porcentaje del 58,4% y la mezcla asfáltica modificada con un porcentaje del 68,4%. Obteniendo una diferencia porcentual de estabilidad del 53,94% entre el asfalto convencional y el modificado. Al presentar el valor más bajo de estabilidad podemos comparar con los asfaltos que vemos en nuestras calles y avenidas que la humedad es un agente muy perjudicial para la estabilidad y la vida útil del asfalto.

Tabla N° 86. Resultados del ensayo a Tensión Indirecta, cemento asfáltico 85-100.

Humedad (días)	Temperatura °C	Resistencia compresión (kg/cm ²)
0	1-25	11,46
24	60	11,05
24	25	11,40
48	40	5,39
72	50	4,43

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 8. Tiempo vs resistencia compresión CA 85-100.



Fuente: Elaboración propia

4.17 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS A DIFERENTES HUMEDADES Y TEMPERATURAS DEL ENSAYO A TENSIÓN INDIRECTA

De acuerdo a las gráfica N° 8 se puede observar que en el ensayo a Tensión Indirecta el primer, segundo y tercer grupo de las briquetas cumplen con las especificaciones, el cuarto y quinto grupo de briquetas no cumple con las especificaciones esto se debe a que ese grupo de las muestras a ensayar sufrieron un daño superior, quedando fuera de rango.

Tabla N° 87. Resultados del ensayo a Tensión Indirecta, cemento asfáltico BETUFLEX 60-85.

Humedad (días)	Temperatura °C	Resistencia compresión (kg/cm ²)
0	1-25	15,4
24	60	14,7
24	25	15,1
48	40	9,44
72	50	6,9

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 9. Tiempo vs Resistencia a compresión CA BETUFLEX 60-85.



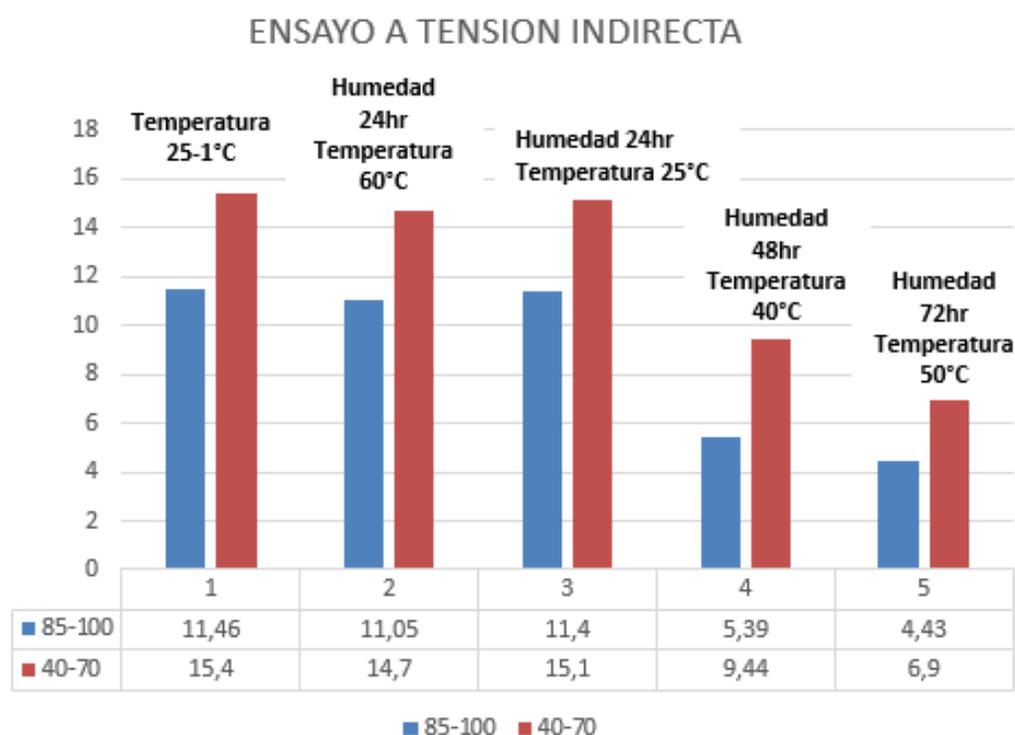
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al gráfico N° 9 se puede observar que en el ensayo a Tensión Indirecta el primer, segundo y tercer grupo de las briquetas cumplen con las especificaciones técnicas, el cuarto y quinto grupo de briquetas no cumplen, esto se debe a que ese grupo de muestras

a ensayar sufrieron un daño superior, quedando fuera de rango también se puede apreciar que no existe una diferencia significativa con el asfalto convencional en cuanto a su comportamiento pero si una clara diferencia de mayor resistencia a compresión en el asfalto modificado.

4.18 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL Y MODIFICADO EN RELACIÓN A DIFERENTES HUMEDADES Y TEMPERATURAS

Gráfico N° 10 comparación de la resistencia a compresión.



Fuente: Elaboración propia

Humedad por 24 horas con una temperatura de 60°C

En ambos tipos de mezcla asfáltica convencional y modificada se pudo verificar que cumplen con el índice de resistencia conservada que sobrepasaron el 85% de la estabilidad patrón, dando un resultado de la mezcla asfáltica convencional con un porcentaje del 96,42% y la mezcla asfáltica modificada con un porcentaje del 95,45%. Obteniendo una diferencia porcentual de la resistencia a compresión del 25,58% entre el asfalto convencional y el modificado. Verificando que el asfalto modificado BETUFLEX 60-85

nos brinda mayor resistencia compresión que el convencional 85-100 por las características poliméricas que cuenta.

Humedad por 24 horas con una temperatura de 25°C

En ambos tipos de mezcla asfáltica convencional y modificada se pudo verificar que cumplen el índice de resistencia conservada que sobrepasaron el 85% de la estabilidad patrón, dando un resultado de la mezcla asfáltica convencional con un porcentaje del 99,48% y la mezcla asfáltica modificada con un porcentaje del 98,06%. Obteniendo una diferencia porcentual de estabilidad del 24,83% entre el asfalto convencional y el modificado. Verificando que el asfalto modificado BETUFLEX 60-85 nos brinda mayor compresión que el convencional 85-100, por las características poliméricas que cuenta. En este grupo de briquetas se pudo encontrar el pico más alto de resistencia a compresión en relación a los otros tiempos de humedad.

Humedad por 48 horas con una temperatura de 40°C

En ambos tipos de mezcla asfáltica convencional y modificada no se encuentran dentro el rango del porcentaje de 85% del índice de resistencia por lo cual no cumple con las especificaciones debido a un alto contenido de humedad y el incremento de temperatura provocando que sufra un gran daño, la convencional con un porcentaje de 47,03% y la modificada con un porcentaje de 61,30% no cumplen con el rango. Existe una diferencia porcentual de la resistencia a compresión del 42,9 % entre el asfalto convencional y el modificado.

Humedad por 72 horas con una temperatura de 50°C

En ambos tipos de mezcla asfáltica convencional y modificada no se encuentran dentro el rango del porcentaje de 85% del índice de resistencia conservada por lo cual no cumple con las especificaciones debido a un alto contenido de humedad y el incremento de temperatura provocando que sufra un gran daño, la convencional con un porcentaje de 38,66% y la modificada con un porcentaje de 44,81% no cumplen con el rango. Existe una diferencia porcentual de la resistencia a compresión del 35,80 % entre el asfalto convencional y el modificado.

En este grupo de briquetas nos dio valores inferiores en comparación a los otros resultados porque al estar sometidos por mucho tiempo en humedad la mezcla asfáltica tiende a reducir sus características de resistencia a compresión.

4.19 RESULTADOS DE LAS VARIABLES

4.19.1 Variable independiente

En la presente investigación realizada en el punto 1.6.1 Definición de las variables se determinó como variable independiente a los tiempos de saturación a diferentes temperaturas y el tipo de cemento asfáltico a emplearse de manera de poder evaluar su comportamiento de las propiedades más relevantes de una mezcla asfáltica.

4.19.2 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

4.19.3 Resultados de la variable independiente y dependiente

Tabla N° 88. 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 0 hrs-(25- 1°C)	2,323	4,15	78,95	19,70	2054,8	13,50
	CA 85-100 24 hrs-60°C	2,324	5,46	67,87	17,00	1831,9	13,80
	CA 85-100 24 hrs-25 °C	2,320	4,25	76,37	17,98	2891,7	14,37
	CA 85-100 48 hrs-40°C	2,323	4,14	76,84	17,89	1966,9	13,37
	CA 85-100 72 hrs-50°C	2,319	4,28	76,21	18,01	1200,6	12,13
	CA BETUFLEX 60-85 0 hrs-(25- 1°C)	2,331	3,91	80,04	19,57	3028,4	15,57

CA BETUFLEX 60-85 24 hrs-60°C	2,330	3,93	77,66	17,59	2829,2	16,33
CA BETUFLEX 60-85 24 hrs-25°C	2,329	3,98	77,44	17,63	4401,3	17,77
CA BETUFLEX 60-85 48 hrs-40°C	2,328	4,01	77,29	17,66	3108,4	16,10
CA BETUFLEX 60-85 72 hrs-50°C	2,334	3,77	78,40	17,45	2960,3	14,37

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 89. Resultados de las variables método Tensión Indirecta.

		Variable dependiente propiedades de las mezclas asfálticas
		Resistencia a compresión (kg/cm ²)
Variable independiente	CA 85-100 0hrs-(25-1°C)	11,46
	CA 85-100 24hrs-60°C	11,05
	CA 85-100 24hrs-25°C	11,40
	CA 85-100 48hrs-40°C	5,39
	CA 85-100 72hrs-50°C	4,43
	CA BETUFLEX 60-85 0hrs-(25-1°C)	15,4
	CA BETUFLEX 60-85 24hrs-60°C	14,7
	CA BETUFLEX 60-85 24hrs-25°C	15,1
	CA BETUFLEX 60-85 48hrs-40°C	9,44
	CA BETUFLEX 60-85 72hrs-50°C	6,9

Fuente: Elaboración propia

4.20 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 a diferentes temperaturas.

Al terminar el diseño y el análisis de los resultados obtenidos de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas se pudo observar que existen mejores resultados utilizando el cemento asfáltico BETUFLEX 60-85 debido a que cumple con todas las especificaciones técnicas, 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

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Dentro del aporte académico el tema de investigación brindara información teórica 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 y temperaturas, 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.
- Podemos concluir que a una temperatura de 25°C saturado por 24 hrs se pudo obtener los mejores resultados en cuanto a sus propiedades físico-mecánico-resistente de una mezcla asfáltica, al usar un mezcla asfáltica modificada BETUFLEX 60/85 con polímeros obtendremos superiores resultados que el convencional BETUPEN PLUS 85-100 debido al ligante polimérico con la que cuentan, el cual tiene mayor resistencia a los agentes atmosféricos que ocasionan el deterioro de la capa de rodadura de un pavimento.
- Las briquetas sometidas a saturación por 72 horas con una temperatura de 50°C no cumplen con las especificaciones técnicas de estabilidad y fluencia del ensayo Marshall en las mezclas asfálticas convencionales BETUPEN PLUS y modificada BETUFLEX 60/85.
- Se comparó las propiedades mecánicas del cemento asfáltico convencional y modificado para el ensayo a tensión indirecta en el cual el cuarto y quinto grupo de briquetas no cumplieron con las especificaciones técnicas los cuales fueron sometidas a saturación por 48hr con una temperatura de 40°C y 72 horas con una temperatura de 50°C.
- Las resistencias a la tracción obtenidas en los grupos de briquetas realizados nos muestran menor deformación cuando la temperatura del ensayo es menor y

inversamente proporcional cuando la temperatura es mayor ya que este ensayo es muy útil para caracterizar el comportamiento de una mezcla al variar el tipo de ligante mostrando resistencias a la tracción sumamente diferentes en las mezclas bituminosas con el cual buscamos tener una mezcla asfáltica bien compactada con mejores resultados.

- La mezcla asfáltica convencional BETUPEN PLUS 85-100 y modificada BETUFLEX 60-85 presentan una diferencia de costo de 958 bs/m³ esto significa un aumento del 29,13% referente al costo de la mezcla convencional, debido a que el cemento asfáltico modificado tiene en su composición agentes poliméricos que incrementa el costo del mismo, porque al crear el cemento asfáltico modificado se debe pasar por diferentes etapas para su preparación.
- Se establece que utilizando las mezclas asfálticas fabricadas con el cemento asfáltico BETUFLEX 60/85 modificado con polímeros, es el más adecuado para emplearlo en 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 ambientales.

5.2 RECOMENDACIONES

- 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.
- Para la compactación de las briquetas elaboradas en el ensayo Marshall se deberá tener muy en cuenta que el número de golpes sea exacto para que el compactado de la biqueta 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.
- 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 las normas técnicas.
- 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 y esta representar para su respectiva comparación.

- Para las mediciones de las propiedades de las mezclas asfálticas obtenidas en el ensayo Marshall y Tracción Indirecta, deberán ser precisas y exactas, y también contar con un buen equipo que este bien mantenido, para que no exista un error de paralaje y se evite datos erróneos.
- Se recomienda ser muy cuidadosos al momento de trabajar con mezclas asfálticas, ya que se trabaja a altas temperaturas, se debe utilizar el equipo de seguridad necesario para la manipulación de los materiales.