

CAPÍTULO I

1.1. Introducción

Una de las principales causas del daño prematuro de los pavimentos asfálticos se atribuye de agua en la mezcla asfáltica. La manifestación más común del deterioro causado por la presencia del agua al interior de una mezcla en pavimentos flexibles se conoce como “stripping” o “pérdida de recubrimiento” del asfalto de la superficie de los agregados, 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. La presencia de agua puede debilitar la estructura del pavimento, llevando a deformaciones como ahuellamientos y hundimientos.

El deterioro causado en las mezclas asfálticas de pavimentación por la presencia de agua ha sido reconocido como una de las principales causas del daño prematuro de los pavimentos asfálticos. Las causas que generan el fenómeno de daño por humedad son complejas y a pesar del alto número de investigaciones realizadas, las causas que lo generan no han sido totalmente entendidas e identificadas.

Es considerado al asfalto como un material impermeable, cuya reacción ante agentes externos no es significativa. No obstante, en las mezclas asfálticas tienen parámetros o variables que determinan su comportamiento aumentando el riesgo a la susceptibilidad por humedad, entre los más comunes se encuentran la condición del sistema de drenaje, la propia estructura del pavimento, el diseño de la mezcla, propiedades del asfalto y el agregado, el uso de aditivos, el servicio que va a prestar y el sitio de colocación, que involucra principalmente el clima y la acción de congelación y descongelación; finalmente, se debe tener en cuenta la variabilidad de construcción.

El asfalto semiabierto es un tipo de pavimento asfáltico que se caracteriza por tener una estructura con vacíos interconectados. Esto permite un mejor drenaje del agua, reduciendo el riesgo de acumulación en la superficie y mejorando la seguridad vial en condiciones de

lluvia. Además, este tipo de asfalto ayuda a disminuir el ruido del tráfico debido a su capacidad de absorción sonora.

1.2. Antecedentes.

Con el objetivo de estudiar los efectos causados por la humedad en mezclas asfálticas, se han desarrollado varios trabajos al respecto, como en 2017, Aranda Bohm Javiera Paz, realizó el proyecto de grado sobre la “Evaluación de la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas en caliente utilizando ensayo de tracción indirecta”, en la universidad técnica Federico Santa María de Chile, donde se evaluó 3 mezclas asfálticas: CA-24, CA-24 más un aditivo de mejoramiento de adherencia, CA-24 más un aditivo de mejoramiento de trabajabilidad, donde mediante el ensayo a tracción indirecta se evidenció que en la mezcla convencional se observó alto daño, siendo una mezcla inestable para condiciones de estudio y se comprobó que el uso de modificadores mediante aditivos mejoradores aumenta la estabilidad de las mezclas, entregando resultados aceptados por la norma, disminuyendo la sensibilidad de las probetas a la humedad y junto con ello, aumentando la confiabilidad de la vida del pavimento y en 2016, Hidalgo Flores Alberto José y Riera Cedeño Joffre Kevin, realizaron el proyecto de grado sobre el “Estudio del daño por humedad en mezclas asfálticas empleando diferentes métodos”, de la universidad católica de Santiago de Guayaquil de Ecuador, donde se utilizó mezclas asfálticas provenientes de 5 plantas de la región Costa del Ecuador, denominadas por las letras A, B, C, D y E, se realizó el estudio del daño por humedad empleando pruebas convencionales (agua hirviendo, tracción indirecta y estabilidad Marshall), y pruebas de desempeño con equipo NAT (módulo de rigidez, fatiga y compresión cíclica), para las pruebas convencionales se obtuvo que: en la prueba de agua hirviendo solo 2 plantas, la D y E, no cumplieron con la exigencia, teniendo porcentaje de despegue inferior al 95%. En las pruebas de tracción indirecta se obtuvieron resultados muy bajos, todos por debajo del 60%, algo inesperado. No obstante, el valor más bajo corresponde a la planta E. En la prueba Marshall los resultados fueron muy particulares para cada una de las plantas. Al respecto, el valor más bajo obtenido lo ofrece la planta E con 58% y el más elevado la planta A con casi el 100% retenido.

Dentro del aporte teórico se enfoca en la evaluación de los efectos de la humedad en las mezclas asfálticas, con un análisis de su influencia en las propiedades de las mismas, de tal manera, se generó un análisis del comportamiento, para mezclas de asfalto, mediante el ensayo Marshall y tracción indirecta, en la prensa Marshall, en estos ensayos se determina las lecturas de estabilidad y fluencia y la resistencia a tracción indirecta para calcular la resistencia remanente y el índice de resistencia conservada, esto para las briquetas sometidas bajo diferentes ciclos de saturación de 24, 36 y 48 hrs, a una temperatura de 60°C. Se busca determinar su comportamiento en cuanto a sus propiedades y probar a nivel de laboratorio que una mezcla modificada tiene mayor resistencia. “evaluación de los efectos de la humedad en la adherencia y resistencia de las mezclas asfálticas” (Calle Ruth 2023)

1. 3. Justificación.

En la actualidad existen presentes varios problemas en distintas vías de la ciudad de Tarija como a nivel nacional en las cuales presentan un daño por el efecto de la humedad presente de manera que afecta bastante en el tránsito de las movilidades sobre los mismos provocando baches y hundimientos en las vías, por lo cual los usuarios son los perjudicados al no poder manejar con seguridad en las diferentes vías de nuestra ciudad hasta dañando la suspensión de los vehículos.

El problema de la humedad en los pavimentos, causa muchos daños y deterioros externa e internamente, es más frecuente en lugares que presenta climas húmedos con periodos de precipitaciones más intensas, los daños por humedad inciden en las propiedades funcionales de mezclas asfálticas que se ven reflejados en la superficie de rodadura, afectando así la estabilidad y durabilidad de una carretera o una vía asfáltica.

Mediante este estudio de evaluación del efecto de la humedad en las mezclas asfálticas semiabiertas se podrá hacer la comparación con las densas y se podrá comparar la calidad de sus propiedades mecánico-resistentes y el efecto que provoca la humedad en la adherencia y resistencia de las mismas y contribuir con recomendaciones para los problemas identificados en la evaluación para garantizar la vida útil de la carretera o vía asfáltica. En este estudio se realizará la evaluación de los efectos que puede provocar la humedad en los deterioros de las mezclas asfálticas con diferentes ciclos de saturación

para saber el comportamiento de la mezcla asfáltica por la presencia de humedad y su influencia en dichas propiedades y posibles consecuencias que pueda ocasionar y de esta manera ayudar a desarrollar alternativas de soluciones y recomendaciones que ayuden con dicho problema.

1.4. Planteamiento del problema

La situación problemática de la investigación es la siguiente:

1.4.1. Situación problemática

En la actualidad en nuestra ciudad de Tarija y hasta a nivel nacional existen deformaciones, fisuraciones, agrietamientos, hundimientos que son problemas muy comunes en nuestras calles, avenidas y caminos que están expuestas a la humedad, no pudiendo cumplir con su vida útil de la misma en los diferentes tramos, adicionando además el constante mantenimiento de las calles, avenidas y caminos que con llevan a gastos adicionales.

La presencia de humedad en las mezclas asfálticas, puede provocar los daños que se puede definir como el deterioro de la capacidad estructural de la mezcla causada por la presencia de agua, disminuyendo la resistencia y la adherencia de los materiales. El deterioro que causa la humedad al interior de la mezcla asfáltica en pavimentos flexibles, se presenta como la pérdida de recubrimiento del material asfalto de la superficie de los agregados se pretende evitar los factores que afectan la duración y calidad de las mezclas asfálticas que puede ocasionar en el desprendimiento progresivo de los agregados de la superficie de la mezcla asfálticas causado por la transividad de los vehículos por el paso de las llantas sobre el material asfáltico.

1.4.2. Problema.

¿Si evaluamos los deterioros en las mezclas asfálticas semiabiertas que provoca la humedad en las propiedades físicas y mecánicas, nos puede brindar información acerca de la incidencia que provoca la humedad y si afecta en los deterioros de las mismas?

1.5. Objetivos.

Los objetivos generales y específicos planteados en la investigación son:

1.5.1. Objetivo general.

Evaluar los deterioros en las mezclas asfálticas semiabiertas, mediante el ensayo de Marshall, péndulo británico y observaciones visuales para determinar los cambios que va ocasionar en las propiedades físicas y mecánicas por el efecto de la humedad.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Realizar en laboratorio la caracterización de los materiales, agregados pétreos y del cemento asfáltico.
- Definir la dosificación óptima de las mezclas asfálticas densas y semiabiertas.
- Diseñar las mezclas asfálticas densas y semiabiertas por el método Marshall utilizando el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.
- Analizar la estabilidad, fluencia, % de vacíos y densidad, de las mezclas asfálticas después de la rotura de briquetas.
- Comparar los resultados de las mezclas asfálticas semiabiertas con las densas.
- Saturar las briquetas en diferentes tiempos de saturación para simular la humedad y sus efectos que puede provocar en los deterioros e identificar que tipos de deterioros ocasiona.
- Realizar el desgaste de las mezclas asfálticas semiabiertas mediante el ensayo del péndulo.
- Realizar conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas sobre el efecto de la humedad en la resistencia de las mezclas asfálticas.

1.6. Hipótesis.

Si, el efecto de las humedades provoca los deterioros en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas semiabiertas.

1.7. Variables.

1.7.1. Variables independientes.

- Deterioros

1.7.2. Variables dependientes.

- Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.
 - Estabilidad.
 - Fluencia.
 - Porcentaje de vacíos, Densidad.

1.7.3. Operacionalización de variables.

Tabla 1.1. Operacionalización de variables.

VARIABLE	CONCEPTUALIZACION	OPERACIONALIZACION		
		Dimensión	Indicador	Valor acción
Variable independiente Deterioros	Se refiere a los procesos físicos, químicos y mecánicos que degradan la calidad a la mezcla asfáltica en este caso el tiempo de saturación y la temperatura.	Textura de la briqueta	Visual antes de la saturación.	Antes de saturar hay ver y medir textura
			Visual después de la saturación.	Se evalúa los cambios que tuvo con el tiempo y temperatura de saturación de manera visual.
Variable dependiente Propiedades de las mezclas asfálticas	Se refiere a los parámetros, que caracterizan a la resistencia de una mezcla asfáltica que determinan su desempeño en pavimentos.	Mezcla asfáltica semiabierta	Propiedad mecánica	Análisis de estabilidad o resistencia por el método Marshall
			Propiedad física	Análisis de manera visual a las briquetas después de someterle a agua y a diferentes temperaturas

Fuente: Elaboración propia.

1.8. Diseño metodológico.

1.8.1. Componentes.

1.8.2. Unidades de estudio y decisión muestral.

La unidad de estudio, población, muestra y selección de las técnicas de muestreo de investigación, se describe a continuación:

1.8.2.1. Unidad de estudio.

Los deterioros que causa la humedad en mezclas asfálticas densas y semiabiertas.

1.8.3. Población.

Todos los deterioros de las mezclas asfálticas semiabiertas que causa la humedad que se puede encontrar para el clima de la ciudad de Tarija.

1.8.4. Muestra.

Los tiempos de saturación de 1, 2, 5, 6, 7, 8, 11, 12 y 13 días que adicionamos a las mezclas asfálticas semiabiertas utilizando un mismo agregado a temperaturas divididas en tres grupos de 2, 20 y 42°C que simulan los diferentes climas de la ciudad de Tarija.

1.8.5. Muestreo.

Se hará la evaluación de los deterioros de las mezclas asfálticas semiabiertas que provoca la humedad en el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas estabilidad, fluencia mediante el ensayo de laboratorio Marshall, observando los cambios producidos por diferentes ciclos de saturación a diferentes temperaturas en las mezclas asfálticas semiabiertas.

1.9. Métodos y técnicas empleadas.

1.9.1. Selección de métodos y técnicas.

Los métodos y técnicas empleadas en la investigación son los que se describen a continuación:

1.9.2. Técnicas.

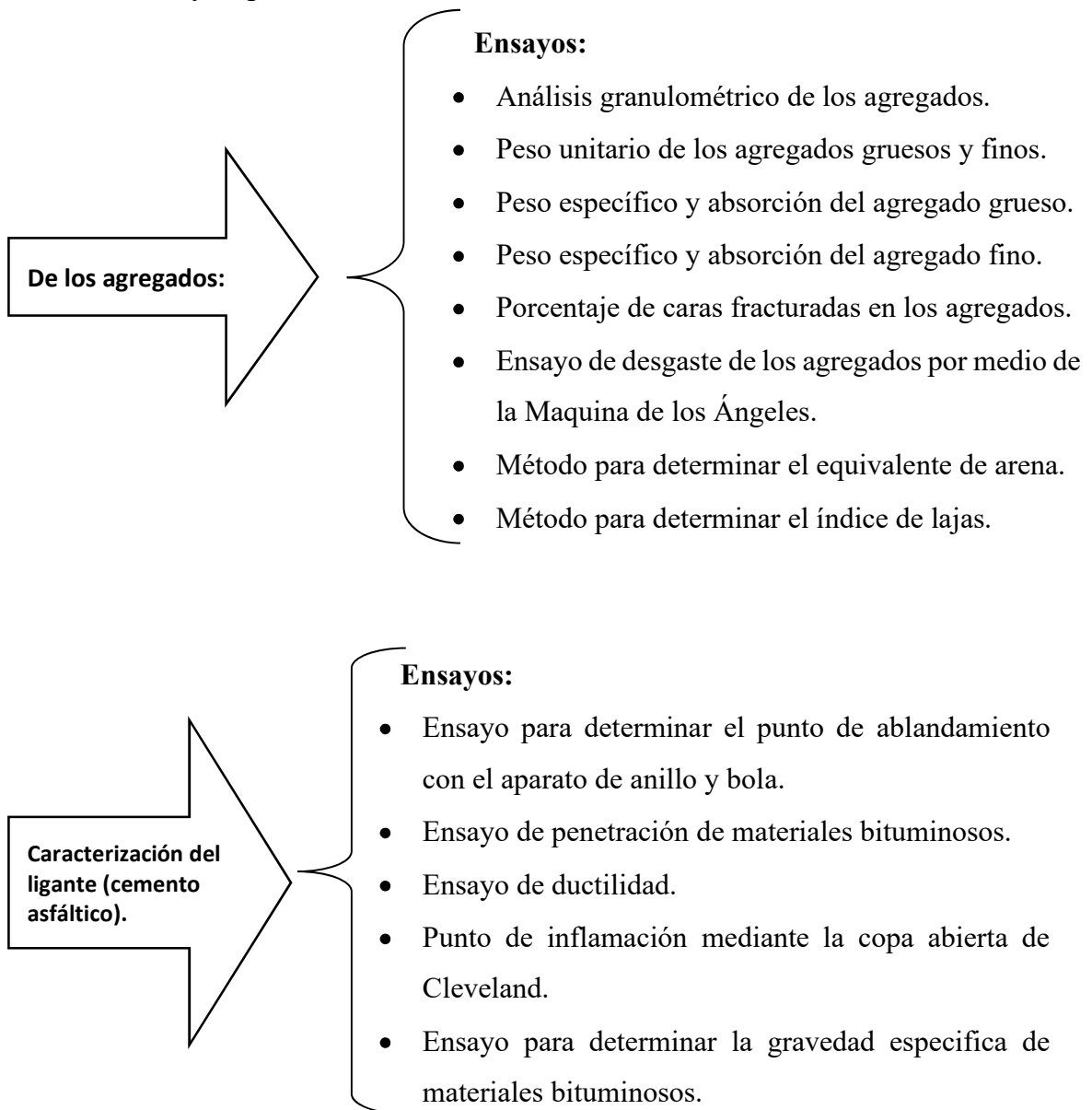
Se realizará diferentes métodos y técnicas de investigación para recolectar datos y resultados de las diferentes prácticas de laboratorio que se describen a continuación:

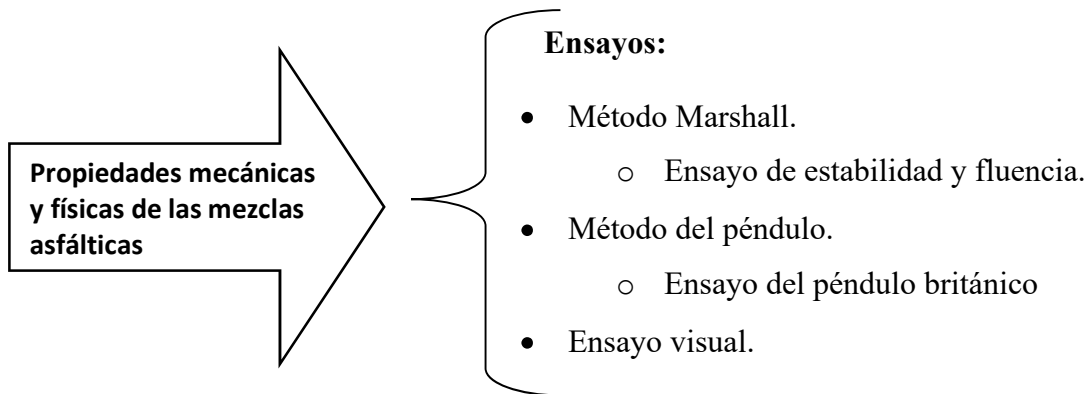
El método que se utilizara para la presente investigación mediante el cual estudiaremos, seleccionaremos y agruparemos las variables a analizar, para así analizar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, para verificar si estas cumplen las especificaciones

mínimas de la fluencia y estabilidad de diseño Marshall y la adherencia entre agregado y cemento asfáltico de las mezclas asfálticas calientes.

Para ello se realizarán los ensayos establecidos por norma para la caracterización del agregado, cemento asfáltico y para el diseño de las mezclas asfálticas por el método Marshall, posteriormente se someterán a ciclos de saturación diferentes y se verificará que cumplen las especificaciones mínimas de la fluencia y estabilidad de Marshall.

1.9.3. Los ensayos que se realizaran:





1.10. Descripción de los instrumentos.

Para la caracterización del material pétreo, caracterización del material ligante, ensayos Marshall.

Horno eléctrico: el horno eléctrico es utilizado para el secado de los agregados de aportación, y debe contar con una temperatura constante de 100 a 110°C.

Balanza: la balanza es usada para obtener los distintos pesos que se requiera, con una sensibilidad de 0.1 gr.

Juego de tamices: el juego de tamices debe seguir la norma ASTM E-11, lo cual contiene los tamices 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°200, tapa y base.

Termómetro: Es un instrumento utilizado para medir la temperatura en grados centígrados.

Penetrómetro de asfalto: que sirve para determinar la penetración del betún en estudio.

Aparato para la determinación del punto de inflamación Cleveland de copa abierta: con el cual se determina el punto de ignición o punto de llama del betún en estudio.

Ductilímetro: con el cual se determina la ductilidad del betún, a una temperatura estándar de 25 °C.

Peso específico: que sirve para determinar la densidad del cemento asfáltico.

Equipo de punto de ablandamiento: con el cual se realizará el ensayo.

Moldes de compactación Marshall: en estos moldes se vaciará la mezcla asfáltica, creando

Compactador para moldes Marshall: este compactador sirve para compactar las briquetas según especificaciones técnicas.

Marco de carga multiplex Marshall: este marco sirve para disponer en él los distintos cabezales, según las pruebas que se requiera.

Herramientas y accesorios del permeámetro: como válvulas de control tubería graduada difusor, rebosadero de excesos, tuberías flexibles y transparentes que se pueda ver el nivel del agua.

Cabezal de rotura Marshall: este cabezal junto con el marco multiplex, permite realizarlos ensayos de estabilidad y fluencia para las briquetas en análisis

El péndulo británico: Equipo utilizado para medir la resistencia al deslizamiento de superficies, especialmente pavimentos, mediante un ensayo dinámico de fricción

1.11. Procedimiento de aplicación.

1.11.1. Preparación previa.

Dentro de la preparación previa a los ensayos, es necesario contar con tablas que permitan la tabulación de datos, donde especifique el lugar de obtención, el tipo de muestra, el ensayo a realizar, la numeración respectiva y los datos que se van a necesitar para cada tipo de ensayo.

1.12. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.

1.12.1. Tratamiento de los datos.

Se va a realizar un tratamiento estadístico para verificar la confiabilidad de los resultados obtenidos en la presente investigación.

1.13. Alcance de la investigación.

En la presente investigación se realizó la evaluación de los deterioros que provoca los efectos de la humedad en las propiedades de las mezclas asfálticas densas y semiabiertas, para obtener conocimientos sobre su comportamiento frente a la incidencia por humedad en sus propiedades y poder prever posibles daños que podría ocasionar. La investigación se centra en determinar la resistencia y los cambios que ocasiona la humedad en las

propiedades de las mezclas asfálticas semiabiertas midiendo: estabilidad, fluencia y el desgaste mediante el péndulo británico.

En la ejecución se realizó los ensayos de caracterización de los agregados que provienen de la posta municipal, así también se realizara los ensayos de caracterización del cemento asfáltico.

Posteriormente se realizó el diseño de la mezcla asfáltica según el método Marshall para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico, tanto para la mezcla convencional 85/100.

Una vez elaboradas las briquetas con el método de diseño Marshall, se las sometió a ciclos de saturación para la evaluación de la humedad los cuales se realizó para un tiempo de 0, 2, 6, 8, 10, y 12 horas, a una temperatura de 60°C y se evaluó la resistencia con el procedimiento Marshall determinando su estabilidad y fluencia y la resistencia remanente.

Con los resultados obtenidos se realizará un análisis comparativo de las mezclas asfálticas convencionales y semiabiertas, para determinar las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

En el capítulo I se desarrolla el conjunto de actividades que se pretende realizar en la investigación, los objetivos específicos que se pretenden cumplir para llegar a su objetivo general, se presenta la fundamentación que respalda la validez de la investigación, exponiendo la problemática a resolver y la información que se busca obtener. Además, se detallan las ventajas y ganancias que surgirán como resultado de la ejecución exitosa de la investigación.

El capítulo II se centra en la recopilación de información bibliográfica que ayudaran a la presente investigación, contendrá la información necesaria dando los conceptos necesarios para los ensayos y las normativas a seguir en la investigación.

En el capítulo III se desarrolla la realización de los ensayos, la selección de los áridos en la cantera, obtención de los agregados finos y gruesos, y la caracterización de los materiales tanto de los agregados como del cemento asfáltico para obtener sus propiedades mediante ensayos en laboratorio.

En el capítulo IV se continuará con la etapa de cálculo, diseño y el análisis de los ensayos necesarios para cumplir los objetivos de la investigación, donde se realizarán ensayos para obtener el contenido optimo del cemento asfáltico tanto como para las mezclas asfálticas densas y las semiabiertas, donde obtendremos la comparación de la resistencia entre una mezcla densa y una mezcla semiabierta.

En el capítulo V contiene las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación, donde se dará a conocer si se cumplió con los objetivos establecidos en la planificación del proyecto, y con la hipótesis establecida.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Pavimentos.

El pavimento es la cara de una carretera o vía. Es la parte por la cual se circula y por ello es la que el usuario final del proyecto experimenta. La percepción del usuario acerca de la calidad de una carretera no depende del diseño estructural de las capas internas de una carretera, ni de la calidad en el diseño de las obras anexas, sino que va a depender directamente de su percepción acerca de la calidad del pavimento y ello a su vez, dependerá exclusivamente, de su percepción acerca de la uniformidad del material percibido a partir del tránsito, en una mayor medida; y en una menor medida, de su percepción acerca de la duración de los materiales, para el caso de usuarios que frecuentemente transitan por una carretera.

Para la organización de los Estados Americanos, a través de su organismo técnico denominado congresos Panamericanos de carreteras, define a un pavimento como: “La superestructura de una vía, construida sobre la sub-rasante, y compuesta normalmente por la sub-base, la base y la capa de rodamiento, cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir los esfuerzos al terreno, distribuyéndolos en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales, así como proveer una superficie lisa y resistente para los efectos del tránsito”

Un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitarán y del volumen de tráfico.

2.2. Tipos de pavimentos.

Existen tres grupos generales de pavimentos, el primero de ellos es el de los conocidos como los pavimentos flexibles, el segundo es el de los pavimentos rígidos y finalmente se tiene un tercer tipo, conocido como el grupo de los pavimentos compuestos o también conocido como semirrígido.

Los pavimentos flexibles por lo general se componen de asfalto colocado sobre una base granular o sub base, que es una capa soportada por el suelo compactado, que generalmente se conoce como el subgrado o subrasante. Algunas de las de las superficies asfaltadas consisten en una capa tratada con bst, mientras que otras tienen componentes de mayor rigidez que las convierten en mezclas muy cercanas a las mixtas. La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa.

Los pavimentos rígidos generalmente se componen de una capa de Concreto Portland colocada sobre una subrasante con o sin una capa intermedia de base. Los pavimentos compuestos típicamente son el resultado de procesos de rehabilitación en donde el concreto portland es usado para subsanar algunas de las partes dañadas en una carretera con pavimento de asfalto o en los casos en los que el pavimento de asfalto es empleado para reparar las zonas dañadas de un pavimento de concreto portland.

La rigidez o flexibilidad de un pavimento se refiere a la manera en la que la capa de pavimento transmite el esfuerzo y la deflexión a las capas subyacentes. Idealmente, las capas de pavimentos flexibles transmiten el esfuerzo de manera uniforme y las deflexiones de manera no-uniforme; mientras que se invierte para las capas de pavimento rígido. En la práctica, las distribuciones de esfuerzo y deflexiones en el asfalto y el concreto portland dependen de la dureza relativa de estas capas en relación con la dureza de las capas granulares subyacentes correspondientes, con un radio mucho más bajo para el asfalto que para el concreto portland. Estas características son esenciales en el proceso de diseño de un pavimento.

Típicamente, una sección de asfalto se compone de una capa geo textil por encima de la subrasante, sobre la que se ponen una capa conocida como sub-base y una capa conocida

como base, que va por encima de ésta, ambas de materiales granulares con propiedades diferenciadas y después la capa de asfalto cubierta a manera de emparedado, por dos capas de material impermeable, una para sello y la otra para compresión y base, que impide al agua que se mine a las capas de base y sub-base ocasionando problemas y permitiendo con ello el drenado o la evaporación. Cuando estas capas están construidas sin el seguimiento de las especificaciones básicas, el agua se mina hasta las capas interiores llevándose el material y ocasionando socavones que, ante el paso de los vehículos pesados, cede, originando baches que con la propia circulación y el agua subsecuente se van haciendo cada vez más grandes.

2.3. El Asfalto o ligante asfáltico.

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

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

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

El asfalto en vías de tránsito es un material utilizado para la construcción y mantenimiento de carreteras, calles, autopistas y otras superficies pavimentadas. Actúa como un aglutinante que mantiene unidas las partículas de agregado, proporcionando una superficie duradera, suave y resistente al agua.

El asfalto para pavimentación a temperatura atmosférica normal (ambiente) es un material negro, pegajoso, semisólido y altamente viscoso. Está compuesto primordialmente de moléculas complejas de hidrocarburos, pero también contiene otros átomos, como ser oxígeno, nitrógeno y sulfuro. Debido a que el asfalto de pavimentación es pegajoso, se adhiere a las partículas del agregado y puede ser usado para cementarlas o ligarlas dentro del concreto asfáltico. El asfalto para pavimentación es impermeable y no lo afecta la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Es llamado un material termoplástico porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfría. Esta combinación única de características y propiedades es una razón fundamental para que el asfalto sea un material de pavimentación importante.

2.4. Mezclas asfálticas en caliente.

Es el producto resultante de la mezcla en caliente de áridos y polvo mineral (filler) recubiertos por una película continua de ligante asfáltico, uniformemente combinados, en proporciones previamente especificadas. Normalmente, las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5 % de polvo mineral (filler) y otro 5 % de ligante asfáltico.

Se denominan mezclas en caliente, a aquellas mezclas donde los áridos y el ligante asfáltico (convencional o modificado con polímeros), se someten a elevadas temperaturas, sobre los 150 °C, para obtener una buena trabajabilidad de la mezcla. El proceso de mezclado se realiza en una planta asfáltica que posteriormente es transportada, colocada y compactada en obra a temperaturas muy superiores al ambiente.

Estas mezclas se emplean en la construcción de pavimentos, ya sea en su base asfáltica, capa asfáltica intermedia y carpeta de rodadura, cuya función es proporcionar una superficie cómoda, segura y económica para los usuarios de las vías y además transmite las cargas vehiculares hacia las capas más profundas, absorbiendo una parte de esta sollicitación.

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

Tabla 2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas de acuerdo a su granulometría.

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.4	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1 ½"	1"	¾"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
		% PASA									
DENSE	MDC-25		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-19			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-10					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
SEMIDENSE	MSC-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-19			95-100	80-95	65-80	38-55	24-36	9-20	6-12	3-7
GRUESA	MGC-38	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-25		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
ALTO MODULO	MAM-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO (±)		—	4%					3%			2%

Fuente: INVIAS (2012) Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para carreteras.

2.5. Mezclas asfálticas semiabiertas.

Las mezclas asfálticas semiabiertas (también conocidas como mezclas semi densas) son un tipo de mezcla de asfalto que tiene una estructura con un porcentaje de vacíos más alto que las mezclas densas convencionales, pero más bajo que las mezclas abiertas. Esto les proporciona una combinación de características de ambos tipos.

Las mezclas asfálticas semiabiertas son un tipo de mezcla utilizada en la construcción de pavimentos. Estas mezclas se caracterizan por tener una estructura porosa que permite la infiltración de agua, lo que ayuda a reducir el riesgo de acumulación de agua en la superficie del pavimento y mejora la seguridad vial.

Estas mezclas se utilizan principalmente en capas de rodadura y en capas inferiores de pavimentos flexibles y semi-rígidos. La estructura porosa de las mezclas asfálticas semiabiertas también contribuye a mejorar la resistencia al deslizamiento y la durabilidad del pavimento

2.5.1. Características principales:

- Permeabilidad: Ofrecen una cierta permeabilidad que permite el drenaje del agua de la superficie, lo cual reduce el riesgo de formación de charcos y mejora la seguridad al reducir la posibilidad de aquaplaning (o hidroplaneo es un fenómeno que ocurre cuando una capa de agua se interpone entre las llantas de un vehículo y la superficie de la carretera).
- Durabilidad: Tienen una buena durabilidad y resistencia a los daños causados por el tráfico pesado.
- Flexibilidad: Estas mezclas presentan una mayor flexibilidad en comparación con las mezclas densas, lo que les permite adaptarse mejor a las deformaciones del pavimento.

2.5.2. Aplicaciones:

- Se utilizan principalmente en capas de rodadura para carreteras con tráfico moderado a alto. Estas mezclas son adecuadas para carreteras que soportan un flujo considerable de vehículos, ya que proporcionan una buena resistencia al desgaste y a las cargas repetitivas.
- Son especialmente útiles en climas húmedos o lluviosos debido a su capacidad de drenaje, las mezclas semiabiertas son efectivas en regiones donde las precipitaciones son frecuentes. Ayudan a evitar la formación de charcos y reducen el riesgo de aquaplaning.
- Áreas con problemas de escorrentía. En zonas donde el drenaje superficial es un problema, estas mezclas pueden ayudar a controlar el agua, disminuyendo así el deterioro de la superficie y mejorando la seguridad vial.
- Carreteras de alta velocidad. Debido a su capacidad de drenaje y alta fricción, son ideales para autopistas y vías donde se requiere una rápida evacuación del agua para mantener la seguridad a altas velocidades.

2.6. El ensayo de Marshall.

El método Marshall, también conocido como ensayo Marshall, es una prueba de laboratorio utilizada para diseñar y evaluar mezclas asfálticas, principalmente en la

construcción de pavimentos. Este método permite determinar las propiedades y el desempeño de las mezclas asfálticas bajo condiciones específicas.

Máquina Marshall. - Aparato eléctrico, diseñado para aplicar carga a las probetas durante el ensayo, a una velocidad de deformación de 50 ± 1 mm/min. Está equipada con un anillo de prueba calibrado para determinar la carga aplicada, de una capacidad superior a 25 kN y una sensibilidad de 45N con un dial graduado de 0,0025 mm y un medidor de flujo con una precisión de 0,01 mm, para determinar la deformación que se produce en la carga máxima. Se puede emplear también esta máquina equipada con sensor y registrador de estabilidad v/s fluencia.

Figura 2.1. Máquina del ensayo Marshall



Fuente: Elaboración propia.

El método de dosificación de mezclas que ha alcanzado la mayor difusión es el basado en el ensayo Marshall. En principio, es aplicable solo a los hormigones bituminosos en caliente, en los que además el tamaño máximo del árido no exceda de los 20 mm; sin embargo, a veces se aplica también a la formulación de otros tipos de mezcla. El ensayo fue desarrollado durante la segunda guerra mundial por US Army Corps of Engineers y posteriormente lo hizo suyo el Asphalt Institute. Consiste en la rotura de unas probetas cilíndricas de 4 pulgadas (101,6 mm) diámetro y 2 1/2 pulgadas (63,5 mm) de altura mediante la aplicación de una mordaza perimetral, con una velocidad de deformación constante de 50,8 mm/min (2 pulgadas/min). El proceso es el siguiente:

- Una vez fijada una granulometría de los áridos y el tipo de ligantes, se fabrican las probetas con diferentes contenidos del ligante dentro de unos intervalos sancionados por la experiencia (al menos, cuatro probetas por cada contenido): por ejemplo, 3,5, 4, 4,5, 5 y 5,5 por 100 sobre la masa de los áridos. A continuación, se procede a su compactación en un molde mediante la denominada maza Marshall, de características normalizadas, aplicando unos golpes en cada una de las dos caras planas de la probeta y cuyo número (generalmente, 50 o 75 por cara) depende de las características del tráfico.
- Desmontadas las probetas tras su enfriamiento, se determina su densidad aparente con una balanza hidrostática. Este dato, junto con los pesos específicos del conjunto de los áridos y del ligante, permite el cálculo de las proporciones de los huecos en mezcla (porosidad) y de los huecos en áridos (suma de la porosidad y del volumen relativo ocupado por el ligante).

2.6.1. Determinación del peso específico total.

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos. El peso específico total se determina usando el procedimiento descrito en la norma AASHTO T 166.

2.6.2. Ensayo de estabilidad y fluencia.

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

1. Las probetas son calentadas en el baño de agua a 60° C (140° F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
2. La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste de un dispositivo que aplica a una carga sobre la probeta y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).

3. La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 pulgadas) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta puede resistir.
4. La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

2.6.3. Valor de estabilidad Marshall.

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador del cuadrante. Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de Estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación existe una tendencia a pensar que, si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

2.6.4. Valor de fluencia Marshall.

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito.

2.6.5. Análisis de densidad y vacíos.

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de Probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

2.6.6. Análisis de vacíos.

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos). Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado, o directamente mediante un ensayo normalizado (AASHTO T 209) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar. El peso específico total de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y en agua.

2.6.7. Análisis de peso unitario.

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 1000 Kg/m³ (62.4 lb/ft³).

2.6.8. Análisis de V.A.M.

Los vacíos en el agregado mineral, VAM, está definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El VAM es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, el VAM puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.

2.6.9. Análisis de R.B.V.

Los vacíos llenos de asfalto, RBV, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (RBV) que se encuentran llenos de asfalto. El VAM abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el RBV se calcula al restar los vacíos de aire de VAM, y luego dividiendo por el VAM, y expresando el valor final como un porcentaje.

2.7. Capa de rodadura

Una mezcla en caliente de pavimento asfáltico consiste en una mezcla uniforme de asfalto y agregado caliente. Casi todo el asfalto utilizado hoy en día proviene de la refinación de

crudos de petróleo. El cemento asfáltico (asfalto de pavimentación) está clasificado de acuerdo a su viscosidad o penetración. Una de las propiedades físicas más importantes de lasfalto en la pavimentación son: durabilidad, adhesión y cohesión, susceptibilidad a la temperatura, y resistencia al envejecimiento y al endurecimiento. Los ensayos típicos de asfalto constan de pruebas que tienen como propósito determinar la viscosidad de cemento asfáltico, su penetración, su punto de inflamación, sus características de envejecimiento y endurecimiento, su ductilidad, su solubilidad y su peso específico

Las mezclas asfálticas en caliente pueden ser producidas para un amplio rango de combinaciones de agregados, cada uno con sus características particulares adecuadas al diseño específico y a sus usos en la construcción. Paralelamente a la cantidad y tipo de asfalto usado, se determinan las características principales de la mezcla por las cantidades relativas de:

1. Agregado grueso, retenido en tamiz de 2,36 mm (N° 8)
2. Agregado fino, que pasa el tamiz de 2,36 mm (N° 8)
3. Polvo mineral, que pasa el tamiz de 75 μ m (N°200)

2.8. Diseño de una Mezcla Asfáltica.

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

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

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

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

El diseño de mezclas asfálticas es un proceso fundamental para asegurar que los pavimentos cumplan con los estándares de calidad, seguridad y durabilidad.

2.8.1. Algunas consideraciones clave:

- **Granulometría de los agregados:** La distribución de tamaños de los agregados afecta la estabilidad y la durabilidad de la mezcla.
- **Temperatura de mezclado y compactación:** Las temperaturas adecuadas son esenciales para asegurar una buena adherencia entre el asfalto y los agregados.
- **Condiciones ambientales:** Las mezclas deben diseñarse considerando las condiciones climáticas y el tipo de tráfico que soportarán.

2.9. Factores que influye en el daño por humedad.

El daño por humedad de las mezclas asfálticas puede ocurrir debido a distintos factores, por lo que es difícil de predecir el modo de falla. En general, la susceptibilidad a la humedad incrementa por cualquier factor que haga aumentar el contenido de humedad de la mezcla bituminosa, disminuyendo la adhesión del ligante a la superficie del agregado.

Adhesión entre el asfalto y los agregados: La calidad del enlace entre el asfalto y los agregados es crucial. Si el enlace es débil, el agua puede infiltrarse y causar la separación del asfalto de los agregados.

Contenido de vacíos en la mezcla: Las mezclas con altos contenidos de vacíos son más susceptibles al daño por humedad, ya que el agua puede circular y acumularse en los poros.

Presencia de emulsificantes: Algunos aditivos y minerales, como las arcillas, pueden actuar como emulsificantes y facilitar la formación de emulsiones entre el agua y el asfalto, lo que debilita el enlace.

Condiciones ambientales: La cantidad y frecuencia de la precipitación, así como las temperaturas extremas, pueden acelerar el proceso de daño por humedad.

Propiedades del asfalto: La composición química y las propiedades físicas del asfalto pueden influir en su susceptibilidad al daño por humedad. Por ejemplo, asfaltos con mayor contenido de ciertos compuestos pueden ser más propensos a la contracción y separación en presencia de agua.

Métodos de construcción: La calidad de la construcción y la compactación de la mezcla asfáltica

también juegan un papel importante. Una compactación inadecuada puede dejar espacios vacíos que faciliten la infiltración de agua.

2.9.1. La Humedad.

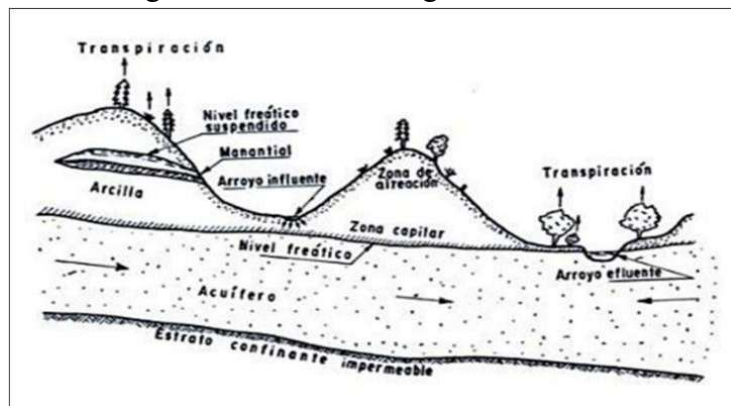
Procedencia del agua El agua que afecta a la carretera puede provenir de:

- La superficie, por la infiltración del agua de escorrentía.
- El propio terreno natural, por la presencia de capas freáticas o de manantiales.

2.9.2. Nivel freático.

Se denomina nivel de la capa freática al lugar geométrico de los niveles a que alcanza la superficie del agua en pozos de observación en libre comunicación con los vacíos del suelo "in situ". El nivel freático puede definirse también como la superficie superior de una masa de agua subterránea, es el nivel de agua en un agujero abierto en el terreno, y es el nivel al cual la presión del agua es cero.

Figura 2.2. Formas de agua subterránea.



Fuente: pavimentos 2da edición: Materiales, construcción y diseño.

2.9.3. Cemento asfáltico

La viscosidad indica concentraciones más altas de asfaltenos. Estas moléculas de mayor tamaño crean una mejor adherencia, por lo tanto, viscosidades más bajas, pueden representar concentraciones más bajas de asfaltenos, que generalmente son más susceptibles al desprendimiento.

2.9.4. Características del agregado

Normalmente, los agregados que son hidrófilos (atraen el agua) son más propensos a tener problemas con el desprendimiento que los agregados hidrófobos (repulsión al agua).

2.9.5. Volumen de Aire

Cuando se tiene una mezcla abierta, con porcentaje de vacíos sobre el 8 por ciento, permite que el agua penetre fácilmente en la mezcla asfáltica y junto con ello, causar daño de humedad a través de la presión de poro o expansión de hielo. Es por esto, que el diseño de las mezclas limita el contenido de ligante y la graduación del agregado. Los vacíos de aire excesivos pueden ser un problema tanto en el diseño de la mezcla o en la construcción. En este trabajo de investigación, sólo se aborda el primero de estos problemas.

TABLA 2.2. Proporción de vacíos de las mezclas asfálticas.

TIPO DE MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS
CERRADAS O DENSAS	La proporción de vacíos no supera el 6%
SEMIDENSAS O SEMIABIERTA	La proporción de vacíos está entre el 6 % el 10%
ABIERTAS	La proporción de vacíos supera el 12 %.
POROSAS O DRENATES	La proporción de vacíos es superior al 20 %.

Fuente: Mezclas asfálticas. Alejandro Padilla Rodríguez.

2.9.6. Condiciones climáticas al momento de la construcción.

En condiciones de bajas temperaturas se puede conducir a una mala compactación, generando alto contenido de volumen de vacío y un pavimento relativamente permeable. Esto aumenta la posibilidad de agua en la estructura del pavimento y, por lo tanto, mayor susceptibilidad al daño por humedad. Además, las condiciones de climas húmedas, siempre pueden aumentar el contenido de humedad en las mezclas bituminosas.

2.9.7. Clima.

Los ciclos de hielo-deshielo y las fluctuaciones de temperatura pueden permitir mayor humedad en la estructura del pavimento, además, con estos ciclos, se genera una presión interna dentro de la probeta, que hace más fácil los desprendimientos del material.

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.

2.9.8. Tráfico.

Si existe agua presente en la mezcla asfáltica, una mayor carga de tráfico aumenta la probabilidad del daño por humedad debido principalmente a un aumento en la presión de los poros, ya que el agua se encuentra atrapada en los poros, la carga vehicular tiende a comprimir estos espacios, empujando el aglomerante de las partículas de agregados. Por otro lado, la rueda del vehículo pasa sobre el pavimento, tendiendo a mover el agua. Esto se conoce con el nombre de lavado hidráulico, en donde la rueda, mediante un movimiento de fregado, puede eliminar el ligante de asfalto de la superficie del agregado.

2.10. Efecto del Agua en las Mezclas Asfálticas.

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

2.11. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas.

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclar es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una de estas propiedades, cómo es evaluada, y que representa en términos de rendimiento del pavimento.

2.11.1. Estabilidad.

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

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

2.11.2. Durabilidad.

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos. Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la

separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además, el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos. Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

2.11.3. Impermeabilidad.

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

2.11.4. Trabajabilidad.

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

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

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

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

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

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

2.11.5. Flexibilidad.

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada y bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

2.11.6. Resistencia a la fatiga.

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

2.11.7. Resistencia al deslizamiento.

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre

una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

2.12. Deterioro de las mezclas asfálticas semiabiertas.

El deterioro de una mezcla asfáltica se refiere al conjunto de daños físicos y mecánicos que sufre el pavimento con el tiempo, debido a factores como el tránsito vehicular, el clima, la humedad y la calidad de los materiales. Este proceso reduce la capacidad funcional y estructural del pavimento, afectando su seguridad y comodidad.

En esta investigación se centra únicamente a los daños por humedad que sufren las mezclas asfálticas semiabiertas. La presencia de humedad debilita la adhesión entre el ligante y los agregados lo cual provoca pérdida de resistencia en las mismas.

Las mezclas asfálticas semiabiertas, debido a su estructura más porosa, son especialmente vulnerables al efecto de la humedad. Los principales tipos de deterioro que pueden presentar:

2.12.1. Tipos de deterioro por humedad en mezclas asfálticas semiabiertas.

1. Desprendimiento del ligante (stripping)

- El agua penetra en la mezcla y debilita la adhesión entre el ligante asfáltico y los agregados.
- Esto provoca que el ligante se separe, dejando los agregados expuestos y reduciendo la cohesión interna.

2. Pérdida de resistencia mecánica

- La humedad reduce la capacidad de la mezcla para resistir cargas, especialmente bajo tráfico pesado.
- Se observa una disminución en la resistencia a la tracción diametral y al módulo dinámico.

3. Fisuración y agrietamiento

- La saturación con agua, seguida de ciclos de congelación y deshielo, puede generar microfisuras que evolucionan en grietas mayores.
- Fisuración térmica: Más sensible a cambios de temperatura.

4. Desgaste superficial (abrasión)

- El agua facilita el desprendimiento de partículas finas, especialmente en mezclas porosas.
- Se incrementa el desgaste por abrasión, afectando la durabilidad del pavimento.

5. Envejecimiento acelerado del ligante

- La exposición prolongada al agua puede alterar las propiedades físicas y químicas del asfalto, esto lo vuelve más frágil y menos flexible, aumentando el riesgo de fractura.

6. Reducción de la durabilidad

- Ahuellamiento: La pérdida de cohesión interna puede provocar deformaciones permanentes bajo cargas repetidas. Menor resistencia al ahuellamiento por menor cohesión interna.
- Desintegración superficial: Se acelera el desgaste por acción del agua, tráfico y temperatura, generando baches y desprendimiento de agregados.

2.13. Marco Normativo.

En Bolivia todo lo que concierne al mantenimiento, modificaciones, características y conservación de la infraestructura vial esta normalizada por al ASTM

El presente proyecto se realizó bajo las especificaciones establecidas por la normativa ASTM y AASHTO.

2.14. Normativa sobre mezclas asfálticas vigente (ABC).

La ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) en el año 2008 publica cinco manuales para diseño y construcción de pavimentos en Bolivia, en los cuales indica los ensayos para el control de pavimentos asfálticos, basados en dos normas de aplicación mundial las cuales son las normas ASTM y AASHTO para las mezclas asfálticas semiabiertas se utilizó las normas de INVIAS.

2.15. Norma ASTM.

Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés American Society for Testing and Materials o ASTM International.

La ASTM está entre los mayores contribuyentes técnicos del ISO (Organización Internacional de Normalización), y mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias, con un casi monopolio en las industrias petrolera y petroquímica.

Tal es que durante en desarrollo del presente trabajo se enunciaran los ensayos realizados a los agregados pétreos, cemento asfáltico y elaboración de mezcla asfáltica, seguido del código AASHTO, ASTM.

Tabla 2.3: Normas aplicadas para el ensayo del agregado pétreo.

AGREGADOS GRUESO Y FINO		
Ensayos	Norma	Norma
	ASTM	AASHTO
Granulometría	C-136	T-27
Desgaste mediante la máquina de los ángeles	E-131	T-96
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	C-127	T-85
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	C-128	T-84
Peso unitario	C-29	T-19
Equivalente de arena	D-2419	T-176
Porcentaje de caras fracturadas	D-5821	-
Índice de lajas	-	c-142

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.4: Normas aplicadas para el ensayo del cemento asfáltico.

CEMENTO ASFALTICO		
Ensayos	Norma	
	ASTM	AASHTO
Penetración	D-5	T-49-47
Punto de inflamación	D-1310-01	T-79-96
Ductilidad	D-113	T-51-00
Peso específico	D-71	T-229-97
Punto de ablandamiento	D-36	T-53-96

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.5: Normas aplicadas para el ensayo de las mezclas asfálticas.

MEZCLAS ASFÁLTICAS	
Ensayos	AASHTO
Ensayo Marshall	T 245-97

Fuente: Elaboración propia.

La tabla a continuación presenta los valores de diseño para tráfico pesado, definido como la circulación de más de 300 vehículos comerciales, incluyendo camiones y autobuses, en una carretera específica. En este contexto, se establece que los Ejes de Carga Equivalentes (ESAL) deben superar 106 (un millón de ejes de carga equivalentes), lo que implica que el pavimento está diseñado para resistir el impacto y el daño asociado con la circulación de un millón de ejes de carga a lo largo de su vida útil.

Tabla 2.6: Criterio de diseño de mezclas Marshall.

MÉTODO MARSHALL	TRÁFICO PESADO	
criterio de mezcla	Mínimo	Máximo
compactación número de golpes/cara	75	
estabilidad (N)	8000	-
estabilidad (lb)	1800	-
flujo (0.25 mm) (0.01 pulg)	8	16
porcentaje de vacíos de aire (%)	3	5
vacíos agregado mineral (%)	13	-

Fuente: Elaboración propia.

2.16. Marco referencial.

En general, materiales denominados rellenos minerales pueden ser definidos como aquellos que presentan partículas finamente divididas, provenientes de la trituración de

rocas minerales, molienda de los agregados pequeños a través de procesos industrializados, dando como resultado el desarrollo de productos sintéticos, que se incorporan a los morteros y a las mezclas asfálticas a fin de mejorar su desempeño reológico, mecánico, térmico y de sensibilidad al agua. Su uso debe obedecer a los límites contenidos en especificaciones propias destinadas a la optimización del desempeño de sus funciones (Santana, 1995).

Los rellenos minerales se incluyen en las mezclas asfálticas, principalmente con la finalidad de generar mayor estabilidad y resistencia después de la compactación. Las teorías más extendidas con respecto a las causas que generan los efectos mencionados, citan la granulometría de las partículas como el factor principal (Al-Suhaibani et al, 1992).

Se atribuye a las pequeñas dimensiones de los granos, inferiores a 75 μm y superiores a 40 μm , la función de llenado de los vacíos formados por los granos mayores dentro del esqueleto mineral. Se le acredita a este factor el aumento de la densidad y la resistencia de la mezcla luego de la compactación (AASHTO, 2000).

2.17. Clima en la ciudad de Tarija.

Existen tres tipos de zonas en Tarija la zona alta, la zona de los valles y la zona del chaco donde el clima es diferente

2.17.1. Las zonas altas de Tarija:

Como la serranía de Sama, la Cuesta de El Cóndor o áreas rurales elevadas, presentan condiciones climáticas ligeramente distintas al centro urbano:

Características generales:

- Tipo de clima: templado seco de altura.
- Altitud: entre 2,500 y 3,500 metros sobre el nivel del mar

Temperaturas:

- Verano: máximas entre 20 °C y 26 °C; mínimas entre 10 °C y 14 °C.
- Invierno: máximas entre 10 °C y 18 °C; mínimas que pueden bajar a 0 °C o menos

- Humedad: moderada a baja, con aire seco y fresco Promedio anual estimado: alrededor de 25% a 35%, con variaciones locales según el uso del suelo (agrícola, forestal, urbano).
- Viento: frecuente, especialmente en las tardes; puede intensificarse en invierno
- Radiación solar: alta durante el día, especialmente en cielos despejados

Precipitaciones

- Temporada de lluvias: de noviembre a marzo, con lluvias moderadas y ocasionales tormentas eléctricas
- Temporada seca: de abril a octubre, con cielos despejados y clima estable

Fenómenos comunes

- Heladas: frecuentes en invierno, especialmente en zonas agrícolas
- Niebla matinal: ocasional en otoño e invierno
- Granizo: puede ocurrir en verano durante tormentas intensas

Este clima es ideal para cultivos como la papa, la cebolla, y algunas variedades de durazno y manzana. También es perfecto para caminatas y turismo ecológico, aunque se recomienda llevar abrigo incluso en verano por las noches frescas

2.17.2. La zona de los valles de Tarija:

Como San Lorenzo, El Valle de la Concepción, y zonas vitivinícolas cercanas disfrutan de un microclima templado, ideal para la agricultura y el cultivo de uvas. Aquí tienes el panorama climático actual:

Condiciones generales:

- Temperatura media anual: entre 17 °C y 19 °C.
- Precipitación anual: alrededor de 1200 mm, concentrada en los meses de verano (diciembre a marzo)
- Altitud: entre 1800 y 2200 metros sobre el nivel del mar
- Clasificación climática: templado subhúmedo (Cwb según Köppen-Geiger)
- Humedad del suelo suele oscilar entre 15% y 25%, especialmente en suelos arenosos o expuestos al sol.

- Viento: del sureste entre 11 y 24 km/h

2.17.3. La región del Chaco en Tarija:

que incluye municipios como Yacuiba, Villa Montes y Caraparí, tiene un clima tropical seco y cálido, muy diferente al de los valles y la ciudad de Tarija. Aquí te detallo cómo es normalmente:

Características generales del clima chaqueño

Temperaturas altas:

- Verano: entre 35 °C y 45 °C, con picos que pueden superar los 47 °C
- Invierno: entre 15 °C y 28 °C, aunque puede haber descensos bruscos por frentes fríos (surazos)
- Humedad: baja a moderada, pero puede aumentar en época de lluvias Promedio anual estimado en muchas áreas del Chaco, la humedad del suelo se mantiene por debajo del 15%, lo que limita el desarrollo agrícola sin riego suplementario.

Precipitaciones:

- Temporada de lluvias: noviembre a marzo
- Temporada seca: abril a octubre, con largos períodos sin lluvia
- Vientos: frecuentes “surazos” en invierno, que bajan la temperatura de forma repentina
- Radiación solar: muy alta durante todo el año

Sensación térmica:

- Debido a la baja humedad y la intensidad del sol, la sensación térmica suele ser más elevada que la temperatura real, especialmente en zonas urbanas como Yacuiba y Villa Montes.

Fenómenos climáticos comunes

- Tormentas eléctricas en verano, a veces intensas
- Sequías prolongadas en invierno
- Olas de calor que pueden durar varios días

Este clima es ideal para ciertas actividades agrícolas y ganaderas, pero también exige precauciones por el calor extremo.

2.18. Método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el pavimento con péndulo británico (ASTM E 303 AASHTO T278-90).

Este método describe el procedimiento que se debe seguir para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el Péndulo Británico. El Péndulo Británico es un péndulo dinámico que se utiliza para medir la energía perdida cuando el borde de un patín de goma se desliza sobre una superficie.

El método tiene por objetivo obtener el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

Los resultados son usados principalmente para los siguientes propósitos:

- Muestreo de la red vial para la gestión de pavimentos.
- Especificaciones para la restauración de la superficie de rodado.
- Especificaciones para nuevas construcciones.
- Investigación de accidentes.
- Medición para mantenciones de invierno en carreteras.

El método de ensayo puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas. No es el propósito de este método la medida sobre probetas para determinar el pulimento acelerado de los áridos.

2.18.1. Resistencia al deslizamiento.

Es la fuerza que se desarrolla a lo largo de la superficie de un pavimento, cuando una rueda está frenada o impedida de girar. Comúnmente la resistencia al deslizamiento es entendida como la propiedad de una superficie que impide el deslizamiento de un cuerpo sobre ella.

2.18.2. Coeficiente de fricción dinámico.

Corresponde a la razón entre la resistencia al deslizamiento y la fuerza normal a la superficie donde el cuerpo desliza.

Figura 2.3. equipo de péndulo británico.



Fuente: Elaboración propia.

2.19. Resistencia remanente.

En mezclas asfálticas es un indicador de la capacidad de la mezcla para conservar su resistencia mecánica después de haber sido sometida a procesos de deterioro, especialmente por la acción del agua. La resistencia remanente mide la proporción de resistencia que conserva una mezcla asfáltica tras ser condicionada en laboratorio (normalmente mediante ensayos de inmersión en agua o ciclos de humedad y temperatura).

Su objetivo principal es evaluar la sensibilidad al agua y la durabilidad de la mezcla. Una mezcla con alta resistencia remanente mantiene buena cohesión entre el asfalto y los agregados, incluso en ambientes húmedos.

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACION

3.1. Ubicación de los materiales de la investigación

3.1.1 Agregado pétreo

En la ciudad de Tarija se cuenta con varios bancos de materiales los cuales proporcionan con buena calidad de áridos, pero para la presente investigación se usará los áridos solicitados de la alcaldía por la facilidad de transporte y nos donaron para nuestra investigación cuya procedencia es de la Chancadora Garzón que extrae el material de la localidad de San Mateo la cual tiene una gran cantidad de áridos que cumplen con las especificaciones solicitadas para esta 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.

Figura 3.1. Ubicación de la chancadora Garzón.



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

Figura 3.2. ubicación chancadora Garzón.



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

Coordenadas Geográficas

Latitud 21°28'15.50" S

Longitud 64°45'3.65" O

Tarija, cercado, comunidad de San Mateo

3.1.2 Cemento asfáltico.

El cemento asfáltico se lo obtuvo de la alcaldía de la posta municipal: Cemento asfáltico 85-100 REPSOL de procedencia peruana.

Figura 3.3. Ubicación de la posta municipal.



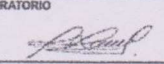
Fuente: <https://www.GoogleEarth.jpg>.

Las técnicas de muestreo que se realizó en este trabajo de investigación se dan de carácter no probabilístico, ya que el cemento seleccionado es intencionalmente de la alcaldía Municipal. Tanto los agregados como el cemento asfáltico fueron llevados al laboratorio de asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, para su conservación y guardarlo para su previa caracterización mediante los ensayos de laboratorio.

3.2 Características de los materiales de investigación.

3.2.1 Ficha técnica del cemento asfáltico 85-100

Figura 3.4. Ficha técnica del cemento asfáltico peruano 85-100.

 REPSOL		REPORTE DE ANÁLISIS DE CEMENTO ASFÁLTICO 85/100		LOTE No. 85/100-001-12-2023
REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.A Cavallero a Ventanilla km 25 S/N Ventanilla		RECEPCIÓN DE LA MUESTRA 04/12/2023 10:30:08		FECHA DE CERTIFICACIÓN 05/12/2023 17:42:34
PRODUCTO Cemento Asfáltico 85/100		TANQUE 342C		DESTINO DE PRODUCTO Operaciones de Despacho
PROCEDENCIA Almacén/Almuerzo		VOLUMEN CERTIFICADO, m³ 40		BUQUE TANQUE
PROPIEDADES		MÉTODO		RESULTADO
		ASTM / OTROS		
PENETRACIÓN				
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 1/10 mm		D 5 / AASHTO T 49		93
DUCTILIDAD				
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm		D 113 / AASHTO T 81		> 150
VOLATILIDAD				
Gravedad Específica a 15.6 °C/15.8°C		D 70 / AASHTO T 228		1.0112
Punto de Inflamación, °C		D 92 / AASHTO T 48		316.0
Gravedad API, °API		D 70 / AASHTO T 228		5.2
FLUIDEZ				
Punto de Ablandamiento, °C		D 36		47.0
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt		D 445		2858
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt		D 2170 / AASHTO T 201		327
ENSAYOS DE PELÍCULA FINA				
Pérdida por Calentamiento, % m		D 1754 / AASHTO T 179		0.14
Penetración retenida, 100g, 5s, 1/10 mm, % del original		D 5 / AASHTO T 49		55.6
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm		D 113 / AASHTO T 81		> 150
SOLUBILIDAD				
Solubilidad en tricloroetileno, % m		D 2042 / AASHTO T 44		99.93
OTROS				
Índice de Penetración		UNE-EN 12591		-0.5
Ensayo de la Mancha (Nafte-Xileno)		AASHTO T102		20% xileno, negativo
OBSERVACIONES:				
PRODUCTO CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES ASTM D946, AASHTO M 20-70 Y NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 321.051				
DISTRIBUCIÓN - Operaciones de Despacho - TIT - Laboratorio		FECHA DE EMISIÓN 08/12/2023		LABORATORIO  Pedro Ramos M. Gerente de Laboratorio


 Ing. Richard Gonzalo Valdez Torrez
 JEC UNIDAD ASFALTO Y HORMIGONES
 ENTIDAD DE OBRAS PÚBLICAS MUNICIPALES

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL

Fuente: Alcaldía Municipal de Tarija.

Figura 3.5. Ficha técnica del cemento asfáltico peruano 85-100.



Cementos Asfálticos (NTP 321.051.2002)

ESPECIFICACIONES DE CEMENTOS ASFÁLTICOS											
NOMBRE COMERCIAL				CEMENTO ASFÁLTICO 40/50 RELAPASA		CEMENTO ASFÁLTICO 60/70 RELAPASA		CEMENTO ASFÁLTICO 85/100 RELAPASA		CEMENTO ASFÁLTICO 120/150 RELAPASA	
PARÁMETROS	Métodos			Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
	NTP / ASTM	AASHTO	Otros								
PENETRACION											
Penetración a 25°C, 100 g, 5s, 0.1 mm	D5	T49		40	50	60	70	85	100	120	150
DUCTILIDAD											
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D113	T51		100		100		100		100	
VOLATILIDAD											
Punto de Inflamación, °C	D92	T48		232		232		232		220	
Gravedad Específica a 15.6°C	D70	T228		Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	
FLUIDEZ											
Punto de Ablandamiento, °C	D36			Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	D445			Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	D2170	T201		Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	
SOLUBILIDAD											
Solubilidad en tricloroetileno, %m	D2042	T44		99.0		99.0		99.0		99.0	
ENSAYOS DE PELICULA FINA 3.2 mm, 163°C, 5 horas											
Pérdida por calentamiento, %m	D1754	T179			0.8		0.8		1.0		1.3
Penetración retenida, 100g, 5s, 0.1 mm, % del original	D5	T49		58		54		50		46	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm	D113	T51				50		75		100	
OTROS											
Índice de Penetración			UNE 104-281	Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	
Ensayo de la Mancha (Spot Test) ^(Nota 1)		T102		Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	

Fuente: Del fabricante REPSOL.

3.2. Caracterización de los materiales.

3.2.1 Agregados

Tabla 3.1. Normas aplicadas para el ensayo del agregado pétreo.

AGREGADOS GRUESO Y FINO		
Ensayos	Norma	
	ASTM	AASHTO
Granulometría	C-136	T-27
Desgaste mediante la máquina de los ángeles	E-131	T-96
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	C-127	T-85
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	C-128	T-84
Peso unitario	C-29	T-19
Equivalente de arena	D-2419	T-176
Porcentaje de caras fracturadas	D-5821	-
Índice de lajas	-	c-142

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Cemento asfáltico.

Tabla 3.2: Normas aplicadas para el ensayo del cemento asfáltico.

CEMENTO ASFALTICO		
Ensayos	Norma	Norma
	ASTM	AASHTO
Penetración	D-5	T-49-47
Punto de inflamación	D-1310-01	T-79-96
Ductilidad	D-113	T-51-00
Peso específico	D-71	T-229-97
Punto de ablandamiento	D-36	T-53-96

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Diseño de las mezclas asfálticas.

Tabla 3.3: Normas aplicadas para el ensayo de las mezclas asfálticas.

MEZCLAS ASFÁLTICAS	
Ensayos	AASHTO
Ensayo Marshall	T 245-97

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.1. Ensayo de granulometría (AASHTO T-27) (ASTM C-136).

Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

El propósito de este proceso es identificar los tamaños de partículas de los agregados gruesos y finos en una muestra de material seco, utilizando una serie de tamices dispuestos en orden decreciente de abertura.

Se realizará los ensayos para los siguientes agregados pétreos:

- Grava 3/4"
- Gravilla 3/8"
- Arena triturada

Tabla 3.4. Datos de los ensayos realizados de la grava 3/4".

Tamices	Grava 3/4"		
	Ensayo 1 (g)	Ensayo 2 (g)	Ensayo 3 (g)
1"	0.00	0.00	0.00
3/4"	221.80	164.60	233.20
1/2"	2886.20	3121.60	2920.60
3/8"	1399.60	1288.40	1367.40
Nº4	492.40	425.40	478.80
Nº8	0.00	0.00	0.00
Nº16	0.00	0.00	0.00
Nº30	0.00	0.00	0.00
Nº50	0.00	0.00	0.00
Nº100	0.00	0.00	0.00
Nº200	0.00	0.00	0.00
BASE	0.00	0.00	0.00
Peso total (g)	5000.0	5000.0	5000.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5. Datos de los ensayos realizados de la gravilla 3/8".

Tamices	Gravilla 3/8"		
	Ensayo 1 (g)	Ensayo 2 (g)	Ensayo 3 (g)
1"	0.00	0.00	0.00
3/4"	0.00	0.00	0.00
1/2"	128.60	65.40	92.40
3/8"	612.40	598.20	595.20
Nº4	3937.60	4047.60	3956.40
Nº8	311.40	280.80	337.60
Nº16	2.80	3.00	9.80
Nº30	0.00	0.00	0.00
Nº50	0.00	0.00	0.00
Nº100	0.00	0.00	0.00
Nº200	0.00	0.00	0.00
BASE	7.20	5.00	8.60
Peso total (g)	5000.00	5000.00	5000.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6. Datos de los ensayos realizados de la arena.

Tamices	Arena		
	Ensayo 1 (g)	Ensayo 2 (g)	Ensayo 3 (g)
1"	0.00	0.00	0.00
3/4"	0.00	0.00	0.00
1/2"	0.00	0.00	0.00
3/8"	0.00	0.00	0.00
Nº4	146.60	172.40	182.60
Nº8	1046.20	1015.80	1002.20
Nº16	654.80	728.20	743.10
Nº30	628.10	615.90	531.60
Nº50	1187.20	1129.20	1100.90
Nº100	989.30	1020.30	1092.40
Nº200	301.20	275.10	285.40
BASE	46.20	43.00	61.70
Peso total (g)	4999.6	4999.9	4999.9

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de porcentaje que pasan los tamices

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso total}} * 100 \right)$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{4.13}{5000} * 100 \right) = \mathbf{95.87\%}$$

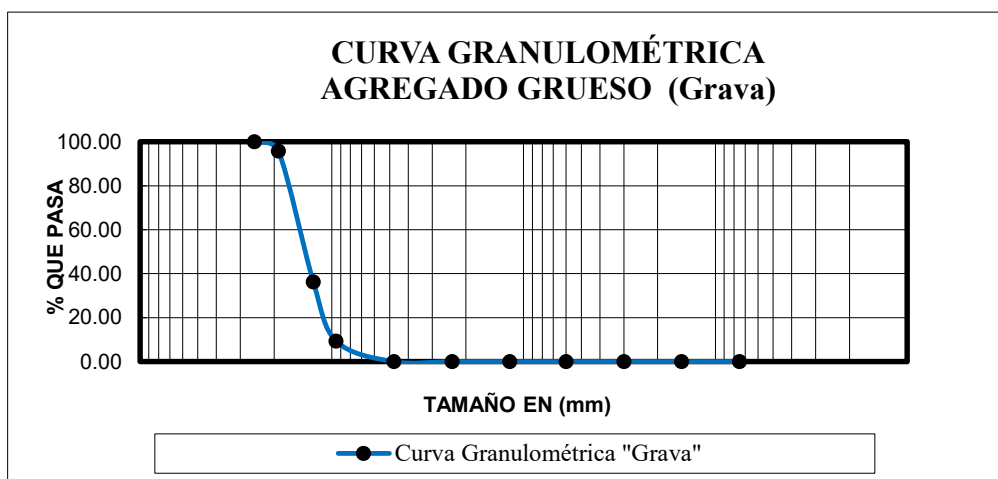
Planilla de resultados de las granulometrías promedio.

Tabla 3.7. Granulometría – agregado grueso (grava 3/4").

Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	206.53	206.53	4.13	95.87
1/2"	12.5	2976.13	3182.67	63.65	36.35
3/8"	9.50	1351.80	4534.47	90.69	9.31
Nº4	4.75	465.53	5000.00	100.00	0.00
Nº8	2.36	0.00	5000.00	100.00	0.00
Nº16	1.18	0.00	5000.00	100.00	0.00
Nº30	0.60	0.00	5000.00	100.00	0.00
Nº50	0.30	0.00	5000.00	100.00	0.00
Nº100	0.15	0.00	5000.00	100.00	0.00
Nº200	0.075	0.00	5000.00	100.00	0.00
BASE	-	0.00	5000.00	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.1. Curva granulométrica – grava.



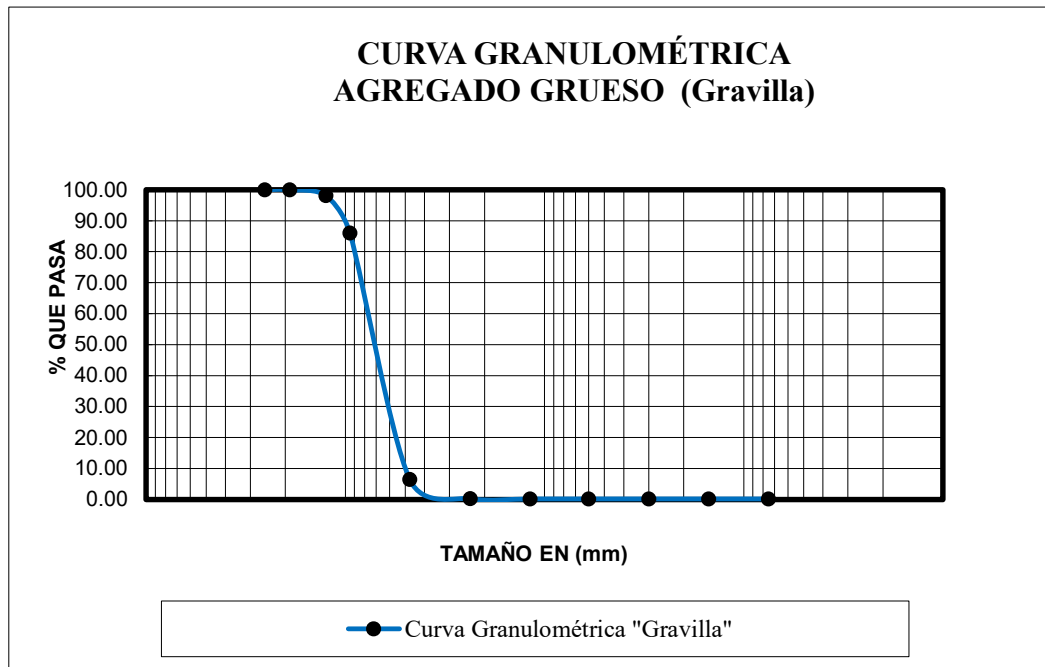
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8. Granulometría – agregado grueso (gravilla 3/8").

Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	95.47	95.47	1.91	98.09
3/8"	9.50	601.93	697.40	13.95	86.05
Nº4	4.75	3980.53	4677.93	93.56	6.44
Nº8	2.36	309.93	4987.87	99.76	0.24
Nº16	1.18	5.20	4993.07	99.86	0.14
Nº30	0.60	0.00	4993.07	99.86	0.14
Nº50	0.30	0.00	4993.07	99.86	0.14
Nº100	0.15	0.00	4993.07	99.86	0.14
Nº200	0.075	0.00	4993.07	99.86	0.14
BASE	-	6.93	5000.00	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.2: Curva granulométrica – gravilla



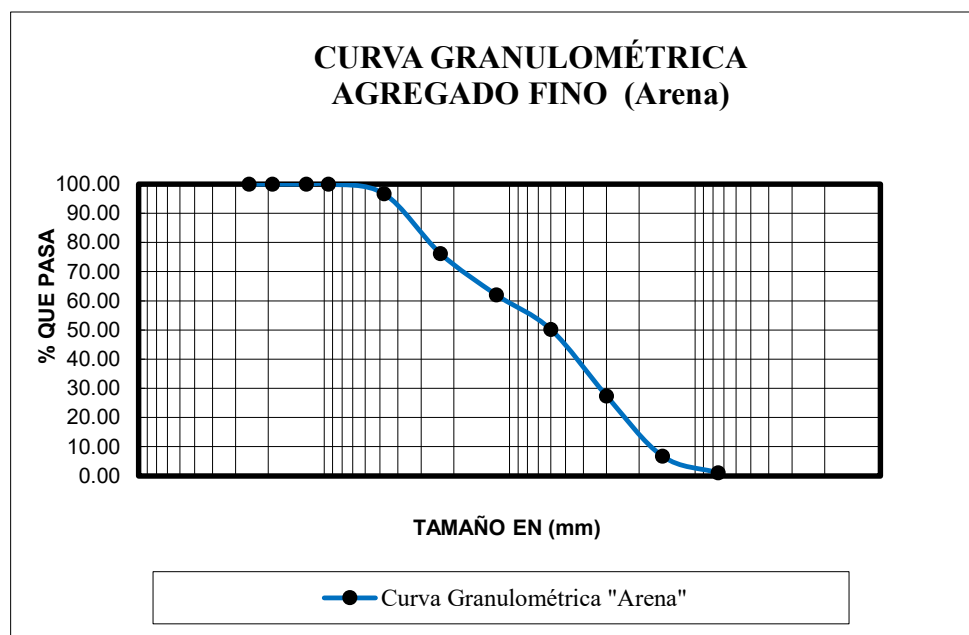
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.9. Granulometría – agregado fino (arena).

Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº4	4.75	167.20	167.20	3.34	96.66
Nº8	2.36	1021.40	1188.60	23.77	76.23
Nº16	1.18	708.70	1897.30	37.95	62.05
Nº30	0.60	591.87	2489.17	49.78	50.22
Nº50	0.30	1139.10	3628.27	72.57	27.43
Nº100	0.15	1034.00	4662.27	93.25	6.75
Nº200	0.075	287.23	4949.50	98.99	1.01
BASE	-	50.30	4999.80	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.3: Curva granulométrica – arena



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2. Ensayo para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM C 131 AASHTO T96).

Los agregados deben ser lo suficientemente estables ante los efectos impuestos por el manipuleo durante su paso a través de la planta de asfalto – que producen choques entre granos y de granos con componentes metálicos de la planta–, y procesos de compactación en las etapas de construcción, y ante los esfuerzos impuestos por las cargas en el período de acción bajo el tráfico. Estos efectos y esfuerzos tienden a triturar y degradar las partículas, y la habilidad de un material para mantener su granulometría original ante ellos, se define como su resistencia.

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,5 mm, mediante la máquina de los ángeles.

Tabla 3.10. Tabla ASTM C-131 según el tamaño de material que se tenga.

GRADACIÓN		A	B	C	D
DIAMETRO		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"	Nº4			2500±10	
Nº4	Nº8				5000±10
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Número de esferas		12	11	8	6
Nºde revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		15	15	15	15

Fuente: Elaboración propia.

En este caso la granulometría del material a ensayar (grava) se adecua a la gradación o método B para el cual usare 2500 gramos de material retenido en el tamiz 1/2" y 2500 gramos de material retenido en el tamiz 3/8". En este caso para la gradación B se usan 11 esferas las cuales giraran por 15 minutos en la máquina de los ángeles aproximadamente entre 31-33 rpm.

Proceso de cálculo para la grava 3/4":

Tabla 3.11. Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4".

DATOS DE LABORATORIO		
GRADACIÓN B		
PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	PESO RETENIDO (g)
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
Muestra inicial (peso inicial)		5000
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7mm)		3950.8
Pasa tamiz N°12 y retenido en base		1049.2
Numero de ensayos		1
Carga abrasiva		11 esferas a 32,5 rpm
Tiempo de rotación		15 minutos
N° de revoluciones		500

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar se determina el porcentaje de desgaste con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{(P. \text{ Inicial} - P. \text{ final})}{P. \text{ inicial}} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{(5000 - 3950.8)}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 20.98\%$$

Proceso de cálculo para la gravilla 3/8":

La gravilla de 3/8" corresponde a la gradación C, por lo que se pesó 2500±10 gr, de material que pasa el tamiz 3/8" y se retiene en el 1/4", también se pesó 2500±10 gr, de material que pasa el tamiz 1/4" y se retiene en el N°4, teniendo un peso inicial para el ensayo de 5000±10 gr.

Posterior a esto, se debe introducir el material en la máquina de los Ángeles y se procede a realizar el ensayo, utilizando 500 revoluciones y 8 esferas de carga abrasiva. Una vez terminado el ensayo, se tamiza el material por el método del lavado en el tamiz N°12 con una abertura de 1,7 mm de abertura, el material retenido se seca en el horno durante un tiempo de 24±1 hr para obtener el peso final.

Tabla 3.12. Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8”.

DATOS DE LABORATORIO		
GRADACIÓN C		
PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	PESO RETENIDO (g)
3/8"	1/4"	2500
1/4"	N°4	2500
Muestra inicial (peso inicial)		5000
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7mm)		3809.2
Pasa tamiz N°12 y retenido en base		1190.8
Numero de ensayos		1
Carga abrasiva		8 esferas a 32,5 rpm
Tiempo de rotación		15 minutos
N° de revoluciones		500

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar se determina el porcentaje de desgaste con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{(P. \text{ Inicial} - P. \text{ final})}{P. \text{ inicial}} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{(5000 - 3809.2)}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 23.82\%$$

3.2.1.3. Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (ASTM C-127 AASHTO T85).

Este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos. Este ensayo se utilizó para la medición del peso específico de la gravilla 3/8” y la grava 3/4”.

Tabla 3.13. Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso grava 3/4”.

MUESTRA N°	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA "C" (gr)
1	4942.60	5000.40	3103.00
2	4945.30	5000.30	3104.00
3	4945.50	5000.30	3103.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.14. Resultados del ensayo de peso específico para grava 3/4".

MUESTRA N°	PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm3)	PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm3)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm3)	% DE ABSORCIÓN
1	2.60	2.64	2.69	1.17
2	2.61	2.64	2.69	1.11
3	2.61	2.64	2.68	1.11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.15. Datos del ensayo de peso específico de agregado grueso gravilla 3/8"

MUESTRA N°	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA "C" (gr)
1	4923.40	5000.10	3094.00
2	4924.40	5000.10	3092.00
3	4915.80	5000.20	3086.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.16. Resultados del ensayo peso específico de agregado grueso gravilla 3/8".

MUESTRA N°	PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm3)	PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm3)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm3)	% DE ABSORCIÓN
1	2.58	2.62	2.69	1.56
2	2.58	2.62	2.69	1.54
3	2.57	2.61	2.69	1.72

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.4 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados finos (ASTM C 128 AASHTO T84).

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 período de 24 horas, expresada como porcentaje en peso. El peso específico 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.

Tabla 3.17. Datos obtenidos del ensayo peso específico para agregado fino.

MUESTRA N°	PESO MUESTRA (gr)	PESO DE MATRÁZ (gr)	MUESTRA + MATRAZ + AGUA (gr)	PESO DEL AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr)	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	VOLUMEN DEL MATRÁZ "V" (ml)
1	500.0	236.9	1034	297.10	494.50	500.00
2	500.0	196.1	996.1	300.00	494.50	500.00
3	500.0	193.5	996.3	302.80	494.30	500.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.18. Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino.

MUESTRA N°	P. E. A GRANEL (gr/cm3)	P. E. SATURADO SUP. SECA (gr/cm3)	P. E. APARENTE (gr/cm3)	% DE ABSORCIÓN
1	2.44	2.46	2.51	1.11
2	2.47	2.50	2.54	1.11
3	2.51	2.54	2.58	1.15

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.5. Ensayo de peso unitario de los agregados (AASHTO T-19 ASTM C-29)

El peso unitario de unos áridos dados puede determinarse sobre volumen suelto o sobre volumen compactado. Para ellos se emplea un recipiente cilíndrico de volumen conocido.

Tabla 3.19. Datos obtenidos del ensayo peso específico unitario suelto.

MUESTRA N°	Grava 3/4"	Gravilla 3/8"	Arena
	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)
1	1.484	1.436	1.675
2	1.482	1.472	1.677
3	1.507	1.462	1.684
PROMEDIO	1.491	1.457	1.679

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.20. Datos obtenidos del ensayo peso específico unitario compactado.

MUESTRA Nº	Grava 3/4"	Gravilla 3/8"	Arena
	PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm3)	PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm3)	PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm3)
1	1.569	1.543	1.849
2	1.576	1.556	1.867
3	1.590	1.539	1.857
PROMEDIO	1.579	1.546	1.858

Fuente: Elaboración propia.

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

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz N°4 (4,75 mm).

Este ensayo indica la proporción relativa de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en los áridos empleados en las mezclas asfálticas para pavimentación.

Tabla 3.21. Datos del ensayo equivalente de arena.

Descripción	Unidad	Ensayo		
		1	2	3
Lectura nivel inferior	cm	11.2	11.2	10.8
Lectura nivel superior	cm	12.1	12	11.8

Fuente: Elaboración propia.

Proceso de cálculo:

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

$$\text{Porcentaje de arena} = \frac{11.2}{12.1} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de arena} = 92.56\%$$

Tabla 3.22. Resultados del ensayo equivalente de arena.

Descripción	Unidad	Ensayo		
		1	2	3
Porcentaje de arena	%	92.56	93.33	91.53
Promedio	%	92.47		

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.7. Ensayo de porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821).

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso, del material que presenta una o más caras fracturadas de las muestras de agregado grueso, grava y gravilla.

Tabla 3.23. Datos del ensayo de caras fracturadas.

	ENSAYO N°	1	2	3
Grava 3/4"	PESO TOTAL (gr)	1500	1500	1500
	PESO RETENIDO CARAS FRACTURADAS (gr)	1330.6	1324.3	1327.9
	CARAS NO FRACTURADAS (gr)	169.4	175.7	172.1
Grava 3/8"	PESO TOTAL (gr)	1000	1000	1000
	PESO RETENIDO CARAS FRACTURADAS (gr)	904.1	895.8	901.7
	CARAS NO FRACTURADAS (gr)	95.9	104.2	98.3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.24. Resultados del ensayo % de caras fracturadas.

ENSAYO N°	Grava 3/4"	Grava 3/8"
1	88.71	90.41
2	88.29	89.58
3	88.53	90.17
PROMEDIO	88.51	90.05

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.8. Ensayo determinación de partículas laminares, chatas y alargadas.

Ensayo de índice de aplanamiento de los agregados gruesos (Basado en I.N.V.E - 230-07):

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

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ Índice de aplanamiento} = \frac{\text{peso que pasa}}{\text{peso retenido}} * 100\%$$

$$\% \text{ índice de aplanamiento} = \frac{193.9 \text{ gr}}{347.8 \text{ gr}} * 100\%$$

$$\% \text{ Índice de aplanamiento} = 55.75\%$$

Tabla 3.25. Resultados del ensayo de aplanamiento del agregado grueso (grava 3/4").

Tamiz	Peso retenido (Ri)	% retenido	Peso de partículas que pasan (mi)	Índice de aplanamiento % (IAi)	Índice de aplanamiento global % (IA)
1 1/2" - 1"		0.00			32.521
1" - 3/4"	347.8	4.35	193.9	55.75	
3/4" - 1/2"	5248.40	65.66	1850.40	35.26	
1/2" - 3/8"	1754.50	22.75	437.00	24.91	
3/8" - 1/4"	649.30	8.40	120.40	18.54	
Total	8000		2601.70		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.26. Resultados del ensayo de aplanamiento del agregado grueso (gravilla 3/8").

Tamiz	Peso retenido (Ri)	% retenido	Peso de partículas que pasan (mi)	Índice de aplanamiento % (IAi)	Índice de aplanamiento global % (IA)
1" - 3/4"		0.00			32.080
3/4" - 1/2"	46.90	7.22	17.80	37.95	
1/2" - 3/8"	306.90	48.38	91.80	29.91	
3/8" - 1/4"	1590.70	252.44	514.20	32.33	
Total	1944.5		623.80		

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de índice de alargamiento de los agregados gruesos (Basado en I.N.V.E – 230-07)

Proceso de cálculo:

$$\% \text{ Índice de alargamiento} = \frac{\text{peso que pasa}}{\text{peso retenido}} * 100\%$$

$$\% \text{ índice de alargamiento} = \frac{347.8 \text{ gr}}{347.8 \text{ gr}} * 100\%$$

$$\% \text{ Índice de alargamiento} = 100\%$$

Tabla 3.27. Resultados del ensayo de alargamiento del agregado grueso (grava 3/4").

Tamiz	Peso retenido (Ri)	% retenido	Peso de partículas que pasan (mi)	Índice de alargamiento % (IAi)	Índice de alargamiento global % (IA)
1 1/2" - 1"		0.00			73.075
1" - 3/4"	347.8	4.35	347.8	100.00	
3/4" - 1/2"	5248.40	65.66	4014.70	76.49	
1/2" - 3/8"	1754.50	22.75	1116.20	63.62	
3/8" - 1/4"	649.30	8.40	367.30	56.57	
Total	8000		5846.00		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.28. Resultados del ensayo de alargamiento del agregado grueso (gravilla 3/8").

Tamiz	Peso retenido (Ri)	% retenido	Peso de partículas que pasan (mi)	Índice de alargamiento % (IAi)	Índice de alargamiento global % (IA)
1" - 3/4"		0.00			82.839
3/4" - 1/2"	46.90	7.22	46.90	100.00	
1/2" - 3/8"	306.90	48.38	270.50	88.14	
3/8" - 1/4"	1590.70	252.44	1293.40	81.31	
Total	1944.5		1610.80		

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.9. Determinación del peso específico de los suelos (ASTM D-854 AASHTO T-100).

Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas sólidas de suelos compuestos por partículas menores que 5 mm.

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

Proceso de cálculo:

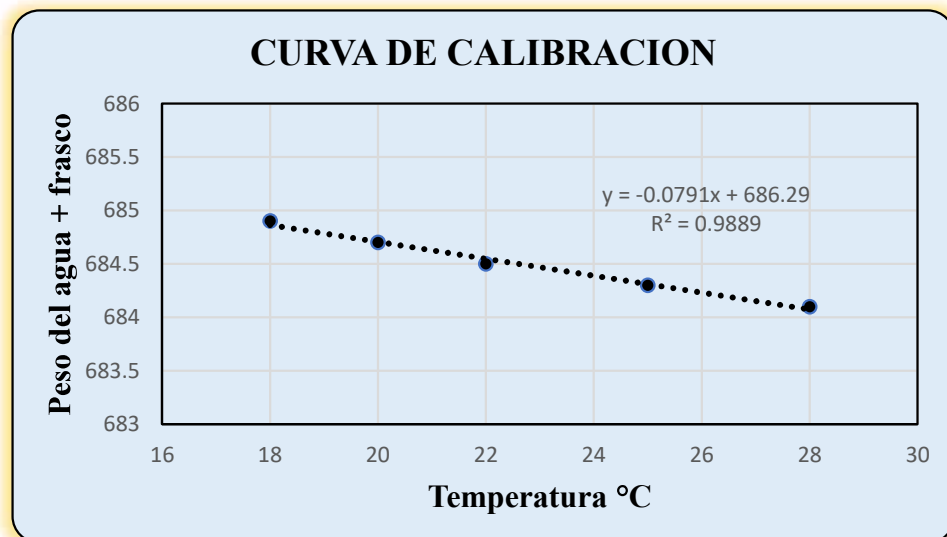
Calibración del frasco volumétrico:

Tabla 3.29. Datos de la calibración de frasco volumétrico.

Nº Ensayo	Wfw g	T °C
1	684.1	28
2	684.3	25
3	684.5	22
4	684.7	20
5	684.9	18

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.4. Curva de calibración del frasco volumétrico.



Fuente: Elaboración propia.

Para filler convencional:

Tabla 3.30. Datos y resultados del ensayo de peso específico de filler convencional.

Numero de ensayo	1	2	3	4	5
Temperatura de ensayo °C	28	25	22	20	18
peso del suelo seco Ws	80	80	80	80	80
Peso del frasco + agua Wfw	684.075	684.313	684.550	684.708	684.866
Peso del frasco + agua + suelo Wfws	734.9	734.8	734.5	734.9	734.4
Peso especifico	2.7421	2.7107	2.6622	2.6838	2.6259
Factor de corrección K	0.9977	0.9983	0.9989	0.9993	1.00
Peso específico corregido	2.736	2.706	2.659	2.682	2.626
PROMEDIO	2.68				

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.10. Método de ensayo de penetración (ASTM D 5 AASHTO T49-97).

El ensayo de Penetración permite determinar la dureza o consistencia relativa de los cementos asfálticos, midiendo la distancia en décimas de milímetros que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto, en unas condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo.

El ensayo ha sido normalizado por la Asociación Americana de Ensayos y Materiales (ASTM), bajo el código D5, y consiste en colocar una muestra del ligante en un recipiente de volumen normalizado hasta lograr la temperatura de referencia (25 C -77F), apoyar sobre la muestra la aguja y dejarla penetrar durante un tiempo determinado.

Tabla 3.31. Resultados del ensayo de penetración del cemento asfáltico 85-100.

Condiciones:	Tiempo	Carga	Temperatura
	5 segundos	100 gr	25 °C
Ensayos	1	2	3
Lectura N°1	95	98	97
Lectura N°2	93	97	95
Lectura N°3	90	95	90
Penetración Promedio:	93	97	94
Penetración final:	94.44		

Fuente: Elaboración propia.

Especificación técnica: Penetración a 25°C, mm/10 entre 85 – 100

Se tiene como resultado una penetración promedio de 94.44 mm a 25°C, mm/10, se encuentra en el rango establecido según ficha técnica

3.2.1.11. Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO T79-96).

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

El objetivo define la determinación de los puntos de inflamación y combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del petróleo y otros líquidos, excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de 79 °C determinado por medio de este método de ensayo.

Tabla 3.32. Resultados del ensayo punto de inflamación.

Ensayos:	1	2	3
Punto de inflamación °C:	306	311	315
Promedio Punto de inflamación °C:	310.67		

Fuente: Elaboración propia.

Especificación técnica: Punto de inflamación, vaso abierto de Cleveland promedio 312°C y de Repsol mayores a 232°C

De los tres ensayos realizados se obtiene el promedio el cual será el valor más representativo del ensayo el cual es 310.67°C el cual se encuentra en el rango según ficha técnica.

3.2.1.12. Método para determinar la ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T51-00).

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, se traccionan a la velocidad de 5 cm/min $\pm$ 5 % y temperatura 25 $\pm$ 0,5 °C.

Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo se describen en detalle en los métodos AASHTO T 51-00 y ASTM D-113.

Tabla 3.33. Resultados del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico 85/100.

ensayos	1	2	3
Elongación (cm):	105	114.5	140
Promedio (cm):	119.83		

Fuente: Elaboración propia.

Especificación técnica: Ductilidad a 25 °C mínimo 100 cm.

El promedio del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico es de 119.83 cm el cual se encuentra por encima del valor mínimo según ficha técnica.

3.2.1.13. Método para determinar la densidad (ASTM D71 AASHTO T229-97).

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de un vaso de precipitado a la temperatura requerida.

Tabla 3.34. Datos del ensayo peso específico.

Ensayos	1	2	3
Peso del picnómetro (gr) (A):	24.7	24.7	24.7
Peso del picnómetro + agua destilada (gr) (B):	63	63.1	63
Peso del picnómetro + cemento asfáltico (gr) (C):	53.2	53.1	53
Peso del picnómetro + agua destilada + cemento asfáltico (gr) (D):	63.4	63.4	63.5

Fuente: Elaboración propia.

Proceso de cálculo:

Peso específico del cemento asfáltico:

$$\rho_b = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} * \rho_w * 1000$$

Donde:

ρ_w =Densidad del agua a la temperatura de ensayo (1 gr/cm3)

ρ_b =Densidad del asfalto (1 kg/cm3)

ρ_w = 0,997 [g/cm3] a 25 °C

$$\rho_b = \frac{53.2 - 24.7}{(63 - 24.7) - (63.4 - 53.2)} * 0.997 * 1000$$

$$\rho_b = 1011.19 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_b = \frac{1011.19}{1000} = 1.0112 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 3.35. Resultados del ensayo peso específico.

Ensayos	1	2	3
Densidad (kg/m3):	1011.19	1007.64	1014.93
Densidad promedio (kg/m3):	1011.26		
Densidad promedio (gr/cm3):	1.0113		

Fuente: Elaboración propia.

Especificación técnica: Peso específico a 25 °C, mínimo a 1.00 g/cm3.

De los tres ensayos se obtiene el promedio de peso específico de 1.0113 g/cm3, el cual se encuentra dentro del rango según norma técnica

3.2.1.14. Método para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D 36 AASHTO T53-96).

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.

Tabla 3.36. Resultado del ensayo punto de ablandamiento.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de Ablandamiento, Anillo-Bola	°C	46	45	44
Promedio	°C	45		

Fuente: Elaboración propia.

Especificación técnica: Punto de Ablandamiento, Anillo-Bola, entre 43 – 53 °C.

El promedio del ensayo de Punto de ablandamiento fue de 45 °C el cual se encuentra dentro del rango establecido según norma técnica.

3.2.1.15. Resultados de la caracterización del cemento asfáltico.

Tabla 3.37. Resultado de los ensayos caracterización del cemento asfáltico.

CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL 85/100						
Ensayos	Especificación			Resultados obtenidos	Norma	
	Repsol		Alcaldía			
	Min.	Máx.	promedio		ASTM	AASHTO
Penetración	85°	100°	90°	94.44°	D-5	T-49-47
Punto de inflamación	232°	-	312°	310.67°	D-1310-01	T-79-96
Ductilidad	100	-	150	119.83	D-113	T-51-00
Peso específico	1	-	1.0112	1.0113	D-71	T-229-97
Punto de ablandamiento	-	-	46°	45	D-36	T-53-96

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Diseño de mezclas asfálticas.

3.3.1. Combinación de agregados.

Tabla 3.38. Promedio de granulometría de agregados pétreos.

Tamices	tamaño (mm)	Grava * Peso Ret. a 5000(gr)	Gravilla * Peso Ret. a 5000(gr)	Arena * Peso Ret. a 5000(gr)	Filler * Peso Ret. a 5000(gr)
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.0	206.53	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.5	2976.13	95.47	0.00	0.00
3/8"	9.50	1351.80	601.93	0.00	0.00
Nº4	4.75	465.53	3980.53	167.20	0.00
Nº8	2.36	0.00	309.93	1021.40	0.00
Nº16	1.18	0.00	5.20	708.70	0.00
Nº30	0.60	0.00	0.00	591.87	0.00
Nº50	0.30	0.00	0.00	1139.10	0.00
Nº100	0.15	0.00	0.00	1034.00	0.00
Nº200	0.075	0.00	0.00	287.23	0.00
BASE	-	0.00	6.93	50.50	5000.00
PESO TOTAL		5000.00	5000.00	5000.00	5000.00

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Dosificación para tres agregados: método analítico.

La fórmula general básica para la combinación de agregados, sin importar el número de agregados o el método utilizado para establecer las proporciones, es la siguiente:

$$P = G * a + F * b + M * c \dots etc$$

Donde:

G= Agregado grueso que pasa el tamiz designado, en %.

F= Agregado fino que pasa el tamiz designado, en %.

M= Agregado filler que pasa el tamiz designado, en %.

a= Cantidad de Material G requerido en la mezcla, en %.

b= Cantidad de material F requerido en la mezcla, en %.

c= Cantidad de material M requerido en la mezcla, en %.

P= Valor deseado que pase el tamiz designado, (media de la especificación), en %.

Proceso de cálculo:

Lo primero que se debe hacer es una combinación de agregados grueso (grava, gravilla) para obtener el % que pasa del total y del agregado fino (arena). La combinación que se hace es sumar 2000 gr de grava y 2000 gramos de gravilla según tamices retenidos.

Tabla 3.39. Combinación granulométrica del agregado grueso.

Peso Total (gr.)		10000		A.S.T.M.	
Tamices	tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa total
	(mm)				
1"	25.4	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	206.5	206.53	2.07	97.93
1/2"	12.5	3071.6	3278.13	32.78	67.22
3/8"	9.50	1953.7	5231.87	52.32	47.68
Nº4	4.75	4446.1	9677.93	96.78	3.22
Nº8	2.36	309.9	9987.87	99.88	0.12
Nº16	1.18	5.2	9993.07	99.93	0.07
Nº30	0.60	0.0	9993.07	99.93	0.07
Nº50	0.30	0.0	9993.07	99.93	0.07
Nº100	0.15	0.0	9993.07	99.93	0.07
Nº200	0.075	0.0	9993.07	99.93	0.07
BASE	-	6.9	10000.00	100.00	0.00
SUMA		10000.0			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.40. Granulometría del agregado fino (arena).

Peso Total (gr.)		5000		A.S.T.M.	
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº4	4.75	167.20	167.20	3.34	96.66
Nº8	2.36	1021.40	1188.60	23.77	76.23
Nº16	1.18	708.70	1897.30	37.95	62.05
Nº30	0.60	591.87	2489.17	49.78	50.22
Nº50	0.30	1139.10	3628.27	72.57	27.43
Nº100	0.15	1034.00	4662.27	93.25	6.75
Nº200	0.075	287.23	4949.50	98.99	1.01
BASE	-	50.50	5000.00	100.00	0.00
SUMA		5000.0			

Fuente: Elaboración propia.

Para este método se debe llevar los % que pasa tanto del material grueso, fino y filler en una planilla resumen.

Tabla 3.41. Resumen de % que pasa de material grueso, fino y filler.

Fuente: Elaboración propia.

Tamiz		Porcentaje que pasa [%]								
		3/4"	1/2 "	3/8"	Nº4	Nº8	Nº30	Nº50	Nº100	Nº200
DENSE	Especificación ASTM D3515	90-100	-	56-80	35-65	23-49	-	5-19	-	2-8
	Media de especificación	95		68	50	36		12		5
SEMI ABIERTA	Especificación INVIAS	95-100	-	65-80	38-55	24-36	-	9-20	-	3-7
	Media de especificación	97.5		72.5	46.5	30		15.5		5
MATERIAL	Agregado grueso G	97.93	67.22	47.68	3.22	0.12	0.07	0.07	0.07	0.07
	Agregado Fino F	100.00	100.00	100.00	96.66	76.23	50.22	27.43	6.75	1.01
	Filler M	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Se realizó las dosificaciones de los porcentajes de cada agregado de manera que se pueda cumplir con las especificaciones, lo que determinó la faja de la granulometría de la mezcla asfáltica convencional 85/100, las mismas se desarrollaron en los laboratorios de la

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, se estableció que la mezcla densa de agregados está compuesta por el 38% de agregado fino arena, 30% de grava de 3/4" y 28% de gravilla de 3/8" y 4% de filler para la granulometría de la mezcla asfáltica densa, para la mezcla asfáltica semiabierta 36% de agregado fino arena, 25% de grava de 3/4", 36% de gravilla de 3/8" y 3% de filler, los cuales cumplen con las especificaciones del manual de la administradora boliviana de carreteras (ABC) por lo que se da por aceptado los factores de combinación, para los rangos establecidos de la faja de 3/4" de tamaño máximo nominal con 4 a 10% de vacíos para las mezclas densas y .

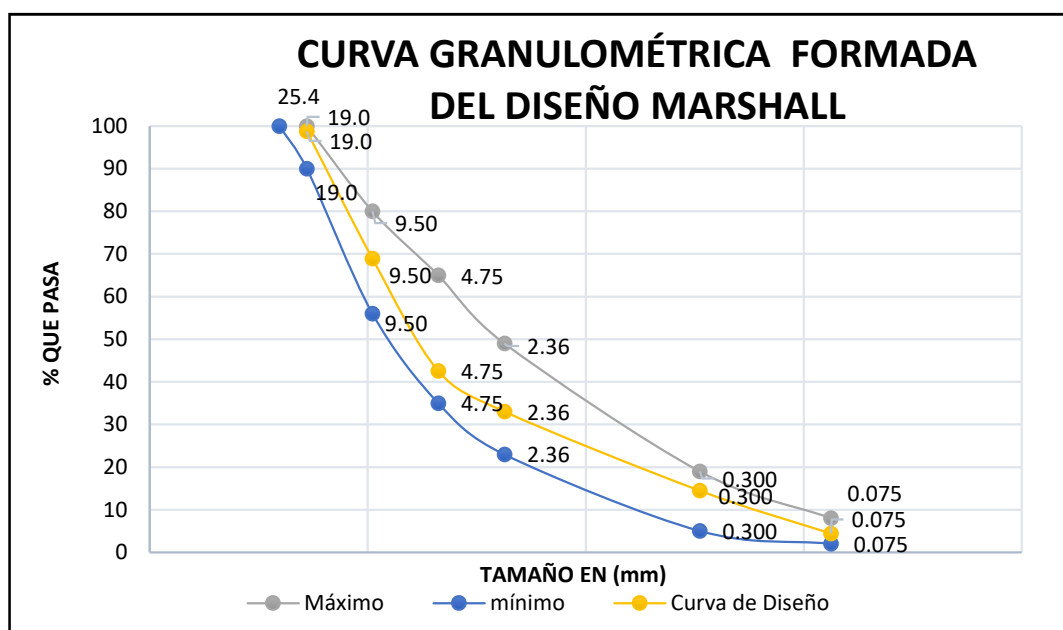
A continuación, se mostrarán las tablas de los pesos para la dosificación con los porcentajes establecidos que cumplen para la faja de 3/4" de tamaño máximo nominal con 2 a 6% de vacíos, para una mezcla asfáltica densa y 6 a 10% de vacíos para las semiabiertas:

Tabla 3.42. Dosificación de materiales pétreos (densa).

Tamices	tamaño (mm)	grava (%) 30	Gravilla (%) 28	Arena (%) 38	Filler (%) 4	% Ret	% que pasa del total	especificaciones ASTM D3515	
								Mínimo	Máximo
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.0	61.96	0.00	0.00	0.00	1.24	98.76	90	100
1/2"	12.5	892.84	26.73	0.00	0.00	19.63	80.37	-	-
3/8"	9.50	405.54	168.54	0.00	0.00	31.11	68.89	56	80
Nº4	4.75	139.66	1114.55	63.54	0.00	57.47	42.53	35	65
Nº8	2.36	0.00	86.78	388.13	0.00	66.97	33.03	23	49
Nº16	1.18	0.00	1.46	269.31	0.00	72.38	27.62	-	-
Nº30	0.60	0.00	0.00	224.91	0.00	76.88	23.12	-	-
Nº50	0.30	0.00	0.00	432.86	0.00	85.54	14.46	5	19
Nº100	0.15	0.00	0.00	392.92	0.00	93.39	6.61	-	-
Nº200	0.075	0.00	0.00	109.15	0.00	95.58	4.42	2	8
BASE	-	0.00	1.94	19.19	200	100	0.00	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.5. Curva granulométrica formada.



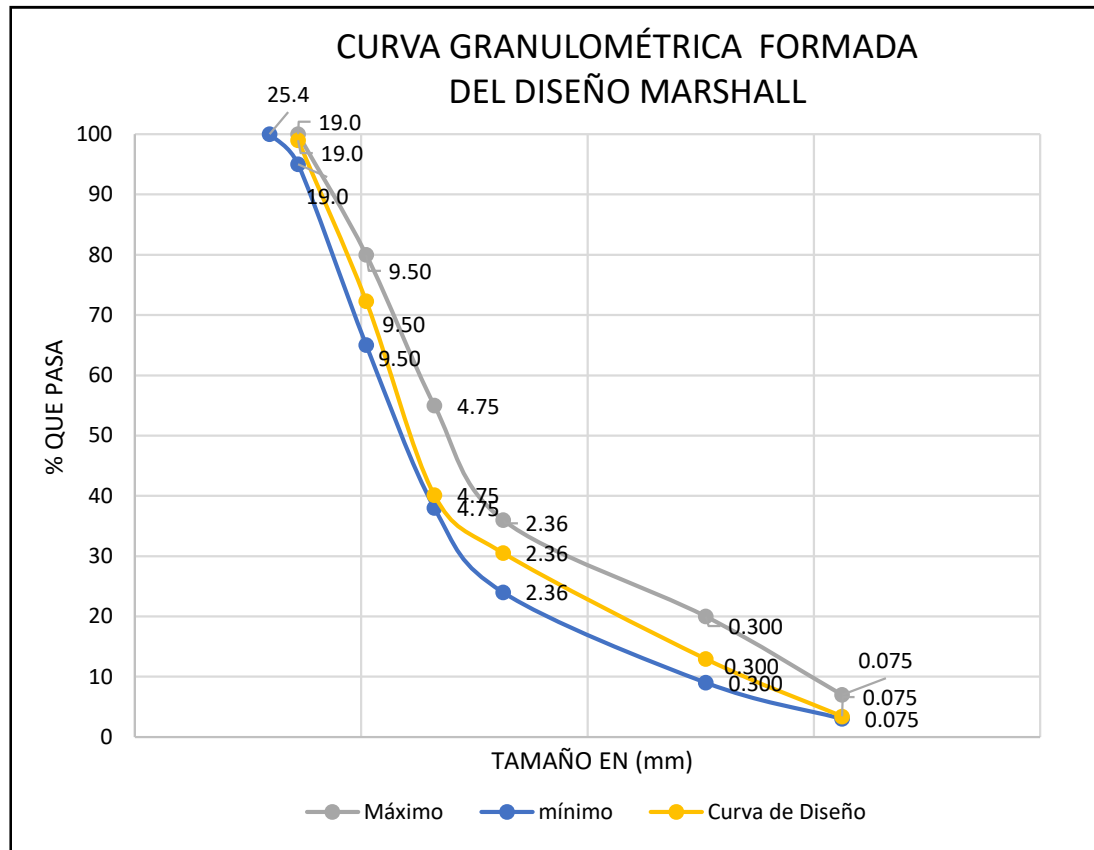
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.43. Dosificación de materiales pétreos (semiabierta).

Tamices	tamaño (mm)	grava (%) 25	Gravilla (%) 36	Arena (%) 36	Filler (%) 3	% Ret	% que pasa del total	especificaciones INVIAS MSC-19	
								Mínimo	Máximo
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.0	51.63	0.00	0.00	0.00	1.03	98.97	95	100
1/2"	12.5	744.03	34.37	0.00	0.00	16.60	83.40	-	-
3/8"	9.50	337.95	216.70	0.00	0.00	27.69	72.31	65	80
Nº4	4.75	116.38	1432.99	60.19	0.00	59.88	40.12	38	55
Nº8	2.36	0.00	111.58	367.70	0.00	69.47	30.53	24	36
Nº16	1.18	0.00	1.87	255.13	0.00	74.61	25.39	-	-
Nº30	0.60	0.00	0.00	213.07	0.00	78.87	21.13	-	-
Nº50	0.30	0.00	0.00	410.08	0.00	87.07	12.93	9	20
Nº100	0.15	0.00	0.00	372.24	0.00	94.52	5.48	-	-
Nº200	0.075	0.00	0.00	103.40	0.00	96.59	3.41	3	7
BASE	-	0.00	2.50	18.18	150	100	0.00	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.6. Curva granulométrica formada.



Fuente: Elaboración propia.

3.4. Contenido mínimo del cemento asfáltico.

Para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico primero se debe calcular el contenido mínimo de cemento asfáltico, para obtener este contenido se utiliza el método de área superficial.

3.4.1. Método del área superficial.

Se utilizan materiales que contienen cierta cantidad de finos.

El método se basa en la estimación de la superficie de los agregados pétreos por cada kilogramo de material.

Primeramente, se determina la composición granulométrica del material pétreo, para realizar una estimación se hace uso de las siguientes constantes de áreas en m^2/kg del material pétreo.

Tabla 3.44. Cálculo del contenido mínimo de cemento asfáltico (densa).

Tamiz		Cantidad de material	Contante de área	Superficie parcial del agregado	Índice asfáltico	Contenido parcial de asfalto
Pasa	Retenido	(%)	(m ² /kg)	(m ²)	(adm)	(kg/kg)
1 1/2"	3/4"	1.24	0.27	0.003	0.0070	0.0000
3/4"	Nº 4	56.23	0.41	0.231	0.0070	0.0016
Nº 4	Nº 40	19.41	2.05	0.398	0.0070	0.0028
Nº 40	Nº 200	18.70	15.38	2.876	0.0070	0.0201
Nº 200	-	4.42	53.30	2.357	0.0070	0.0165
Sumatoria		100				0.0411

Fuente: Elaboración propia.

Contenido mínimo de asfalto = 4.11%

Tabla 3.45. Cálculo del contenido mínimo de cemento asfáltico (semiabierta).

Tamiz		Cantidad de material	Contante de área	Superficie parcial del agregado	Índice asfáltico	Contenido parcial de asfalto
Pasa	Retenido	(%)	(m ² /kg)	(m ²)	(adm)	(kg/kg)
1 1/2"	3/4"	1.03	0.27	0.003	0.0070	0.0000
3/4"	Nº 4	58.85	0.41	0.241	0.0070	0.0017
Nº 4	Nº 40	18.99	2.05	0.389	0.0070	0.0027
Nº 40	Nº 200	17.71	15.38	2.724	0.0070	0.0191
Nº 200	-	3.41	53.30	1.819	0.0070	0.0127
Sumatoria		100				0.0362

Fuente: Elaboración propia.

Contenido mínimo de asfalto = 3.62%

Nos da como resultado un contenido mínimo del cemento asfáltico de 4.31 % para las mezclas asfálticas densas y para las semiabiertas 3.62%, con las cuales partiremos para hallar el contenido óptimo.

3.5. Contenido óptimo de cemento asfáltico.

El contenido óptimo de cemento asfáltico 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 del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área específica total, y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir uniformemente todas las partículas.

Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregado más grande) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área específica total.

3.5.1 Dosificación de la mezcla asfáltica.

Con el contenido mínimo de cemento asfáltico variaremos su porcentaje de la siguiente manera para hallar el contenido óptimo:

La cantidad mínima lo redondeamos al inmediato inferior para mayor seguridad.

Cantidad mínima de C.A. (densa) = 4.11 % $\rightarrow$ 4%

Cantidad mínima de C.A. (semiabierta) = 3.62 % $\rightarrow$ 3.5%

Para la elaboración de briquetas de ensayo, se realizará 3 briquetas con cada porcentaje de cemento asfáltico dando un total de 18 briquetas para cada tipo de mezcla asfáltica con la cual se determinará el contenido óptimo de cemento asfáltico.

Tabla 3.46. Dosificación de la mezcla asfáltica (densa).

ponderación de grava (%)	30.00	porcentaje de briketa	100%
ponderación de gravilla (%)	28.00	porcentaje de cemento asfáltico	x
ponderación de arena (%)	38.00	porcentaje de agregado	100-x
ponderación de filler (%)	4.00	peso total de briketa(gr)	1200
Total	100.00		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.47. Dosificación de la mezcla asfáltica (semiabierta).

ponderación de grava (%)	25.00	porcentaje de briketa	100%
ponderación de gravilla (%)	36.00	porcentaje de cemento asfáltico	x
ponderación de arena (%)	36.00	porcentaje de agregado	100-x
ponderación de filler (%)	3.00	peso total de briketa(gr)	1200
Total	100.00		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.48. Variaciones del porcentaje de asfalto para el porcentaje óptimo (densa).

Porcentaje de cemento asfáltico (% de CA)	Número de briquetas (unidad)
4	3
4.5	3
5	3
5.5	3
6	3
6.5	3
Total, de briquetas elaboradas	18

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.49. Variaciones del porcentaje de asfalto para el porcentaje óptimo
(semiabierta).

Porcentaje de cemento asfáltico (% de CA)	Número de briquetas (unidad)
3.5	3
4	3
4.5	3
5	3
5.5	3
6	3
Total, de briquetas elaboradas	18

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Dosificación con variación del porcentaje de cemento asfáltico.

Tabla 3.50. Dosificación de la mezcla asfáltica con variación de porcentajes de cemento
asfáltico (densa).

porcentaje de cemento asfaltico (%)	4	4.5	5	5.5	6	6.5
porcentaje de agregado (%)	96	95.5	95	94.5	94	93.5
peso del cemento asfaltico(gr)	48	54	60	66	72	78
peso de Grava(gr)	345.6	343.8	342	340.2	338.4	336.6
peso de Gravilla(gr)	322.56	320.88	319.2	317.52	315.84	314.16
peso de Arena(gr)	437.76	435.48	433.2	430.92	428.64	426.36
peso de Filler (gr)	46.08	45.84	45.6	45.36	45.12	44.88
peso total de la briqueta (gr)	1200	1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.51. Dosificación de la mezcla asfáltica con variación de porcentajes de cemento asfáltico (semiabierto)

porcentaje de cemento asfáltico (%)	3.5	4	4.5	5	5.5	6
porcentaje de agregado (%)	96.5	96	95.5	95	94.5	94
peso del cemento asfáltico(gr)	42	48	54	60	66	72
peso de Grava(gr)	289.5	288	286.5	285	283.5	282
peso de Gravilla(gr)	416.88	414.72	412.56	410.4	408.24	406.08
peso de Arena(gr)	416.88	414.72	412.56	410.4	408.24	406.08
peso de Filler (gr)	34.74	34.56	34.38	34.2	34.02	33.84
peso total de la briqueta (gr)	1200	1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Desarrollo de la elaboración de las briquetas.

3.5.3.1. Equipo:

- Martillo de compactación.
- Moldes de briquetas.
- Extractor de probetas.
- Balanza de precisión de $\pm 0,1$ g.
- Bandejas metálicas.
- Taritas metálicas.
- Estufa o hornalla.
- Termómetro de 360 °C.
- Espátula.
- Cuchara.
- Medidor de estabilidad.

3.5.3.2. Preparación de la muestra de ensayo.

Las muestras se preparan de la siguiente manera:

- El agregado grueso (grava y gravilla) se debe lavar para sacar sus impurezas y secar en horno por 24 horas a una temperatura de 110 ± 5 °C, y pesar en la balanza según su dosificación.
- El agregado fino no se lava, pero se le retira sus impurezas como ser copas pastos raíces hojas o cualquier otro tipo de impurezas y se le debe secar en horno por 24 horas a una temperatura de 110 ± 5 °C, y pesar en la balanza según su dosificación.
- El cemento asfáltico debe calentarse en la hornalla y pesar en taras según su porcentaje ya calculado anteriormente cuidadosamente por las altas temperaturas.

3.5.3.3. Elaboración de briquetas.

- Se debe lubricar los moldes de las briquetas para poder desmoldar con mayor facilidad, se le coloca una hoja de papel lubricada con aceite con los diámetros de los moldes para que no se pegue en el molde ni en el martillo compactador.
- El cemento asfáltico previamente pesado según su porcentaje a usar se debe calentar en la hornalla y mezclar con los agregados pétreos previamente pesados e identificados en una bandeja hasta que todas las partículas del agregado estén revestidas cuidadosamente con la cuchara y con guantes y trapos para no provocarse accidentes, la temperatura debe rondar entre los 160 a 180 °C.
- La mezcla asfáltica caliente se coloca en el molde precalentado Marshall como preparación para su compactación, el cual es calentado para que no enfrié la superficie de la mezcla al golpearla. Se coloca la muestra al molde en tres capas, cada capa se la compacta con 25 golpes manuales.
- Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall mecánico. El número de golpes del martillo depende de la cantidad de tránsito para la cual está siendo diseñada, en este caso 75 golpes por cara para un tránsito pesado.
- Después de compactar la briqueta se deja enfriar alrededor de 10 a 15 minutos para su posterior extracción del molde se las marca para identificarlas, y dejarlas a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas para luego continuar con el ensayo de Marshall.

Figura 3.6. Mezclado del agregado con cemento asfáltico y colocando al molde.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7. Compactación de la briqueta con el martillo Marshall mecánico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8. Proceso de desmolde de la briqueta y marcando briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.9. Reposo de briquetas según su porcentaje de cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

3.6. Procedimiento de ensayo Marshall

Existen tres procedimientos de ensayo en el método del ensayo Marshall. Estos son: determinación del peso específico total, medición de la estabilidad Marshall, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las briquetas.

3.6.1. Método de prueba estándar para espesor o altura de la biqueta de ensayo (ASTM D-3549).

Antes de realizar el ensayo se debe determinar la altura de la biqueta la cual nos servirá para cálculos de estabilidad Marshall.

Para determinar su altura se marca la biqueta con una tiza en 4 partes iguales y con la ayuda de un vernier medimos la altura de la biqueta en las marcas de esta manera obtendremos una altura representativa de la biqueta.

Figura 3.10. Medición de altura de la biqueta.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Método de prueba estándar del peso específico total (ASTM D-2726).

En este ensayo se determina su peso en seco, peso sumergido en agua y peso saturado superficialmente seco de la briqueta.

Para determinar el peso en seco se procede a pesar la briqueta en una balanza con precisión de 0,1 g.

Para el peso sumergido se deja la briqueta en baño maría a 25 °C por un tiempo de 10 minutos para que se sature, transcurrido los 10 minutos de baño maría, se procede a determinar su peso sumergido en agua sacamos mediante una balanza hidrostática.

Para el peso saturado superficialmente seco, sacamos la briqueta del canastillo de la balanza hidrostática la secamos con un trapo o paño y determinamos su peso saturado superficialmente seco.

Figura 3.11. Determinación del peso seco y sumergido en agua.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. Método de prueba estándar para estabilidad Marshall y flujo de mezclas asfálticas. (ASTM D-6927).

Una vez medidas y pesadas las briquetas, se proceden a realizar el ensayo de fluencia y estabilidad en la prensa Marshall.

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga constante que ocurre en la mezcla.

- Para la ruptura de briquetas primero se la sumerge en baño maría a $60 \pm 0,5$ °C por un periodo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos, esta temperatura representa la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- Para la realización del ensayo se limpian las superficies interiores de las mordazas, mismas que debe tener una temperatura entre 21 °C y 38 °C, si es inferior se deberá calentar en baño maría hasta alcanzar la temperatura indicada.
- La biqueta es removida del baño maría, secada rápidamente se envuelve la biqueta con papel periódico para que no ensucie las mordazas y se la coloca en el equipo Marshall, el aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga sobre la biqueta y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).
- Se pone en cero el indicador del dial del anillo de carga y se procede a aplicar la carga a una velocidad de deformación constante de 51 mm (2 pulgadas) por minuto hasta que se produzca la ruptura o falla de la biqueta. La falla está definida como la carga máxima que la biqueta puede resistir.
- La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

Figura 3.12. Colocación de biqueta al equipo Marshall y midiendo.



Fuente: Elaboración propia.

3.7. Procedimiento de cálculo para el ensayo Marshall.

Se desarrollará el procedimiento del ensayo de una briqueta con el porcentaje de 4% del cemento asfáltico convencional 85/100 para un mayor entendimiento del ensayo.

3.7.1 Identificación de briquetas.

Para la identificación de briquetas se las enumero de 3 en 3 para cada porcentaje de cemento asfáltico, para este caso de porcentaje de cemento asfáltico de 4% como 1, 2 y 3.

3.7.2 Espesor o altura de las briquetas.

Se la determina midiendo con el vernier en 4 lados de la briqueta previamente dividido en partes iguales para así obtener una altura representativa y se calcula la altura promedio de la briqueta.

Tabla 3.52. Alturas o espesores de cada briqueta ensayada.

Contenido de cemento asfaltico 4%		
Identificación	Alturas (cm)	Promedio (cm)
1	6.53	6.52
	6.51	
	6.53	
	6.52	
2	6.56	6.50
	6.53	
	6.47	
	6.45	
3	6.45	6.48
	6.47	
	6.51	
	6.50	

Fuente: Elaboración propia.

3.7.3 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 es de 4 %.

Para la base de agregados se la determina mediante el siguiente procedimiento de cálculo.

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

$$\text{base de agregado} = \frac{4 * 100}{100 - 4}$$

$$\text{base de agregado} = 4.17\%$$

3.7.4. Peso de la briqueta.

3.7.4.1. Peso de la briqueta en estado seco.

Consiste en pesar la briqueta en la balanza.

Tabla 3.53. Peso de briquetas en estado seco.

Identificación	Peso de briqueta (g)
1	1192.4
2	1175.5
3	1175.4

Fuente: Elaboración propia.

3.7.4.2. Peso de la briqueta en estado saturado superficialmente seco.

Consiste en pesar la briqueta una vez sacada del baño maría a 25 °C y ser secada con un paño o trapo.

Tabla 3.54. Peso de briqueta saturada superficialmente seca (S.S.S.).

Identificación	Peso de briqueta S.S.S. (g)
1	1196.8
2	1181.1
3	1181.9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.55. Peso de briqueta sumergida en agua.

Identificación	Peso de briqueta sumergida en agua [g]
1	679
2	677
3	678

Fuente: Elaboración propia.

3.7.5. Volumen de la briqueta.

Para briqueta identificada como 1:

$$\text{Volumen de briqueta} = \text{Peso S. S. S.} - \text{Peso sumergida}$$

$$\text{Volumen de briqueta} = 1196.8 - 679$$

$$\text{Volumen de briqueta} = 517.8 \text{ gr}$$

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

$$\text{Volumen de briqueta} = 517.8 \text{ cm}^3$$

3.7.6. Densidad de la briqueta.

Para briqueta identificada como 1:

3.7.6.1. Densidad real de la briqueta.

$$\text{Densidad real} = \frac{\text{peso de la briqueta en seco}}{\text{volumen de la briqueta}}$$

$$\text{Densidad real} = \frac{1192.4}{518.8}$$

$$\text{Densidad real} = 2.30 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

3.7.6.2. Densidad máxima teórica de la briqueta.

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

$$\text{Densidad max.} = \frac{100}{\frac{4.17}{1.014} + \frac{100 - 4.17}{2.64}}$$

$$\text{Densidad max.} = 2.47 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

3.7.7. Porcentaje de vacíos.

Para briqueta identificada como 1:

3.7.7.1 Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv).

$$V_v = \frac{\text{Densidad max} - \text{Densidad real promedio}}{\text{Densidad max.}} * 100$$

$$V_v = \frac{2.47 - 2.33}{2.47} * 100$$

$$V_v = 5.97 \%$$

3.8.7.2 Porcentaje de vacíos de los agregados minerales (V.A.M.).

$$V.A.M. = \frac{\% \text{ de asfalto} * \text{Densidad real promedio}}{\text{Peso especifico de asfalto}} + \% \text{ de vacios}(V_v)$$

$$V.A.M. = \frac{4 * 2.33}{1.014} + 5.97$$

$$V.A.M. = 15.06\%$$

3.8.8. Estabilidad y fluencia.

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

Para determinar la estabilidad real la lectura del dial nos mide en mm, este valor se introduce a la ecuación calibrada la cual es:

$$\text{Estabilidad} = (0.012 * \text{Lectura del dial} - 0.0812) * 102 * 2.2$$

Para briqueta identificada como 1:

$$\text{Estabilidad} = (0.012 * 919 - 0.0812) * 102 * 2.2$$

$$\text{Estabilidad} = 2456.46 \text{ libras}$$

Después del cálculo de la estabilidad real se debe corregir por la altura de la briqueta con la siguiente formula:

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

El factor de corrección es de acuerdo a la altura de la briqueta según método Marshall cuando la altura es diferente de 63,5mm.

Tabla 3.56. Alturas promedio y factor de corrección

Identificación	Promedio de alturas (cm)	Factor de corrección	Estabilidad real corregida [libras]	Estabilidad promedio corregida [libras]
1	6.52	0.96	2353.54	1831.79
2	6.5	0.96	1763.04	
3	6.48	0.97	1378.80	

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado se tiene lo siguiente:

Tabla 3.57. Resultados de estabilidad y fluencia.

Identificación	Estabilidad [libras]		Fluencia [0.01 pulgadas]	
	Corregida	Promedio	Lectura	Promedio
1	2353.54	1831.79	9	9.33
2	1763.04		9	
3	1378.80		10	

Fuente: Elaboración propia.

Después de realizar el proceso de cálculo en gabinete se tiene:

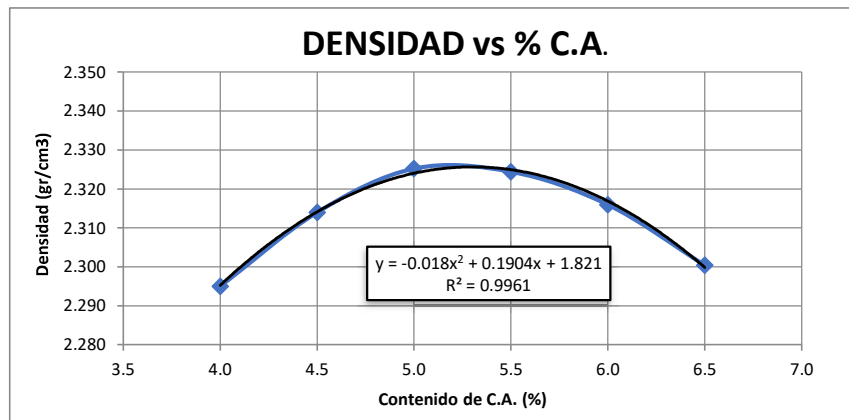
Tabla 3.58. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional (densa).

Porcentajes de cemento asfáltico (%)	Densidad promedio (g/cm³)	Estabilidad (libras)	Fluencia (pulgada)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.B.V. relación betún vacíos (%)	V.A.M. vacíos de agregado mineral (%)
4.0	2.33	1831.79	9.33	5.97	60.34	15.06
4.5	2.33	2034.34	10.00	5.12	66.71	15.37
5.0	2.33	2116.73	11.00	4.44	71.99	15.84
5.5	2.32	2130.69	12.33	3.68	77.31	16.24
6.0	2.32	1981.05	14.00	3.24	80.81	16.69
6.5	2.30	1803.32	16.00	3.10	82.59	17.80

Fuente: Elaboración propia

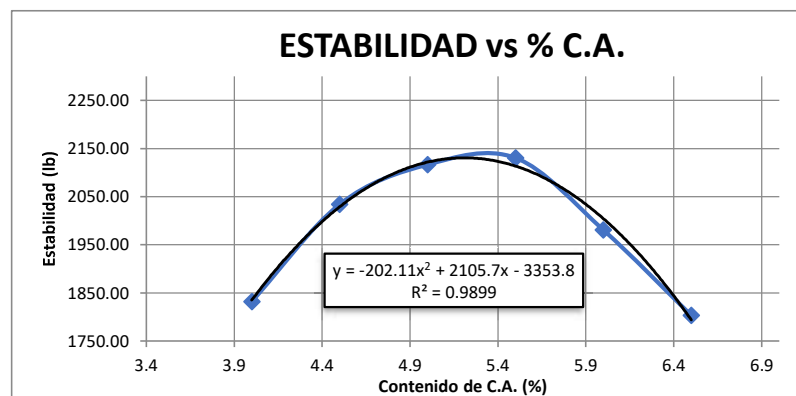
3.9. Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico (densa).

Gráfico 3.7. Porcentaje de cemento asfáltico vs densidad.



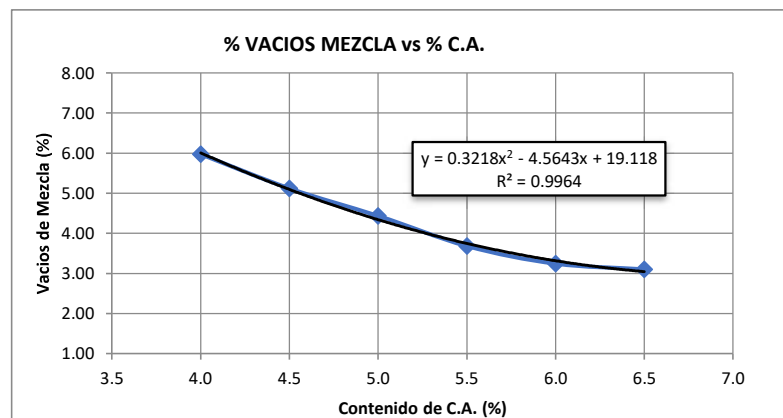
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.8. Porcentaje de cemento asfáltico vs estabilidad corregida.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.9. Porcentaje de cemento asfáltico vs % de vacíos respecto a la mezcla total.



Fuente: Elaboración propia.

La obtención del contenido óptimo de cemento asfáltico se realiza en función a estas tres graficas mediante los siguientes criterios:

- La densidad máxima
- La estabilidad máxima
- Porcentaje de vacíos entre 3% - 5%, para las mezclas asfálticas densas se trabajará con el 4%.

Del cual cada propiedad tendrá su contenido de cemento asfáltico, donde se sacará el promedio y este será el contenido óptimo de cemento asfáltico.

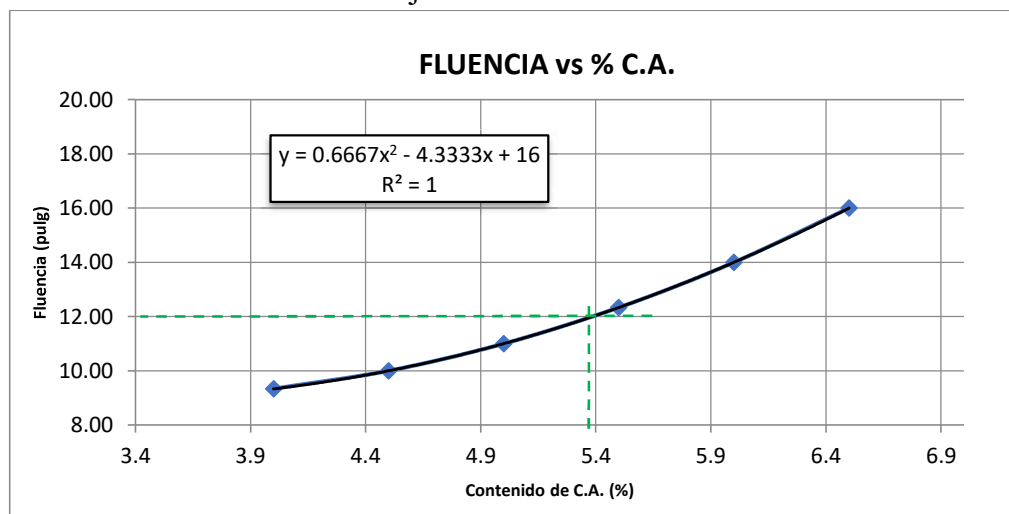
Tabla 3.59. Resultados de las gráficas del ensayo Marshall.

Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
Estabilidad Marshall (Lb)	2133.92	5.21
Densidad máxima (g/cm ³)	2.33	5.63
Vacíos de la mezcla (%)	4.00	5.33
% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%) =	5.4

Fuente: Elaboración propia.

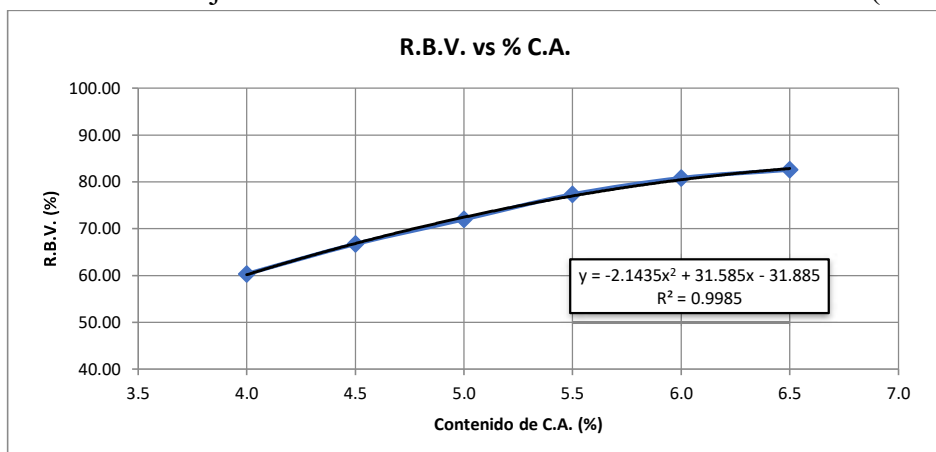
Con el contenido óptimo de cemento asfáltico de 5.4% se verifica en las demás propiedades si cumplen con la norma establecida.

Gráfico 3.10. Porcentaje de cemento asfáltico vs fluencia.



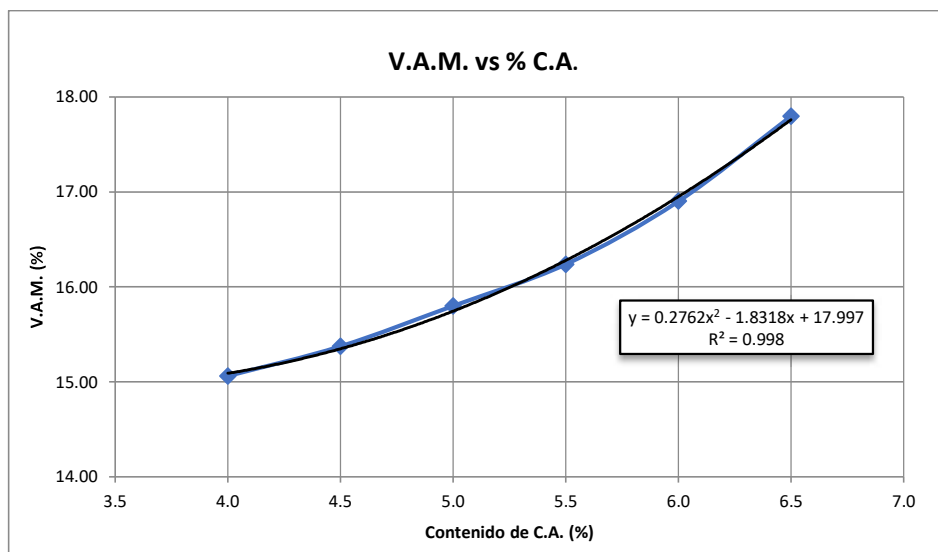
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.11. Porcentaje de cemento asfáltico vs relación betumen vacíos (R.B.V.).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.12. Porcentaje de cemento asfáltico vs vacíos del agregado mineral (V.A.M.).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.60. Porcentaje de agregado en la mezcla total (densa).

Porcentaje de agregado en la mezcla total	
ponderación de grava (%)	30.00
ponderación de gravilla (%)	28.00
ponderación de arena (%)	38.00
ponderación de filler (%)	4.00
Total	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.61. Porcentaje optimo en la mezcla total (densa).

porcentaje de cemento asfáltico (%)	5.4
porcentaje de agregado (%)	94.6
peso del cemento asfáltico (g)	64.8
peso de Grava (g)	340.56
peso de Gravilla (g)	317.856
peso de Arena (g)	431.376
peso de Filler (g)	45.408
peso total de la briqueta (g)	1200

Fuente: Elaboración propia.

3.10. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional (Semiabierta) para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico.

Después de realizar el proceso de cálculo en gabinete se tiene:

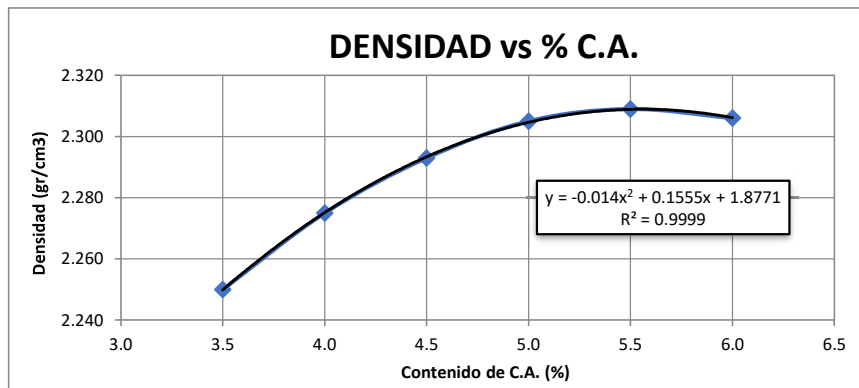
Tabla 3.62. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional (semiabierta).

Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (g/cm ³)	Estabilidad (Libras)	Fluencia (Pulgada)	% De Vacíos De Mezcla Total (%)	R.B.V. Relación Betún Vacíos (%)	V.A.M. Vacíos De Agregado Mineral (%)
3.5	2.25	2187.15	12.00	9.82	43.73	17.44
4.0	2.27	2747.09	12.33	8.28	51.64	17.11
4.5	2.29	3070.42	13.00	6.86	59.43	16.91
5.0	2.28	3207.83	13.67	6.37	63.65	17.52
5.5	2.27	3104.56	14.67	6.08	66.78	18.29
6.0	2.25	2765.18	15.67	6.02	68.72	19.26

Fuente: Elaboración propia.

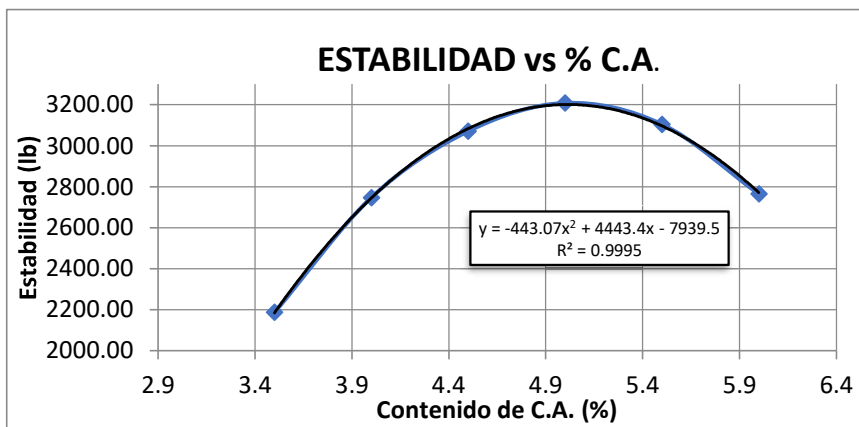
3.9. Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico (semiabierta).

Gráfico 3.13. Porcentaje de cemento asfáltico vs densidad.



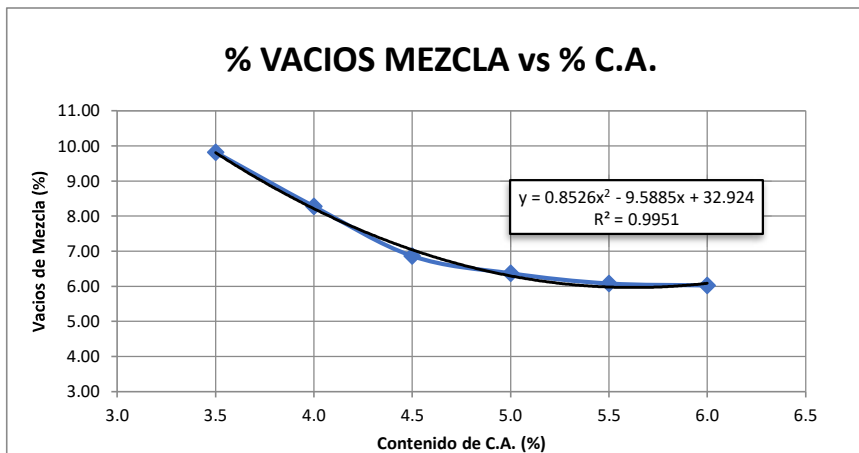
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.14. Porcentaje de cemento asfáltico vs estabilidad corregida.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.15. Porcentaje de cemento asfáltico vs % de vacíos respecto a la mezcla total.



Fuente: Elaboración propia.

La obtención del contenido óptimo de cemento asfáltico semiabierto se realiza en función a estas tres graficas mediante los siguientes criterios:

- La densidad máxima
- La estabilidad máxima
- Porcentaje de vacíos entre 6% - 10%, para las mezclas asfálticas semiabiertas se trabajará con el 8%.

Del cual cada propiedad tendrá su contenido de cemento asfáltico, donde se sacará el promedio y este será el contenido óptimo de cemento asfáltico.

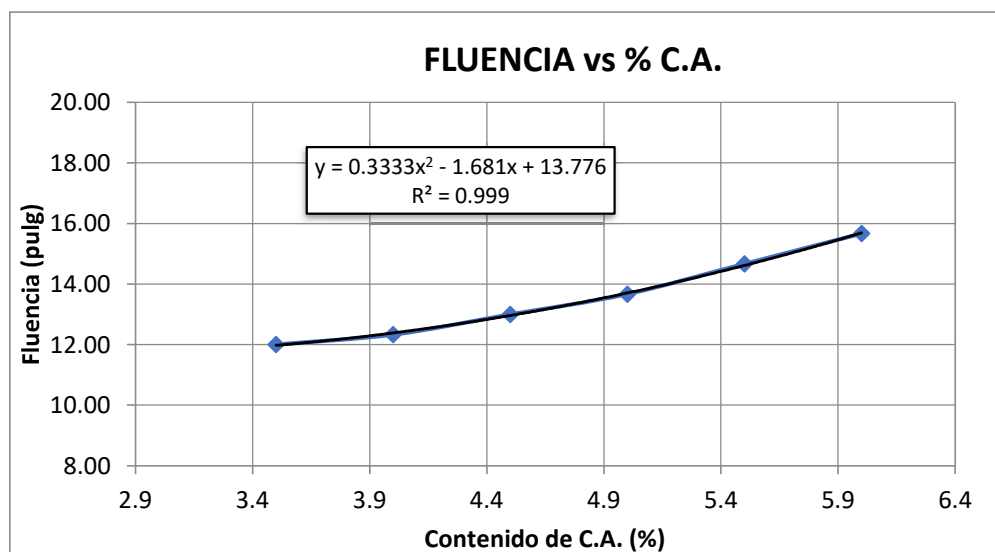
Tabla 3.63. Resultados de las gráficas del ensayo Marshall.

Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
Estabilidad Marshall (Lb)	3200.84	5.01
Densidad máxima (gr/cm ³)	2.31	5.96
Vacíos de la mezcla (%)	8.01	4.05
% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%) =	5.0

Fuente: Elaboración propia.

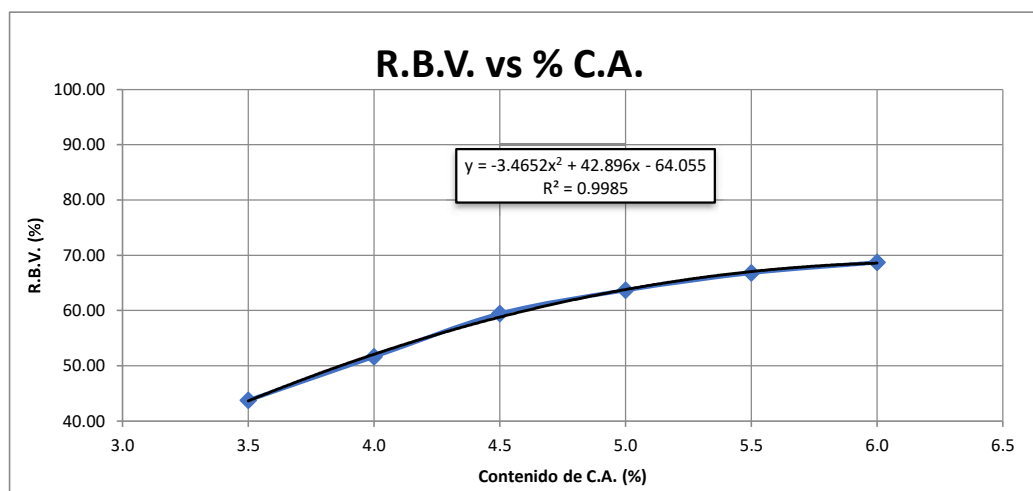
Con el contenido óptimo de cemento asfáltico de 5.4% se verifica en las demás propiedades si cumplen con la norma establecida.

Gráfico 3.16: Porcentaje de cemento asfáltico vs fluencia.



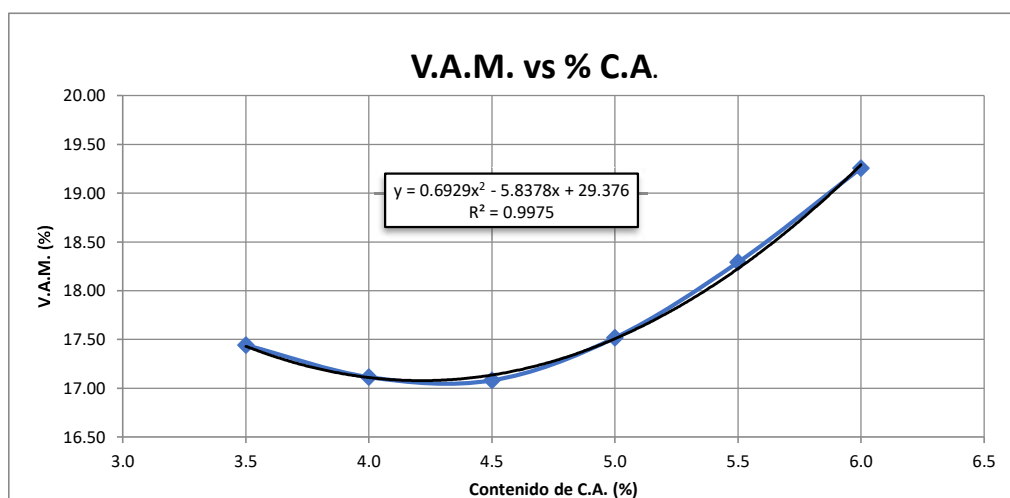
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.17. Porcentaje de cemento asfáltico vs relación betumen vacíos (R.B.V.).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.18. Porcentaje de cemento asfáltico vs vacíos del agregado mineral (V.A.M.).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.64. Porcentaje de agregado en la mezcla total (semiabierta)

Porcentaje de agregado en la mezcla total	
ponderación de grava (%)	25.00
ponderación de gravilla (%)	36.00
ponderación de arena (%)	36.00
ponderación de filler (%)	3.00
total	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.65. Porcentaje optimo en la mezcla total (semiabierta)

porcentaje de cemento asfaltico (%)	5
porcentaje de agregado (%)	95
peso del cemento asfaltico (g)	60
peso de Grava (g)	285
peso de Gravilla (g)	410.4
peso de Arena (g)	410.4
peso de Filler (g)	34.2
peso total de la briqueta (g)	1200

Fuente: Elaboración propia.

3.11. Preparación de briquetas densas con el porcentaje óptimo para el asfalto 85/100.

Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico que es igual a 5,4% para el cemento asfáltico 85/100 del total de las briquetas de 1200 gr, se procede a pesar las muestras para su respectiva compactación, con los pesos para la realización de briquetas convencionales manteniendo la combinación de agregados de 38% de grava de 3/4", 28% de gravilla de 3/8", 28% de arena y 4% de filler.

Tabla 3.66. Dosificación con el contenido óptimo de asfalto densa

porcentaje de cemento asfaltico (%)	5.4%
porcentaje de agregado (%)	94.6
peso del cemento asfaltico (g)	64.8
peso de Grava (g)	340.56
peso de Gravilla (g)	317.856
peso de Arena (g)	431.376
peso de Filler (g)	45.408
peso total de la briqueta (g)	1200

Fuente: Elaboración propia.

3.12. Preparación de briquetas con el porcentaje óptimo para las mezclas asfálticas semiabiertas.

Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico para las mezclas semiabiertas, que es igual a 5.0% para el asfalto semiabierto del total de las briquetas de 1200 gr, se procede a pesar las muestras para su respectiva compactación, con los pesos para la realización de briquetas manteniendo la combinación de agregados de 25% de grava de 3/4", 36% de gravilla de 3/8", 36% de arena y 3% de filler.

Tabla 3.67. Dosificación con el contenido óptimo para la mezcla semiabierta

porcentaje de cemento asfáltico (%)	5%
porcentaje de agregado (%)	95
peso del cemento asfáltico (g)	60
peso de Grava (g)	285
peso de Gravilla (g)	410.4
peso de Arena (g)	410.4
peso de Filler (g)	34.2
peso total de la briketa (g)	1200

Fuente: Elaboración propia.

3.13. Ensayo Marshall para el porcentaje óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica densa.

Para realizar el ensayo de estabilidad Marshall para determinar los efectos de la humedad en las mezclas asfálticas, se realizaron las siguientes briquetas: las briquetas P1,P2 y P3 son los datos obtenidos con los valores de la estabilidad para la briketa patrón con saturación 0, las briquetas 2.1,2.2 y 2.3 fueron los datos obtenidos con los valores de estabilidad a las 2 horas, las briquetas 4.1, 4.2 y 4.3 con los valores de estabilidad a las 4 horas y las briquetas 6.1, 6.2 y 6.3 con los valores de estabilidad a las 6 horas y las briquetas 8.1, 8.2 y 8.3 con los valores de estabilidad a las 8 horas y las briquetas 10.1, 10.2 y 10.3 con los valores de estabilidad a las 10 horas y las briquetas 12.1, 12.2 y 12.3 con los valores de estabilidad a las 12 horas, estos tiempos fueron sumergidos a baño maría, a una temperatura de 60°C.

A continuación, se mostrará los datos obtenidos del ensayo Marshall:

Tabla 3.68. Datos iniciales para el ensayo Marshall con asfalto para la mezcla asfáltica densa.

Tiempo saturado (horas)	% de asfalto	N° de probeta	Altura promedio de probeta (cm)	Peso seco al aire (g)	Peso sat. Sup. Seco (g)	Peso sumergido en agua (g)	Lectura del dial estabilidad	Lectura dial fluencia
0	5.4	P.1	6.38	1188.9	1194.3	684	1297	14
		P.2	6.23	1162.1	1167.0	670	1411	18
		P.3	6.40	1194.8	1198.9	673	1197	15
2	5.4	2.1	6.39	1175.1	1182.5	667	1230	15
		2.2	6.21	1157.2	1162.9	674	940	11
		2.3	6.33	1181.5	1187.9	676	1567	14
4	5.4	4.1	6.30	1178.2	1181.5	667	1292	12
		4.2	6.30	1166.2	1173.7	685	1332	13
		4.3	6.59	1191.1	1197.4	671	1019	13
6	5.4	6.1	6.35	1186.2	1191.6	673	1225	13
		6.2	6.38	1190.4	1194.1	672	1198	14
		6.3	6.30	1168.5	1174.3	682	1102	10
8	5.4	8.1	6.40	1182.2	1183.2	675	1140	15
		8.2	6.35	1185.2	1188.6	673	1092	11
		8.3	6.42	1193.5	1196.4	682	1278	10
10	5.4	10.1	6.23	1177.8	1179.9	665	1130	10
		10.2	6.34	1191.8	1194.5	687	1114	12
		10.3	6.30	1185.3	1189.1	676	1082	11
12	5.4	12.1	6.37	1184.1	1186.9	678	1110	11
		12.2	6.25	1178.3	1181.6	668	950	9
		12.3	6.42	1192.1	1195.5	680	1182	11

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, la resistencia remanente de 2 horas es:

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

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{3363.13}{3505.20} * 100\%$$

$$\text{Resistencia Remanente} = 95.95\%$$

Por lo tanto, la resistencia remanente de 4 horas es:

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{3232.22}{3505.20} * 100\%$$

$$\text{Resistencia Remanente} = 92.21\%$$

Por lo tanto, la resistencia remanente de 6 horas es:

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{3150.58}{3505.20} * 100\%$$

$$\text{Resistencia Remanente} = 89.88\%$$

Por lo tanto, la resistencia remanente de 8 horas es:

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{3099.67}{3505.20} * 100\%$$

$$\text{Resistencia Remanente} = 88.43\%$$

Por lo tanto, la resistencia remanente de 10 horas es:

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{3014.99}{3505.20} * 100\%$$

$$\text{Resistencia Remanente} = 86.01\%$$

Por lo tanto, la resistencia remanente de 12 horas es:

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{2891.25}{3505.20} * 100\%$$

$$\text{Resistencia Remanente} = 82.48\%$$

3.14. Ensayo Marshall para el porcentaje óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica semiabierta.

Para realizar el ensayo de estabilidad Marshall para determinar los efectos de la humedad en las mezclas asfálticas, se realizaron las siguientes briquetas: las briquetas P1,P2 y P3 son los datos obtenidos con los valores de la estabilidad para la briketa patrón con saturación 0, las briquetas 2.1,2.2 y 2.3 fueron los datos obtenidos con los valores de estabilidad a las 2 horas, las briquetas 4.1, 4.2 y 4.3 con los valores de estabilidad a las 4

horas y las briquetas 6.1, 6.2 y 6.3 con los valores de estabilidad a las 6 horas y las briquetas 8.1, 8.2 y 8.3 con los valores de estabilidad a las 8 horas y las briquetas 10.1, 10.2 y 10.3 con los valores de estabilidad a las 10 horas y las briquetas 12.1, 12.2 y 12.3 con los valores de estabilidad a las 12 horas, estos tiempos fueron sumergidos a baño maría, a una temperatura de 60°C.

A continuación, se mostrará los datos obtenidos del ensayo Marshall:

Tabla 3.69. Datos iniciales para el ensayo Marshall con asfalto para la mezcla asfáltica semiabierta.

Tiempo saturado (horas)	% de asfalto optimo	Nº de probeta	Altura promedio de probeta (cm)	Peso seco al aire (g)	Peso sat. Sup. Seco (g)	Peso sumergido en agua (g)	Lectura del dial estabilidad	Lectura dial fluencia
0	5.0	P.1	6.37	1190.0	1198.5	679.0	1550	13
		P.2	6.36	1186.7	1198.3	678.0	1364	11
		P.3	6.37	1189.7	1194.9	675.0	1253	15
2	5.0	2.1	6.78	1183.9	1190.6	661.0	1265	15
		2.2	6.45	1186.6	1194.6	680.0	1497	12
		2.3	6.41	1187.6	1194.8	683.0	1261	11
4	5.0	4.1	6.29	1183.6	1190.0	678.0	1140	12
		4.2	6.36	1181.6	1188.3	674.0	1239	10
		4.3	6.28	1185.9	1193.8	665.0	1255	11
6	5.0	6.1	6.33	1176.7	1181.2	671.0	1370	10
		6.2	6.49	1182.1	1189.1	664.0	1140	11
		6.3	6.46	1181.6	1188.0	674.0	1082	11
8	5.0	8.1	6.29	1184.4	1188.5	674.0	1162	12
		8.2	6.36	1189.4	1194.2	667.0	1018	9
		8.3	6.22	1175.4	1180.4	668.0	1200	10
10	5.0	10.1	6.32	1185.8	1192.6	672.0	1269	9
		10.2	6.34	1189.5	1193.1	673.0	1060	10
		10.3	6.32	1188.0	1192.7	674.0	1013	10
12	5.0	12.1	6.30	1182.6	1188.7	665.0	995	8
		12.2	6.29	1177.8	1183.7	665.0	1126	9
		12.3	6.33	1181.6	1187.9	677.0	1096	10

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, la resistencia remanente de 2 horas es:

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

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{3432.38}{3706.51} * 100\%$$

$$\textbf{Resistencia Remanente} = \textbf{92.60\%}$$

Por lo tanto, la resistencia remanente de 4 horas es:

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{3232.22}{3706.51} * 100\%$$

$$\textbf{Resistencia Remanente} = \textbf{88.45\%}$$

Por lo tanto, la resistencia remanente de 6 horas es:

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{3149.93}{3706.51} * 100\%$$

$$\textbf{Resistencia Remanente} = \textbf{84.98\%}$$

Por lo tanto, la resistencia remanente de 8 horas es:

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{3067.48}{3706.51} * 100\%$$

$$\textbf{Resistencia Remanente} = \textbf{82.76\%}$$

Por lo tanto, la resistencia remanente de 10 horas es:

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{3000.68}{3706.51} * 100\%$$

$$\textbf{Resistencia Remanente} = \textbf{80.96\%}$$

Por lo tanto, la resistencia remanente de 12 horas es:

$$\text{Resistencia Remanente} = \frac{2901.85}{3706.51} * 100\%$$

$$\textbf{Resistencia Remanente} = \textbf{78.29\%}$$

3.15. Evaluación de los deterioros saturando a diferentes temperaturas.

Esta práctica se evaluó de manera visual saturando las briquetas de mezclas asfálticas semiabiertas elaboradas previamente con su dosificación optima calculada para el

Marshall, se saturó a diferentes temperaturas y tiempos de saturación y se evaluó los cambios que presentó en los diferentes días que estuvo la muestra saturada para hallar sus cambios o deterioros que sufrieron para ello se separó las briquetas en tres grupos la de temperatura de 42°C que va a simular la temperatura de la zona del chaco, temperatura ambiente de 20°C que va a simular la temperatura de cercado Tarija, y de 2°C que va a simular la zona alta de la ciudad de Tarija.

3.15.1. Evaluación de Briquetas a 42°C.

Se saturó con agua en temperatura de 42°C en el horno de película delgada ya que no se podía utilizar horno de baño maría varios días por que también utilizan otros alumnos, el horno de película delgada cumplió para saturar las muestras ya que tiene su graduación de temperatura, se colocó las briquetas en una bandeja con agua y se la introdujo al horno graduado a 42°C.

Se midió todos los días, se pesó en la balanza para ver su absorción que tenía la muestra, también para calcular el contenido de humedad de todos los días y se observó los cambios que ocurría durante el tiempo de saturación.

Figura 3.13. saturando briquetas de 42°C.



Fuente: Elaboración propia

3.15.2. Evaluación de Briquetas de 20°C.

Son las briquetas de temperatura ambiente esas se saturaron en el turril de agua que es para el peso específico de las briquetas que está en laboratorio a temperatura ambiente se midió el agua 20°C, también se las midió y peso como las briquetas calientes.

Figura 3.14. saturando briquetas de 20°C.



Fuente: Elaboración propia.

3.15.3. Evaluación de Briquetas de 2°C

Estas briquetas se saturó en agua fría para eso se las llevó a la heladera que su temperatura graduada era de 2°C, todos los días que se pesó se le medía la temperatura antes de sacarlas y pesarlas.

Figura 3.15. saturando briquetas de 2°C.



Fuente: Elaboración propia.

Todas las briquetas antes de proceder a pesar se secan superiormente para que se pese con toda la absorción de agua que estas absorbían para eso una vez sacado con paños secos se le seca el agua alrededor y se procedía a su pesaje correspondiente luego se le media sus alturas y diámetros de cada briqueta, también se calculó el contenido de humedad de todas las briquetas para todos los días que se saturo.

Figura 3.16. Midiendo sus alturas y diámetros.



Fuente: Elaboración propia.

3.16. Datos de las briquetas.

Tabla 3.70. datos de las briquetas.

N° de Briqueta	Temperatura de saturación	Altura promedio	Diámetro promedio	Peso seco de la briqueta
	°C	cm	cm	g
1	42	6.48	10.18	1194.6
2	42	6.52	10.18	1193.2
3	20	6.37	10.20	1186.6
4	20	6.31	10.15	1182.5
5	2	6.44	10.19	1184.0
6	2	6.45	10.22	1191.9

Fuente: Elaboración propia.

3.17. Espesor o altura de las briquetas.

Se la determina midiendo con el vernier en 4 lados de la briqueta previamente dividido en partes iguales para así obtener una altura representativa y se calcula la altura promedio de la briqueta.

Tabla 3.71. Alturas o espesores de cada briqueta ensayada.

Identificación	Alturas (cm)	promedio (cm)
1	6.47	6.48
	6.50	
	6.51	
	6.42	

Fuente: Elaboración propia.

3.18. Diámetro de cada briqueta.

Se la determina midiendo con el vernier 4 ejes de la briqueta previamente dividido en partes iguales para así obtener un diámetro representativo y se calcula el diámetro promedio de la briqueta.

Tabla 3.72. Diámetros de cada briqueta ensayada.

Identificación	Diámetros (cm)	promedio (cm)
1	10.17	10.18
	10.20	
	10.15	
	10.19	

Fuente: Elaboración propia.

3.19. Practica de péndulo británico.

Método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el pavimento con péndulo británico (TRRL) (ASTM E 303 AASHTO T278-90).

Para el péndulo luego de ser saturadas se las saco para hacer la practica a esa temperatura del estudio 42°C 20°C y 2°C.

Figura 3.17. utilizando el péndulo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.73. valores de Resistencia al desplazamiento.

CRD	CALIFICACION
0.5	Malo (Deslizamiento)
0,51-0,6	De regular a malo
0,61-0,8	Bueno
0,81-0,9	De bueno a regular
0.91	Malo (Desgaste de neumáticos)

Fuente: Elaboración propia.

Proceso de cálculos del péndulo británico

Factor de corrección de temperatura la fórmula de corrección de temperatura para el valor medio de resistencia de desplazamiento es:

$$FA = \frac{1}{1 - 0.00525 * (T - 20)}$$

Donde:

FA = Factor de corrección de temperatura

T = Temperatura medida

$$FA = \frac{1}{1 - 0.00525 * (42 - 20)}$$

$$FA = 1.131$$

British Pendulum Number BPN (número péndulo británico)

Es el valor promedio de las lecturas del equipo de péndulo británico que es conocido como numero de péndulo británico que es adimensional.

$$BPN = \frac{\text{Suma de lecturas}}{\text{Numero de lecturas}}$$

$$BPN = \frac{134 + 134 + 132 + 140 + 138}{5}$$

$$BPN = 135.60$$

British Pendulum Number Standardised BPNS (valor ajustado por temperatura de slidel o patin deslizante de goma)

$$\mathbf{BPNS = FA * BPN}$$

Donde:

BPNS = British Pendulum Number Standardized.

FA = Factor de corrección de temperatura.

BPN = British Pendulum Number.

$$BPNS = 1.131 * 135.60$$

$$\mathbf{BPNS = 153.3}$$

Coefficiente de resistencia al desplazamiento

$$CDR = \frac{BPNS}{100}$$

$$CDR = \frac{153.3}{100}$$

$$\mathbf{CDR = 153}$$

CAPÍTULO IV

EVALUACION Y INTERPRECIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de las propiedades mecánicas de mezcla asfáltica densa y semiabierta.

Tabla 4.1. Resultados de las propiedades mecánicas para la mezcla asfáltica densa.

Tiempo saturado (horas)	% de asfalto optimo	N° de probeta	Densidad real (g/cm ³)	% de vacíos mezcla total	V.A.M. vacíos agregado mineral (%)	R.B.V. relación betumen vacíos (%)	Estabilidad real corregida (libras)	Fluencia promedio (pulgada)
0	5.4	P.1	2.33				3448.28	14.00
		P.2	2.34				3902.32	18.00
		P.3	2.27				3165.00	15.00
		Promedio	2.31	4.30	16.56	74.02	3505.20	15.67
2	5.4	2.1	2.28				3260.98	15.00
		2.2	2.37				2605.99	11.00
		2.3	2.31				4222.40	14.00
		Promedio	2.32	4.10	16.39	74.98	3363.13	13.33
4	5.4	4.1	2.29				3505.87	12.00
		4.2	2.39				3614.98	13.00
		4.3	2.26				2575.83	13.00
		Promedio	2.31	4.31	16.57	73.96	3232.22	12.67
6	5.4	6.1	2.29				3280.46	13.00
		6.2	2.28				3183.69	14.00
		6.3	2.37				2987.58	10.00
		Promedio	2.31	4.29	16.55	74.08	3150.58	12.33
8	5.4	8.1	2.33				3013.43	15.00
		8.2	2.30				2922.32	11.00
		8.3	2.32				3363.27	10.00
		Promedio	2.32	4.23	16.50	74.36	3099.67	12.00
10	5.4	10.1	2.29				3121.43	10.00
		10.2	2.35				2990.50	12.00
		10.3	2.31				2933.03	11.00
		Promedio	2.32	4.22	16.49	74.41	3014.99	11.00
12	5.4	12.1	2.33				2955.93	11.00
		12.2	2.29				2608.52	9.00
		12.3	2.31				3109.29	11.00
		Promedio	2.31	4.39	16.63	73.61	2891.25	10.33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2. Resultados de las propiedades mecánicas para la mezcla asfáltica semiabierta.

tiempo saturado (horas)	% de asfalto óptimo	Nº de probeta	Densidad real (g/cm³)	% de vacíos mezcla total	V.A.M. vacíos agregado mineral (%)	R.B.V. relación betumen vacíos (%)	Estabilidad real corregida (libras)	Fluencia promedio (pulgada)
0	5.00	P.1	2.29				4134.84	13
		P.2	2.28				3645.62	11
		P.3	2.29				3339.08	15
		Promedio	2.29	6.09	17.27	64.77	3706.51	13.00
2	5.00	2.1	2.24				3057.82	15
		2.2	2.31				3912.58	12
		2.3	2.32				3326.74	11
		Promedio	2.29	6.06	17.25	64.88	3432.38	12.67
4	5.00	4.1	2.31				3100.40	12
		4.2	2.30				3309.86	10
		4.3	2.24				3425.11	11
		Promedio	2.28	6.19	17.37	64.33	3278.45	11.00
6	5.00	6.1	2.31				3689.27	10
		6.2	2.25				2944.77	11
		6.3	2.30				2815.77	11
		Promedio	2.29	6.13	17.31	64.58	3149.93	10.67
8	5.00	8.1	2.30				3160.59	12
		8.2	2.26				2716.24	9
		8.3	2.29				3325.60	10
		Promedio	2.28	6.19	17.37	64.34	3067.48	10.33
10	5.00	10.1	2.28				3426.13	9
		10.2	2.29				2844.66	10
		10.3	2.29				2731.26	10
		Promedio	2.29	6.15	17.33	64.51	3000.68	9.67
12	5.00	12.1	2.26				2695.71	8
		12.2	2.27				3062.09	9
		12.3	2.31				2947.75	10
		Promedio	2.28	6.33	17.49	63.78	2901.85	9.00

Fuente: Elaboración propia

4.2. Evaluación de las propiedades mecánicas para la mezcla asfáltica densa mediante Marshall.

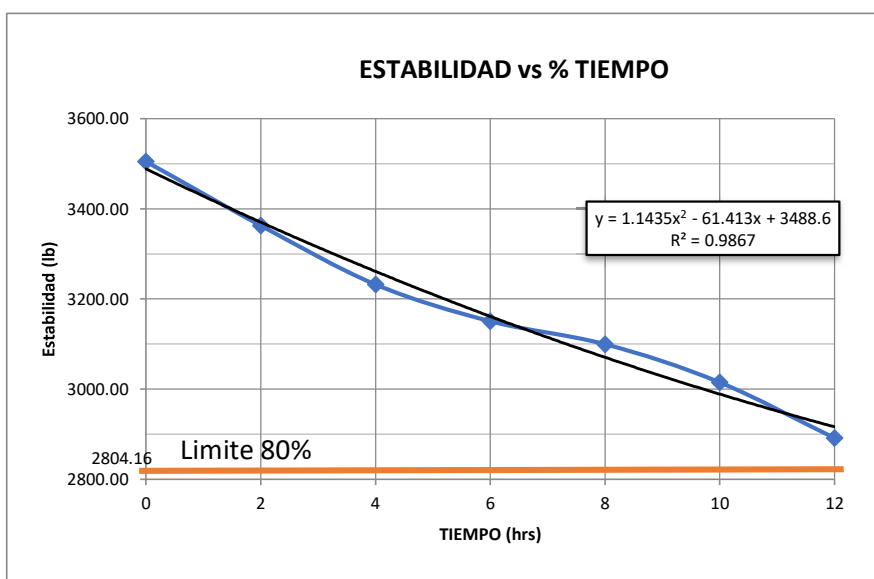
La evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas densas mediante la estabilidad y fluencia del ensayo Marshall para las briquetas elaboradas con el diseño para el asfalto 85/100, sometidas a acondicionamientos de ciclos de saturación de 0, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 horas.

Tabla 4.3. Resultados del ensayo Marshall, mezcla asfáltica densa.

Tiempo (horas)	Estabilidad (libras)	Fluencia (pulgada)	Resistencia remanente (%)
0	3505.20	15.67	-
2	3363.13	13.33	95.95
4	3232.22	12.67	92.21
6	3150.58	12.33	89.88
8	3099.67	12.00	88.43
10	3014.99	11.00	86.01
12	2891.25	10.33	82.48

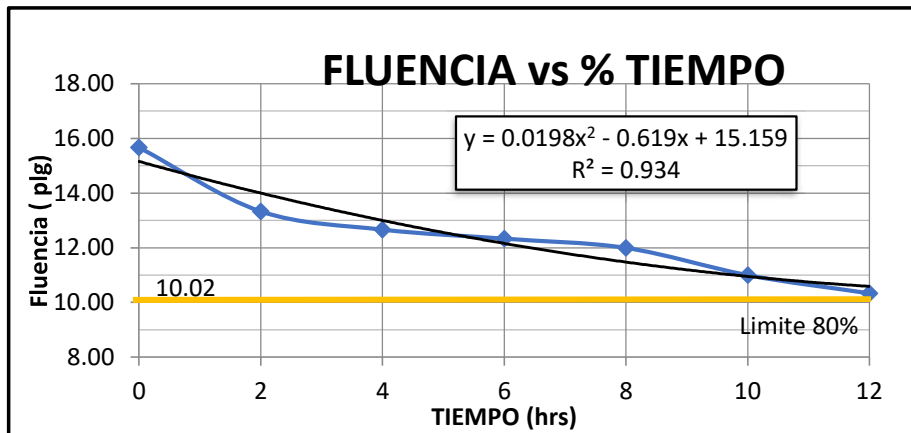
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.1. Tiempo vs estabilidad M.A. densa.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.2. Tiempo vs fluencia M.A. densa.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados, se puede observar que existe una disminución del valor de la estabilidad a medida que aumenta el tiempo de saturación, como se observa en la saturación de 2 horas se puede observar disminuye de 3505.20 libras a 3363.13 libras baja unos 139.07 lb de estabilidad y su resistencia remanente es elevada del 95.95%. Para 4 horas de saturación también disminuye su resistencia unos 269.98 lb a comparación del estado 0 y su resistencia remanente disminuye 3.74% a comparación del anterior. Para 6 horas disminuye 354.62 lb a comparación del estado 0 y su resistencia remanente disminuyo 6.07%. Para 8 horas disminuye 405.53lb a comparación del estado 0 y su resistencia remanente disminuyo 7.52%. Para 10 horas disminuyo 500.21 lb de estabilidad a comparación del estado 0 y su resistencia remanente disminuyo 9.94%. Para 12 horas disminuyo 613.95 lb de estabilidad y su resistencia remanente disminuyo 13.47%. Se puede observar que todas las briquetas saturadas que cumplen con el límite del 80% de resistencia remanente y la última está casi al límite al tener una resistencia remanente de 82,48% siendo mayor que 80%, también se puede observar una disminución en la estabilidad considerable desde el primero que es 95.95%.

Observando la gráfica se nota que el agua va afectando a su resistencia de la briketa va disminuyendo mientras más se satura eso se debe a la infiltración de agua y a la temperatura del agua va calentando la briketa se calienta el cemento asphaltico debilitando a pasar el tiempo.

Con respecto a la fluencia, se puede observar que también disminuye su valor a medida que aumenta el tiempo saturado, disminuyendo del mayor 15.67 libras hasta un 10.33

libras para el último ciclo de 12 horas. Todas están dentro del rango que es entre 8 a 16 libras.

4.3. Evaluación de las propiedades mecánicas para la mezcla asfáltica semiabierta mediante Marshall.

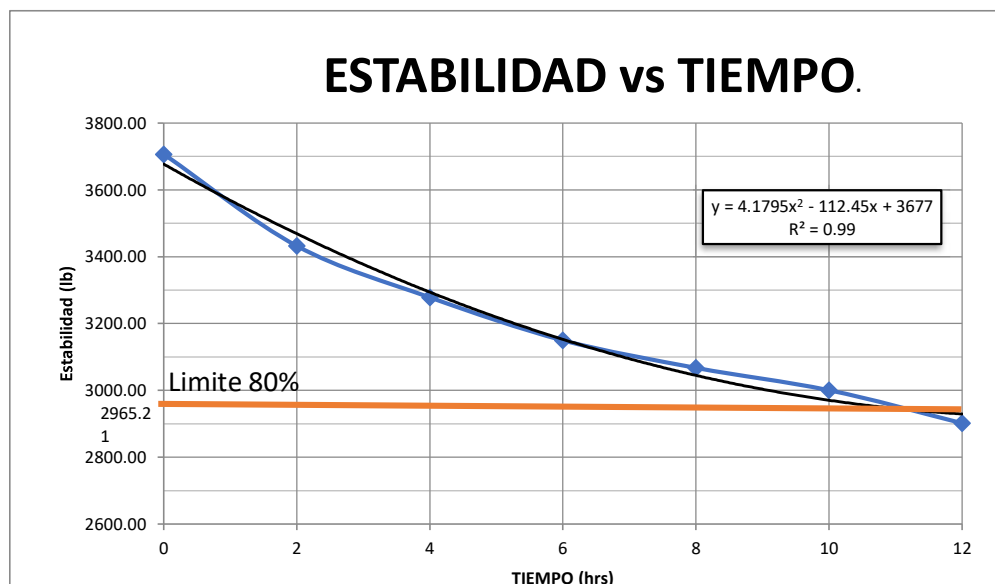
La evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas semiabiertas mediante el ensayo Marshall de la estabilidad y fluencia para las briquetas elaboradas con el diseño para el asfalto 85/100, sometidas a acondicionamientos de ciclos de saturación de 0, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 horas.

Tabla 4.4. Resultados del ensayo Marshall, mezcla asfáltica semiabierta.

Tiempo (horas)	Estabilidad (libras)	Fluencia (pulgada)	Resistencia remanente (%)
0	3706.51	13.00	-
2	3432.38	12.67	92.60
4	3278.45	11.00	88.45
6	3149.93	10.67	84.98
8	3067.48	10.33	82.76
10	3000.68	9.67	80.96
12	2901.85	9.00	78.29

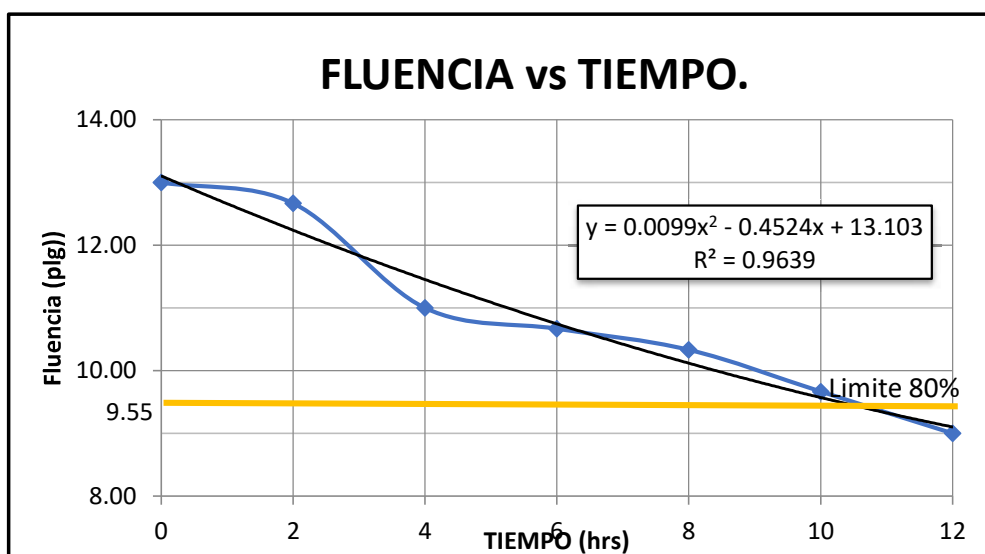
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.3. Tiempo vs estabilidad M.A. semiabierta.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.4. Tiempo vs fluencia M.A. semiabierta.



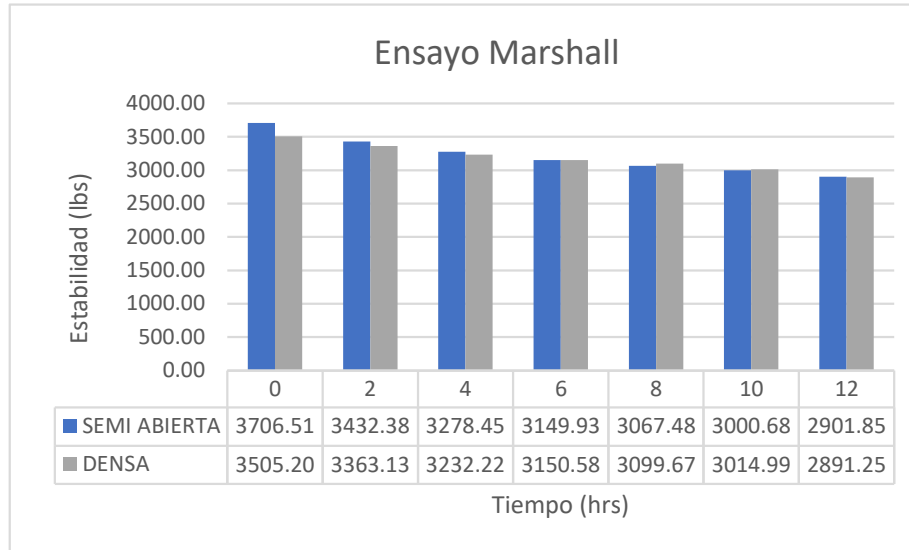
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Gráfica, se puede observar que existe una disminución del valor de la estabilidad a medida que aumenta el tiempo de saturación, como se observa en la saturación de 2 horas se puede observar disminuye de 3706.51 libras a 3432.38 libras baja unos 274.13 lb de estabilidad y su resistencia remanente es elevada del 92.60%. Para 4 horas de saturación también disminuye su resistencia unos 428.06 lb a comparación del estado 0 y su resistencia remanente disminuye 4.15% a comparación del anterior. Para 6 horas disminuye 556.58 lb a comparación del estado 0 y su resistencia remanente disminuyo 7.62%. Para 8 horas disminuye 639.03 lb a comparación del estado 0 y su resistencia remanente disminuyo 9.84%. Para 10 horas disminuyo 705.83 lb de estabilidad a comparación del estado 0 y su resistencia remanente disminuyo 11.64 %. Para 12 horas disminuyo 804.66 lb de estabilidad y su resistencia remanente disminuyo 14.31%. Se puede observar que todas las briquetas saturadas que cumplen con el límite del 80% de resistencia remanente menos última tiene resistencia remanente de 78.29% siendo menor, se puede ver una ver una disminución en la estabilidad en un 21,71% y ya no cumple la resistencia remanente porque esta debajo del 80%.

Con respecto a la fluencia, se puede observar que también disminuye su valor a medida que aumenta el tiempo saturado, disminuyendo del mayor 13.00 libras hasta un 9 lb para el último ciclo de 12 horas. Todas están dentro del rango que es entre 8 a 16 libras.

4.4. Evaluación y comparación de resultados de la mezcla asfáltica densa y semiabierta.

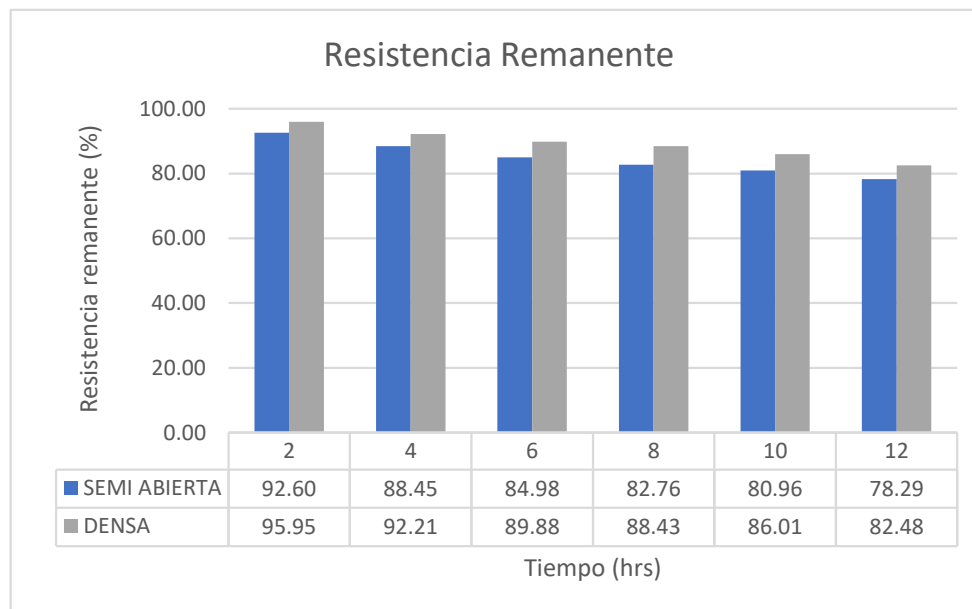
Gráfica 4.5. Comparación de la estabilidad.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar un mejor comportamiento en la resistencia (estabilidad) en la mezcla asfáltica semiabierta, siendo capaz de resistir a los acondicionamientos adicionales en este caso la humedad con un daño menor a la mezcla asfáltica densa.

Gráfica 4.6. Comparación de la resistencia remanente.



Fuente: Elaboración propia.

- En una evaluación general entre la mezcla asfáltica densa y la mezcla asfáltica semiabierto se puede evidenciar que la M.A. semiabierto tiene mayor resistencia en estabilidad que la M.A. densa ya que esta mezcla es más resistente en condiciones normales sin humedad, pero cuando se le adiciona agua tiende a bajar significativamente su estabilidad, pero a la vez la M.A. semiabierto tiene menor resistencia remanente, no es muy significativa la diferencia de una entre la otra.
- En fluencia ambas mezclas asfálticas cumplen con los límites que están entre 8 a 16 pulgadas, pero en promedios la mezcla asfáltica densa tiene valores más elevados que la semiabierto.

4.5. Evaluación de los deterioros de las mezclas asfálticas semiabierto.

Se evaluó de manera visual saturando las briquetas de mezclas asfálticas semiabierto elaboradas previamente con su dosificación óptima calculada para el Marshall, se saturó a diferentes temperaturas y tiempos de saturación y se evaluó los cambios que presento en los diferentes días que estuvo la muestra saturada para hallar sus cambios o deterioros que sufrieron para ello se separó las briquetas en tres grupos, la de temperatura de 42°C que va a simular la temperatura de la zona del chaco, temperatura ambiente de 20°C que va a simular la temperatura de cercado Tarija, y de 2°C que va a simular la zona alta de la ciudad de Tarija.

Tabla 4.5. Resultados de evaluación de deterioros de las mezclas asfálticas semiabierto

N° de Biqueta	Temperatura de saturación	peso seco de la biqueta	Tiempo de saturación de las briquetas								
			peso superficialmente seco (g)								
			1 día	2 días	5 días	6 días	7 días	8 días	11 días	12 días	13 días
	°C	g.	g.								
1	42	1194.6	1203.1	1203.6	1206.5	1207.0	1206.4	1207.2	1209.5	1208.2	1208.3
2	42	1193.2	1200.8	1201.9	1205.2	1205.7	1205.2	1206.0	1208.0	1205.9	1205.8
3	20	1186.6	1191.3	1193.0	1195.6	1196.0	1197.8	1198.1	1198.8	1199.6	1199.4
4	20	1182.5	1190.4	1192.4	1195.1	1195.1	1194.7	1194.4	1196.0	1196.0	1196.0
5	2	1184.0	1190.5	1192.3	1192.9	1192.9	1191.9	1191.4	1193.1	1193.0	1193.1
6	2	1191.9	1198.1	1200.2	1201.4	1202.0	1201.2	1201.3	1202.9	1202.8	1203.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.6. Resultados del porcentaje de contenido humedad de las mezclas asfálticas semiabiertas

N° de Briqueta	Temperatura de saturación °C	Tiempo de saturación de las briquetas								
		Contenido de humedad (%)								
		1 día	2 días	5 días	6 días	7 días	8 días	11 días	12 días	13 días
		%								
1	42	0.71	0.75	1.00	1.04	0.99	1.05	1.25	1.14	1.15
2	42	0.64	0.73	1.01	1.05	1.01	1.07	1.24	1.06	1.06
3	20	0.40	0.54	0.76	0.79	0.94	0.97	1.03	1.10	1.08
4	20	0.67	0.84	1.07	1.07	1.03	1.01	1.14	1.14	1.14
5	2	0.55	0.70	0.75	0.75	0.67	0.63	0.77	0.76	0.77
6	2	0.52	0.70	0.80	0.85	0.78	0.79	0.92	0.91	0.93

Fuente: Elaboración propia.

- Al evaluar el primer grupo de temperaturas de 42°C los primeros días de saturación no hubo cambio alguno solo absorbía agua la briqueta si había un aumento de peso considerable eso quiere decir que estaba absorbiendo el agua la briqueta, a partir de 5 días saturado se vio que perdió material ligante perdió material fino como arena, a partir del día 8 hacia adelante empezó a deformarse la briqueta y a desprenderse material grueso y ya que la alta temperatura calentó el cemento asfáltico de la briqueta esta tendió a deformarse ya en los últimos días se vio que perdió su color y empezó a desintegrarse de las orillas separándose el material.

Figura 4.1. perdida de material y material ligante en días de saturación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.2. deformaciones y pérdida de material.



Fuente: Elaboración propia.

- En ambas temperaturas de 20°C y 2°C solo hubo pérdida de material ligante y pérdida de material fino deformación no hubo en los primeros días saturando solo absorbió agua ambas temperaturas de briquetas, al término de los 13 días saturando no hubo cambios significativos como se pudo evidenciar en las briquetas que se saturó a 42°C.

Figura 4.4. pérdida de material y material ligante en días de saturación.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.3. Evaluación del desgaste mediante el péndulo británico.

Tabla 4.7. Resultados del péndulo británico.

Identificación	Temperatura (°C)	FA	Lecturas (adim.)					BPN (adim.)	BPNA (adim.)	CRD (adim.)	Calificación parcial
			1	2	3	4	5				
B1	42	1.131	134	134	132	140	138	135.60	153.3	1.53	Malo
B2	42	1.131	142	140	139	140	145	141.2	159.6	1.60	Malo
B3	20	1.000	84	85	83	82	82	83.2	83.2	0.83	Bueno a regular
B4	20	1.000	85	81	86	85	84	84.2	84.2	0.84	Bueno a regular
B5	2	0.914	92	94	95	95	94	94	85.9	0.86	Bueno a regular
B6	2	0.914	92	95	94	90	92	92.6	84.6	0.85	Bueno a regular

Fuente: Elaboración propia.

- Las briquetas de temperatura 42°C en el péndulo se pudo evidenciar que las altas temperaturas para las mezclas asfálticas semiabiertas proporcionan mucho desgaste de los neumáticos ya que su resistencia al desplazamiento salió muy elevada 1.53 y 1.60 ya que según su clasificación es malo para el desgaste de los neumáticos.
- Las briquetas a temperatura de 20°C en el péndulo se evidenciar que según su clasificación ambas muestras nos salieron que es bueno a regular en su resistencia a desplazamiento ya que el resultado nos salió 0.83 y 0.84 eso quiere decir que si es recomendable para esos tipos de clima las mezclas asfálticas semiabiertas ya que no abra un desgaste considerable de los neumáticos.
- Las briquetas a temperatura de 2°C en el péndulo se evidenciar que según su clasificación ambas muestras nos salieron que es bueno a regular en su resistencia a desplazamiento ya que el resultado nos salió 0.86 y 0.85 eso quiere decir que si es recomendable para esos tipos de clima las mezclas asfálticas semiabiertas ya que no abra un desgaste considerable de los neumáticos.

Figura 4.3. utilizando el péndulo.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.4. Deterioros encontrados en las mezclas asfálticas semiabiertas.

Los deterioros que se pudo encontrar es deformación perdida de material ligante perdida de material a altas temperaturas, perdida de resistencia a altas temperaturas y a mucho tiempo de saturación demostrado por el ensayo de Marshall y también se encontró el desgaste superficial se comprobó que a altas temperaturas la mezcla asfáltica semiabierta no es buena para los neumáticos ya que provoca mucho desgaste en las gomas y provocaría malestar en los usuarios.