

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Las ciudades de hoy en día depende de un pavimentado adecuado para sus calles, siendo de vital importancia para que los vehículos puedan circular de forma segura y confiable, el desarrollo económico y social de una ciudad se ve reflejado en cierta manera en la infraestructura de si sistema vial.

En la actualidad es muy común ver en los pavimentos flexibles de las calles de nuestra ciudad en muy malas condiciones, los cuales necesitan ser atendidos en su debido tiempo, para evitar inseguridad y perjuicio para la población donde también, este estado degradado de los pavimentos genera un aspecto indeseable para la ciudad.

Por este motivo se pretende realizar una mezcla arena-asfalto siendo este el producto final de esta investigación con el objetivo que esta mezcla pueda ser aplicada en el mantenimiento de los pavimentos flexibles.

Para ello es necesario analizar las propiedades y características de la mezcla arena-asfalto, establecer parámetros mecánicos y volumétricos que fundamenten sus principios. Las propiedades mecánicas de la mezcla resultante dependerán esencialmente de las proporciones y características de los componentes que la conforman. Dichas propiedades para una mezcla dada, son muy sensibles a los cambios de temperatura, humedad, el grado de confinamiento del material y a procesos de deterioro con el paso del tiempo.

Es por ello este método de dosificación, se deben caracterizar los materiales que se van a utilizar para así definir su aptitud o no para formar parte de la mezcla a formular.

En el campo de la ingeniería vial, se busca constantemente las formas de mejorar los pavimentos tras ver el constante desgaste de estos, su envejecimiento prematuro causados por la circulación de servicio, factores climáticos y asentamiento que

producen baches y fisuras en los diferentes pavimentos, para ello se buscan formas de realizar mantenimientos a los mismos sin tener la necesidad de volver a realizar un repavimentado, sino todo lo contrario reparar al pavimento sin afectar a su funcionamiento optimó.

Con este estudio se pretende realizar la evaluación de la mezcla arena-asfalto, esperando que cumpla con las características necesarias para que puedan ser una opción a tomar en cuenta como material de reparación en los pavimentos flexibles cuando se realicen los mantenimientos de las calles de la ciudad.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Un patrimonio valioso de un país es su infraestructura, en especial el sistema vial que tiene cada uno, la magnitud y la calidad de dicha estructura vial son indicadores de desarrollo de un país, por lo que es común encontrarse con pavimentos en buen estado en países desarrollados y en países subdesarrollados con pavimentos en pésimas condiciones, hoy en día tener pavimentos en buen estado es una necesidad vital para la sociedad de un país.

Es común ver los pavimentos de las calles de la ciudad con varias fallas en ellos, los cuales tienen que ser atendidos adecuadamente en su debido tiempo, con este estudio se pretende conseguir una mezcla asfáltica arena-asfalto como una alternativa más, que podría servir para la utilización en el mantenimiento de los pavimentos flexibles.

En nuestro medio no se ha tomado la importancia necesaria a este tipo de mezcla. Por lo cual se carece de información para la elaboración de este tipo de mezcla, para dicho diseño nos basaremos en las especificaciones que nos proporciona la norma extranjera, en este caso la IRAM-6845 para el diseño de este tipo de mezclas, ya que en los manuales y normas que tenemos en nuestro medio no se cuenta con dichas especificaciones, en que basarse para su elaboración. De esta forma observar si los materiales de nuestro medio cuentan con las propiedades y características necesarias para la elaboración de la mezcla arena-asfalto como en otros países, la norma IRAM

6845 nos proporcionara todos los parámetros y especificaciones para poder realizar esta investigación.

Realizar el estudio de la mezcla arena-asfalto es posible, ya que se cuenta en nuestro medio con el material necesario para la investigación, se puede conseguir diferentes tipos de arenas como también tipos de asfaltos los cuales serán los que compondrán la mezcla asfáltica.

Se evaluará la mezcla arena-asfalto, para lo cual se realizarán ensayos tanto con la arena en laboratorio de suelos como con el asfalto en laboratorio de asfaltos, los cuales nos brindarán los datos necesarios para poder realizar diferentes dosificaciones para formar la mezcla arena-asfalto.

Si nos remontamos en el tiempo unos 40 años atrás en la ciudad de Tarija podremos observar el cambio abismal que sufrió nuestra ciudad, pasando de ser un pueblo pequeño, tranquilo con pocas calles pavimentadas y en su mayoría calles de tierra, a ser hoy en día una ciudad en su mayoría calles pavimentadas con una circulación vehicular enorme por lo tanto realizar este estudio podría ser de benéfico para mantener las calles de la ciudad de Tarija y brindar un buen servicio a su población.

El estudio propuesto brindara un aporte académico al proceso de investigación que lleva acabó la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

El aporte académico de este estudio está por una parte estudiar la mezcla asfáltica arena-asfalto, de esta forma obtener información de las propiedades y características de esta mezcla, para poder ser evaluadas en base a las especificaciones de las normas. Con el fin de ver si son aptas para su uso en el mantenimiento de pavimentos flexibles

1.3. DISEÑO TEÓRICO

1.3.1. Situación problemática

En el mundo entero se puede observar que se construyen pavimentos flexibles en todas partes del mundo en diferentes ciudades, conformando la estructura vial de las ciudades la cual permite la comunicación entre personas de un lugar a otro con un

desplazamiento rápido y confiable, con el fin de generar un servicio vial adecuado para el bien de la sociedad actual.

Sin embargo, actualmente en nuestra ciudad de Tarija, se presentan muy a menudo fallas en los pavimentos flexibles de las calles de la ciudad, los cuales son perjudiciales para la población en general, estas fallas en los pavimentos flexibles generan inseguridad para las personas que transitan en ellas, generando un riesgo para la salud de los ciudadanos con accidentes, como también ocasionan daños materiales al ser dañinos para los vehículos que transitan las calles pavimentadas.

La presencia de fallas en los pavimentos flexibles, son inevitables ya que estas se producen con el asentamiento del material que conforman sus diferentes capas, circulación vehicular y factores climáticos, y estos siempre estarán presentes en una estructura vial, generando desgaste y deterioro de los pavimentos flexibles antes de que estos lleguen a su vida útil proyectada.

Pensar en realizar una repavimentación total es un perjuicio para la sociedad en general ya que generaría pérdida económica elevada e intransitabilidad de las calles, para ellos se pretende realizar la evaluación de una mezcla que permita hacer un mantenimiento en estas fallas que se presentan en el pavimento flexible, esta mezcla está compuesta por Arena y Asfalto la cual podría ser usada en el mantenimiento de estas fallas sin generar perjuicios para la sociedad.

1.3.2. Problema

¿Será posible realizar la evaluación de la mezcla arena Asfalto mediante las propiedades y características que la componen, y de esta forma pueda ser considerada como una opción en el mantenimiento de los pavimentos flexibles de nuestra ciudad?

1.3.3. Alcance de la investigación

Se buscará en nuestro medio una variación del mismo material tanto de la arena como del asfalto para preceder a realizar la mezcla arena-asfalto.

Se buscará algún manual o norma que cuente con las especificaciones correspondientes a la elaboración de la mezcla arena-asfalto, tanto, así para la caracterización de los materiales como para el diseño de la mezcla.

La caracterización de los materiales ya sea para la arena como para el asfalto, se limitará a realizar los ensayos de laboratorio de acuerdo a los quipos disponibles en los laboratorios de la universidad.

Conociendo las características de los materiales a usar, realizaremos la dosificación de la mezcla arena asfalto en caliente con diversas dosificaciones del mismo, y de este modo poder someterla a la prensa Marshall y poder determinar sus propiedades y características de la mezcla.

Una vez determinada las propiedades y características de la mezcla, para poder ver si son buenas o malas se procederá a realizar la evaluación de la mezcla en base a los diferentes parámetros que están normados.

Una vez recopilada la información necesaria de la mezcla arena-asfalto, podremos tener criterios básicos para poder ver en qué tipos de mantenimientos de los pavimentos flexibles podremos utilizar o no la mezcla arena-asfalto.

La finalidad de este estudio es principalmente poder brindar información necesaria de la mezcla estudiada en este caso arena-asfalto y que esta sea una opción a tomar en cuenta al momento de realizar el mantenimiento de los pavimentos flexibles en la ciudad de Tarija.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la mezcla Arena-Asfalto, a través de sus propiedades y características que la componen en base a normas, utilizando materiales de nuestra región con la finalidad de observar que estas cumplan con las condiciones necesarias para poder ser utilizadas en el mantenimiento de pavimentos flexibles.

1.4.2. Objetivos específicos

- Definir la procedencia de la arena la cual será utilizada en los ensayos de laboratorio, mediante su obtención del banco de arena más conveniente.
- Definir la procedencia del asfalto convencional y modificado que será utilizado en los ensayos de laboratorio mediante su obtención de las instituciones.
- Caracterizar de las arenas y los asfaltos mediante los ensayos recomendados por la norma IRAM y la ABC.
- Realizar la dosificación de la mezcla arena-asfalto, para determinar sus propiedades y características de la misma utilizando el aparato Marshall del laboratorio de asfaltos.
- Evaluar la mezcla arena-asfalto bajo los criterios de dosificación de la norma IRAM-6845.
- Determinar los tipos de mantenimientos que se puede realizar con la mezcla asfáltica (arena-asfalto) en los pavimentos flexibles mediante la recopilación de información disponible en nuestro medio.

1.5. HIPÓTESIS

A lo largo de su vida útil los pavimentos flexibles sufren diferentes fallas, requiriendo mantenimiento todo el tiempo, para ello se elaboró la mezcla arena-asfalto en caliente sometiéndola a la prensa Marshall, posteriormente se realizó su evaluación, la cual cumplió con todos los parámetros exigidos por la norma IRAM-6845, de esta forma se logró observar cómo se comportan sus propiedades y características, determinando así qué tipo de mantenimientos se puede realizar a los pavimentos flexibles con la mezcla arena-asfalto.

1.6. DEFINICIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE Y DEPENDIENTE

Variable independiente (Mezcla asfáltica)

Tabla N° 1: Componente de la variable independiente

Variable	Dimensión	Indicador	Valor o acción
Mezcla asfáltica	Cantidad de agregado grueso	tamaño máximo nominal y granulometría específica	Porcentaje
	Filler	material que pasa el tamiz N°200	Porcentaje
	Cemento asfáltico	cantidad de material que corresponde a una máxima densidad	Porcentaje

Fuente: Elaboración propia

Variable dependiente (Propiedades de la mezcla arena-asfalto)

Tabla N° 2: Componente de la variable dependiente

Variable	Dimensión	Indicador	Valor o acción	
propiedades de la mezcla arena-asfalto	Estabilidad	carga máxima que puede resistir una probeta sin que se produzca la falla mayor a 8kn o 1800lb	peso	lb
	Vacíos de la mezcla	Espacios entre partículas de 2-4%	porcentaje	%
	Vacíos del agregado mineral	Vacíos mayor al 12%	porcentaje	%
	Relación betún vacíos	Relación comprendida entre el 68-78 %	porcentaje	%
	Relación estabilidad fluencia	Relación comprendida entre 2.5-4	Peso/ longitud	KN/mm

Fuente: Elaboración propia

1.7. DISEÑO METODOLÓGICO

1.7.1. Unidad de estudio

Mezcla arena-asfalto para su utilización en mantenimiento de pavimentos flexibles.

1.7.2. Población

Los componentes de la mezcla, las arenas y los asfaltos.

1.7.3. Muestra

El agregado (arena del río Guadalquivir triturada y natural), el ligante asfáltico (cemento asfáltico convencional Betunel 85-100 y el modificado Betuflex 60-85)

1.7.4. Muestreo

La obtención de la arena natural mediante la alcaldía municipal, así mismo la obtención de la arena triturada proveniente del río Guadalquivir mediante la empresa privada Erica, los cementos asfálticos como el Betunel 85-100 y Betuflex 60-85 obtenidas mediante instituciones públicas, utilizadas para su caracterización y posterior dosificación para el diseño de la mezcla arena-asfalto.

1.8. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

1.8.1. Métodos de la investigación

El método utilizado para aplicar en la presente investigación es el método INDUCTIVO-DEDUCTIVO, mediante el cual se realizará el estudio de características de la mezcla Arena-Asfalto. Por lo tanto, dicha investigación se dará de forma directa, donde estaremos de lleno en la investigación, partiremos de lo particular siendo sus características, sus propiedades su composición, su comportamiento, etc. de la arena como del asfalto, Hasta llegar a lo general la mezcla asfáltica, en este caso la mezcla Arena-Asfalto evaluando sus propiedades de dicha mezcla. Donde podamos observar que dicha mezcla arena-asfalto cumpla con los parámetros necesarios para ser usadas en mantenimiento de pavimentos flexibles.

1.8.2. Técnicas de la investigación

Para el presente estudio se comenzará por recolectar el material necesario para poder empezar a su caracterización, para lo cual se hará uso de los quipos de laboratorio de la universidad U.A.J.M.S. se dosificará la mezcla arena-asfalto.

Siendo la técnica aplicada en esta investigación es la evaluativa, que nos permitirá evaluar el comportamiento de las propiedades de la mezcla arena –asfalto, para ser usada como material para el mantenimiento de los pavimentos flexibles basándonos en la bibliografía necesaria.

1.8.3. Utilización de medios para la investigación

Para realizar el presente trabajo experimental se utilizará el equipo Marshall para la elaboración de las probetas y posterior análisis de deformación al esfuerzo por cargas.

Agregados (arena)

Es imprescindible caracterizar los materiales con los que se realizara el trabajo de investigación para determinar si estos se encuentran en los rangos establecidos para cada ensayo a realizar.

Los ensayos que se realizarán para caracterizar la arena serán:

- **Ensayo de granulometría**

Se realizará el ensayo de granulometría, para ello se necesitará una serie de tamices: 1", ¾", ½", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200

- **Durabilidad por ataque de sulfato de sodio**

Se utiliza la sustancia de sulfato de sodio con el fin de ver el desgaste dl material con esta sustancia.

- **Desgaste de los ángeles**

Hacer uso del desgaste de los ángeles con 6 esferas, y ver cuánto se desgasto el material;

- **Ensayo equivalente de arena**

Este ensayo se utiliza por su rapidez en la determinación de un índice representativo de la proporción y características de los finos que contiene un suelo granular o un árido fino.

- **Límites**

Para medir los límites del material en caso de contener por su material limoso que pueda tener

- **Peso específico**

Se determina el peso específico del material usando un frasco con marca de enrase.

- **Peso unitario**

El cual es para determinar la conversión peso volumen usando un molde y una varilla.

Cemento asfáltico

Los instrumentos para caracterizar el cemento asfáltico son los siguientes de acuerdo al tipo de ensayo.

- **Penetración**

Sirve para determinar la dureza de un cemento asfáltico y así mismo clasificar su número que le corresponde.

- **Punto de inflamación**

En este método una porción de muestra es calentada a velocidad constante y le es aplicada una llama de prueba a intervalos regulares. El punto de inflamación es la temperatura más baja, corregida por presión barométrica, a la que la aplicación de la llama de prueba o la fuente de ignición hace que los vapores de la muestra hagan ignición.

- **Punto de ablandamiento**

El objetivo de este ensayo es la determinación del punto de ablandamiento de materiales bituminosos o anillo de bola (cemento asfáltico).

- **Ductilidad**

Sirve para determinar la distancia a la que se puede alargar bajo condiciones termostáticas controladas una probeta de mortero bituminoso, antes de que se rompa.

- **Peso específico**

Determinar el peso específico utilizando el picnómetro con agua a 25 °C

- **Película delgada**

Determinar la pérdida de masa que sufre el cemento asfáltico, usando un horno rotatorio.

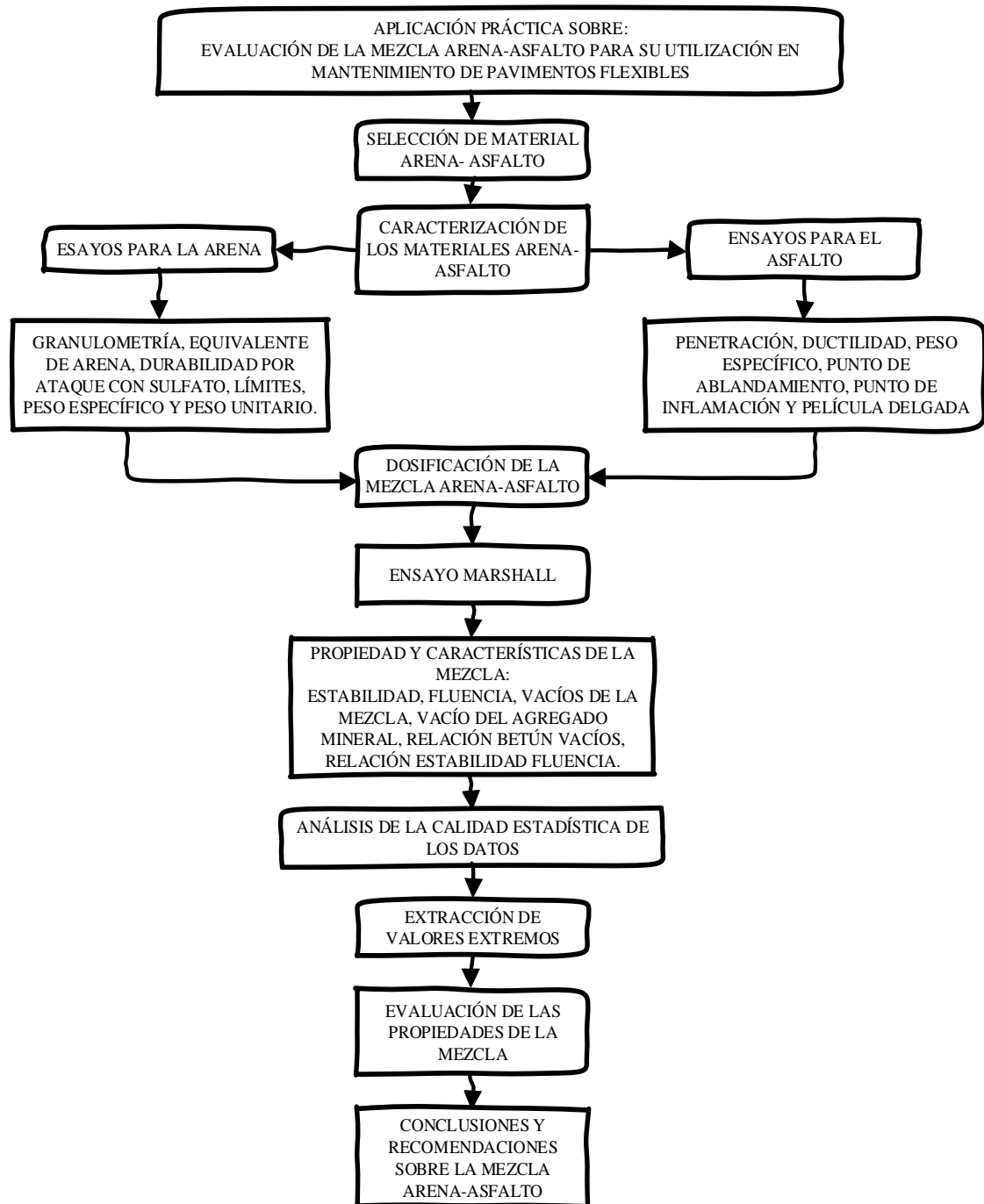
Para la mezcla asfáltica (arena-asfalto)

Ensayo Marshall

Para realizar el ensayo se debe seguir los siguientes pasos:

1. Preparar las mezclas de aproximadamente 1200 g
2. Depositamos en tastos la mezcla cuartada
3. Ponemos a calentar los tastos con la mezcla en el horno de 140 °C- 150°C
4. Los moldes de probetas se las pone a calentar
5. Colocar el molde en la base de compactacion con la mezcla
6. Medir la temperatura a la que se encuentra la mezcla
7. Compactar con 50 o 75 golpes cada cara de la mezcla
8. Despues de dos horas desmoldeamos aplicando el aparato extractor
9. Pesamos las probetas al aire libre y luego las saturadas
10. Se coloca las probetas en las mordasas para poder medir la deformacion

1.9. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN



1.10. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Para los datos obtenidos se hará empleo de la ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA la cual se la puede definir como: la ciencia que estudia la técnica o método que se sigue para recoger, organizar, resumir, representar, analizar, generalizar y predecir resultados de las observaciones de fenómenos aleatorios.

El tipo de variable que usaremos en este estudio es la variable CUANTITATIVA de carácter CONTUNIO.

Para el tratamiento de los datos usaremos los siguientes tipos de medidas características:

- **Medidas de tendencia central**

Son para medir valores centrales, los tres puntos que nos permiten determinar ese punto son:

- Media aritmética.- Medida de tendencia central que se define como el promedio o media de un conjunto de observaciones o puntuaciones.

$$X = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{N}$$

donde:

X = Media poblacional

$\sum X_i$ = Sumatoria de las puntuaciones

N = Número de casos

- Mediana.- Es el valor que ocupa el lugar central de todos los datos cuando éstos están ordenados de menor a mayor. La mediana se puede hallar sólo para variables cuantitativas.

$$Md = \left[\frac{\frac{N}{2} - FA}{FS} \right] * i$$

donde:

Md = Mediana

N = Número de casos.

FA = Frecuencia agrupada.

FS = Frecuencia del intervalo adyacente superior.

i = Intervalo de clase

- **Moda**

En una serie de puntuaciones se denomina moda a la observación que se presenta con mayor frecuencia.

$$Mo = Lmo + \left[\frac{Da}{Db + Da} \right]$$

donde:

Mo = Moda

Lmo = Límite inferior del intervalo de clase modal

Da = Diferencia entre la frecuencia de la clase modal y la de la clase que la precede.

Db = Diferencia entre la frecuencia de la clase modal y la de la clase que la sigue.

i = Intervalo de clase.

- **Medidas de dispersión**

Para tener los valores de cuan dispersos están en cuanto a los valores centrales.

- Rango o Recorrido.- Se le define como la diferencia existente entre la puntuación mayor y la menor en una serie de datos. Tiene como desventaja que solo toma en cuenta para su cálculo las puntuaciones extremas, es decir la mayor y la menor omitiendo el resto de los datos u observaciones.

- Varianza.- Es una medida de variabilidad que toma en cuenta el 100 % de las puntuaciones de manera individual.

$$\sigma^2 = \frac{\sum X^2}{N}$$

donde:

σ^2 = Varianza.

Σ = Suma de

X^2 = Desviación de las puntuaciones de la media ($X - \bar{X}$)

N = Número de casos.

- Desviación Estándar.- Dada la dificultad inherente de interpretar el significado de una varianza en virtud de que expresa valores elevados al cuadrado, para efectos de investigación es más adecuada utilizar la desviación estándar o desviación típica, definida como la raíz cuadrada de la varianza

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N}} = \sqrt{\sigma^2}$$

donde:

ΣX^2 = Suma de los cuadrados de cada puntuación

$(\Sigma X)^2$ = Suma de las puntuaciones elevadas al cuadrado

N = Número de casos.

σ = Desviación Estándar

- **Medidas para comparar distribuciones**

Nos permitirá comparar distintas distribuciones entre si.

- Coeficiente de variación de Pearson .- No tiene unidades y se utiliza para comparar distribuciones con distintas medidas.

Ventajas

Permite comparar distribuciones distintas, incluso con medidas distintas.

Desventajas

Deja de ser representativa y no debe utilizarse cuando la media de una de las distribuciones sea muy baja.

$$Cv = \frac{\text{des.tip}}{\text{media}} = \frac{\sigma}{\bar{X}}$$

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. PAVIMENTO FLEXIBLE

2.1.1. DEFINICIÓN

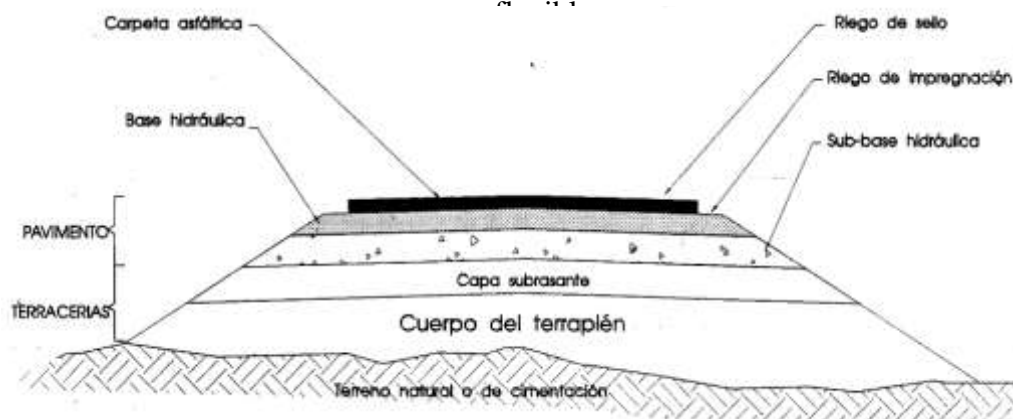
Los pavimentos flexibles son aquellos que tienen una base flexible o semirrígida, sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento formada por una mezcla bituminosa de asfalto o alquitrán de consistencia plástica.

Resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una capa asfáltica, de la base y de la sub-base.

2.1.2. COMPONENTE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Se refiere a las características relativas de cada una de las capas que constituyen la estructura de la vía tales como: espesor, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio. Estas características se pueden agrupar de la siguiente manera ⁽⁶⁾

Figura N°1: Estructura de un pavimento



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.1.2.1. Terreno de fundación

Aunque no constituye parte del pavimento, es muy importante tener un conocimiento lo más completo posible de los suelos que constituyen el terreno de cimentación de la estructura de la vía, con el objeto de conocer las condiciones de estabilidad del mismo y así evitar problemas de deslizamiento, asentamientos, desplazamientos y otros.

2.1.2.2. Terracería

Se llama terracería al conjunto de obras compuestas de cortes y terraplenes, formada principalmente por la sub-rasante y el cuerpo del terraplén, constituida generalmente por materiales no seleccionados y se dice que es la subestructura del pavimento. Cuando se va a construir un camino que presente un TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) mayor a 5000 vehículos, es necesario que se construya bajo la sub-rasante una capa conocida como sub-yacente; la cual deberá tener un espesor mínimo de 50 cm.

2.1.2.3. Subrasante

Los últimos 30 cms. De una terracería de corte o terraplén se conoce como Subrasante. Esta capa es muy importante para los pavimentos y constituyen su cimiento. Generalmente está formada por el mismo suelo de la terracería. Es muy importante que el nivel de aguas freáticas este cuando menos a 1.50 m., debajo de ésta, esto se consigue drenando el subsuelo o elevando la Subrasante.

Para diseñar adecuadamente un pavimento principalmente los de tipo flexible, se deben hacer extensos estudios del suelo de la Subrasante, tanto en el campo como en el laboratorio. Comprende estudios de topografía, geología del ambiente y sobre todo de mecánica de suelos.

La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Las características con las que debe cumplir son: f máximo de 3", expansión máxima del 5%, grado de compactación mínimo del

95%; espesor mínimo de 30cm para caminos de bajo tránsito y de 50cm en caminos con un TPDA > de 2000 vehículos. Otra de las funciones de la sub-rasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

2.1.2.4. Subbase

Cumple una cuestión de economía ya que nos ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base (no siempre se emplea en el pavimento), impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad y evitar que el pavimento sea absorbido por la sub-rasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías.

2.1.2.5. Principales funciones de la subbase

- Transmitir los esfuerzos a la capa Subrasante en forma adecuada.
- Constituir una transmisión entre los materiales de la base y de la subrasante de tal modo que se evite la contaminación y la interpenetración de dichos materiales.
- Disminuir efectos perjudiciales en el pavimento, ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación.
- Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que por estar bajo la base, queda sujeta a menores esfuerzos y requiere de especificaciones menos rígidas, las cuales pueden satisfacerse con materiales de un menor costo que el utilizado en la base.

2.1.2.6. Base

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para

proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales. En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un VRS (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor que su límite plástico

- **Tipos de Base**

Actualmente puede considerarse dos tipos de bases:

Base granular: De grava triturada y mezcla natural de agregado y suelo.

Base estabilizada: Suelos con cemento Pórtland, cal o materiales bituminosos.

En las base granulares la estabilidad del material depende de la fricción interna y de su cohesión. Una base granular de buena calidad requiere unos materiales fracturados con granulometría continua, el conjunto de la capa debe estar correctamente compactado, drenado e impermeabilizado.

- **Principales funciones de la Base**

Las principales funciones de la base son:

Soportar adecuadamente las cargas transmitidas por los vehículos a través de la carpeta y transmitir los esfuerzos a la subrasante, por medio de la subbase, de tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en el pavimento.

Drenar el agua que se introduce por medio de grietas en la carpeta o por los hombros evitando también la ascensión capilar.

2.1.2.7. Carpeta

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie. El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino.

2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE PAVIMENTOS

FLEXIBLES

2.2.1. Ventajas

- Su construcción inicial resulta más económica
- Tiene un periodo de vida entre 10 y 15 años.

2.2.2. Desventajas

- Para cumplir con su vida útil requiere de un mantenimiento constante
- Las cargas pesadas producen roderas y dislocamientos en el asfalto y son un peligro potencial para los usuarios. Esto constituye en un problema en intersecciones, casetas de cobro de peaje, donde el tráfico está constantemente frenado y arrancando. Las roderas llenas de agua de lluvia en estas zonas, pueden causar deslizamientos, pérdida de control del vehículo y por lo tanto, dar lugar a accidentes y a lesiones personales.

- Las roderas, dislocamientos, agrietamientos por temperatura, agrietamiento tipo piel de cocodrilo (fatiga) y el interperismo, implican un tratamiento frecuente a base de selladores de grietas y de recubrimientos superficiales.
- Las distancias de frenado para superficies de hormigón son mucho mayores que para las superficies de asfalto sobre todo cuando el asfalto esta húmedo y con huellas.
- Una vez que se han formado las huellas en un pavimento de asfalto, la experiencia a demostrado, que la colocación de una sobrecarpeta de asfalto sobre ese pavimento no evitara que se vuelva a presentar.
- Las huellas reaparecen ante la incapacidad de lograr una compactación adecuada en las huellas que dejan las ruedas y/o ante la imposibilidad del asfalto de resistir las presiones actuales de los neumáticos y los volúmenes de tráfico de hoy en día.

2.3. TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.3.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se tratarán los daños que le ocurren a los pavimentos flexibles, además de una descripción detallada de estos y cuáles son las causas que los producen para que al final de cada ítems se dará una muestra fotográfica de estos deterioros que sufren estas clases de pavimentos para así poder diferenciarlos unos de otros.

Luego de darlos a conocer se presentarán los diferentes niveles de severidad que estos pueden presentar y la forma más correcta de cómo debe realizarse su medición para no tener dudas a la hora de clasificarlos y de esta forma poder darle un adecuado mantenimiento a la vía.

El objetivo de dar a conocer los diferentes tipos de daños, las causas que lo producen y como clasificarlos radica en que desempeñan un papel sumamente importante para definir el tipo de rehabilitación más apropiada incluyendo qué tipo de reciclaje se deberá aplicar para exitoso un proyecto.

2.3.2. FISURAS Y GRIETAS

2.3.2.1. Fisura piel de cocodrilo

Descripción.- Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio menor a 30 cm. El fisuramiento empieza en la parte inferior de las capas asfálticas, donde las tensiones y deformaciones por tracción alcanzan su valor máximo, cuando el pavimento es solicitado por una carga. Las fisuras se propagan a la superficie, inicialmente, como una serie de fisuras longitudinales paralelas; luego por efecto de la repetición de, evolucionan interconectándose y formando una malla cerrada, que asemeja el cuero de un cocodrilo. Ocurren necesariamente en áreas sometidas al tránsito, como las huellas de canalización del tránsito. Si la base y la sub-base son débiles, el fisuramiento será acompañado por ahuellamientos. Cuando el drenaje es inadecuado, el fisuramiento se presentará en primera estancia, en las huellas de canalización exteriores. En su etapa final, el agrietamiento se transforma en bache. La misma sección del pavimento presentara fisuras y grietas de cocodrilo, ahuellamiento y baches. ⁽³⁾

Posibles causas.- Son causadas por la fatiga que sufren las capas asfálticas al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito. Por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil. El ligante por lo general ha envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de sostener cargas repetidas al tránsito sin agrietarse.

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo) Fisuras muy finas, menores de 2 mm de ancho, paralelas con escasa interconexión, dando origen a polígonos de cierta longitud; los bordes de las fisuras no presentan despostillamiento.

M (Mediano) Fisuras finas a moderadas, de ancho menor a 5 mm, interconectadas formando polígonos pequeños y angulosos, que pueden presentar un moderado despostillamiento en correspondencia con las intersecciones.

A (Alto) La red de fisuras ha progresado de manera de constituir una malla cerrada de pequeños polígonos bien definidos, con despostillamientos de severidad moderada a alta, a lo largo de sus bordes; algunas de estas piezas pueden tener movimientos al ser sometidas al tránsito y/o pueden haber sido removidas por el mismo formando baches.

Medición.- Las fisuras Piel de Cocodrilo se miden en metros cuadrados de superficie afectada. La mayor dificultad en la medición radica en que dos o hasta tres niveles de severidad pueden existir dentro de una misma área fallada. Si estas porciones pueden ser distinguidas fácilmente, una de otra, se miden y registran separadamente. Si los distintos niveles de severidad no pueden ser divididos fácilmente, la totalidad del área se califica con la mayor severidad observada.

Figura N° 2: Piel de cocodrilo



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.2.2. Fisuras en bloque

Descripción.- Serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm, con un área variable de 0.10 a 9.0 m². La fisura en bloque se presenta normalmente en un gran área del pavimento y algunas veces ocurren solamente en las áreas no afectadas por el tráfico.⁽³⁾

Posibles causas.- Son causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura. También suelen ocurrir en pavimentos bituminosos colocados sobre bases granulares estabilizadas o mejoradas con cemento portland, que se producen a raíz de la contracción eventual de la capa estabilizada, que se reflejan en la superficie del pavimento. A menudo es difícil constatar si las fisuras y grietas son debido a contracciones producidas en la capa de rodadura o en la base y sub-base. La ausencia de tráfico tiende a acelerar la formación de estas grietas de contracción. También se debe a cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas con un ligante de penetración baja. Por lo general, el origen de estas fisuras no está asociado a las cargas de tráfico; sin embargo, dichas cargas incrementan la severidad de las fisuras. La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativa de que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo) Existen algunas de las siguientes condiciones:

Fisuras sin sellar, de ancho promedio a 2 mm con presencia de despostillamiento menor.

Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condiciones satisfactorias que no permiten la filtración de agua.

M (Mediano) Existen algunas de las siguientes condiciones

Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 2 y 5 mm.

Fisuras sin sellar de ancho promedio menor de 5 mm con presencia de despostillamiento menor.

Fisura sellada de cualquier ancho, sin despostillamiento o cuando éste es breve, pero el material de sello esta en condiciones insatisfactorias.

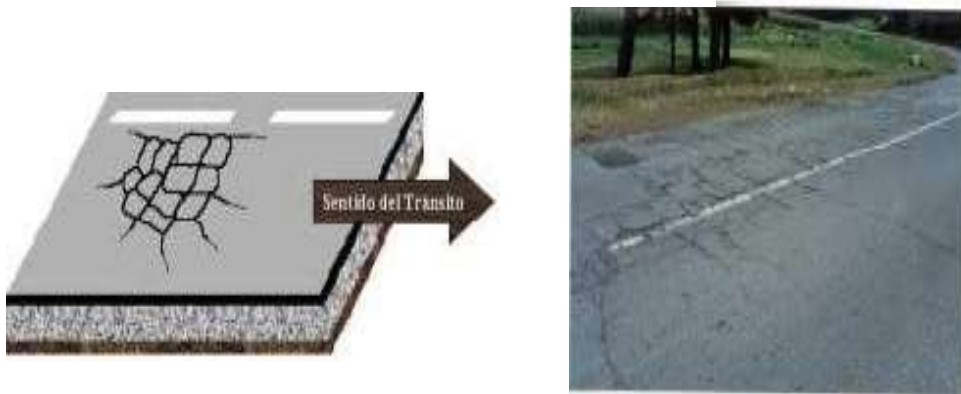
A (Alto) Existen algunas de las siguientes condiciones:

Fisuras sin sellar, de ancho promedio a 5 mm.

Fisuras con presencia de despostillamientos severos.

Medición.- Las fisuras en bloque se miden en metros cuadrados de superficie afectada. Normalmente ocurre a un nivel de severidad en una sección del pavimento, pero cuando se observe diferentes niveles de severidad se miden y registran separadamente, en caso que no se puedan diferenciar, la totalidad del área se califica con la mayor severidad observada.

Figura N°3: Fisura en bloque



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.2.3. Fisuras en arco

Descripción: Son fisuras en forma de media luna (o más precisamente de cuarto creciente) que apuntan en la dirección de las fuerzas de tracción de las ruedas sobre el pavimento. Las fisuras en arco no necesariamente apuntan en el sentido del tránsito. Por ejemplo, si se frena el vehículo cuesta abajo, la dirección de la fisuras está cuesta arriba. Posibles causas: Se producen cuando los efectos de frenado o giro de las ruedas de los vehículos provocan un resbalamiento y deformación de la superficie de pavimento. Esto ocurre generalmente cuando se combinan una mezcla asfáltica de baja estabilidad y una deficiente adherencia entre la superficie y la siguiente capa de la estructura del pavimento. La falta de riego de liga, un exceso de ligante o la presencia de polvo durante la ejecución de los riegos, son factores que con frecuencia conducen a tales fallas. Asimismo, espesores de carpeta muy reducidos sobre

superficies pulidas, especialmente sobre pavimentos de concreto, suelen ser causas primarias en muchos casos. La causa también puede ser un contenido alto de arena en la mezcla, sea arena de río o finos triturados. ⁽³⁾

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) según las características de la fisura y el estado del pavimento que las rodea, de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo) Las fisuras son de ancho promedio inferior a 3 mm.

M (Mediano) Existen algunas de las condiciones siguientes:

Las fisuras son de ancho promedio entre 3 y 6 mm.

El área alrededor de las fisuras se encuentran fracturadas por las piezas que se encuentran bien ligadas y firmes aún.

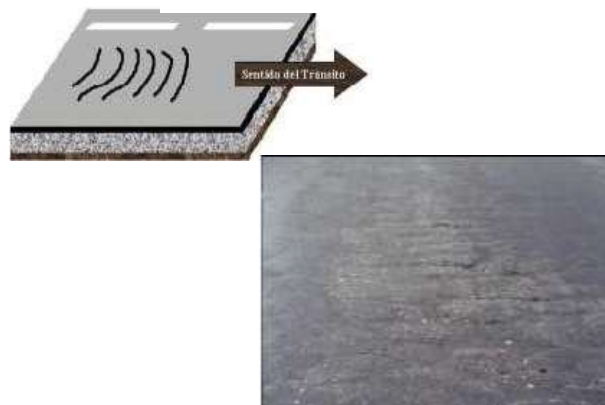
A (Alto) Existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras de ancho promedio mayor de 6 mm.

El área alrededor de las fisuras se encuentran fracturadas en trozos fácilmente removibles o que han desaparecido casi completamente.

Medición.- El área asociada con una determinada "fisura de arco" se mide en metros cuadrados, calificándolo de acuerdo con el máximo nivel de severidad observado en dicha área. Se totalizan los metros cuadrados afectados en la sección o muestra, separadamente según el nivel de severidad.

Figura N°4: Fisura en arco



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.2.4. Fisura transversal

Descripción.- Fracturación de longitud variable que se extiende a través de la superficie del pavimento, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera. Puede afectar todo el ancho del carril como limitarse a los 0.60 m próximos al borde del pavimento. ⁽³⁾

Posibles causas: Las posibles causas incluyen:

- Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, debido a un exceso de filler, envejecimiento asfáltico, etc. Particularmente ante la baja temperatura y gradientes térmicos importantes.
- Reflexión de grietas en la capa subyacente, incluyendo pavimentos de concreto, con excepción de la reflexión de sus juntas.
- Defectuosa ejecución de las juntas transversales de construcción de las capas asfálticas de superficie.

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) según las características de la fisura y el estado del pavimento que las rodea, de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo) Las fisuras son de ancho promedio inferior a 3 mm.

M (Mediano) Existen algunas de las condiciones siguientes:

Las fisuras son de ancho promedio entre 3 y 6 mm.

El área alrededor de las fisuras se encuentran fracturadas por las piezas que se encuentran bien ligadas y firmes aún.

A (Alto) Existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras de ancho promedio mayor de 6 mm.

El área alrededor de las fisuras se encuentran fracturadas en trozos fácilmente removibles o que han desaparecido casi completamente.

Medición.- Las fisuras transversales se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse después de su identificación. Si la fisura

no tiene el mismo nivel de severidad en toda su extensión, cada porción evidenciando un diferente nivel de severidad, debe ser registrada separadamente. Se totaliza el número de metros lineales observados en la sección o muestra.

Figura N°5: Fisura transversal



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.2.5. Fisura longitudinal

Descripción.- Fracturación que se extiende a través de la superficie del pavimento, paralelamente al eje de la carretera, pudiendo localizarse en las huellas de canalización de tránsito, en el eje o en los bordes del pavimento. La ubicación de la fisura es indicativa de la causa más probable.⁽³⁾

Posibles causas.- Las posibles causas incluyen:

- Instancias iniciales del fenómeno de fatiga por debilidad estructural, ocurren en las huellas de canalización del tránsito.
- Defectuosa ejecución de las juntas longitudinales de construcción, al distribuir las mezclas asfálticas durante la construcción; ocurren en el eje y coincidencia con los carriles de distribución y ensanches.
- Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, particularmente ante gradientes térmicos importantes.
- Reflexión de fisuras causadas por grietas existentes por debajo de la superficie de rodamiento; incluyendo fisuras en pavimentos conformadas por capas

estabilizadas químicamente o de concreto, usualmente se presentan combinadas con fisuras transversales.

- Deficiente confinamiento lateral, por falta de hombros y cordones o bordillos, que provocan un debilitamiento del pavimento en correspondencia con el borde. Estas, asociadas a las cargas del tránsito, ocurren a una distancia de 0.30 a 0.60 m del borde.

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo a las características de las fisuras, según la siguiente guía:

B (Bajo) Existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferior a 3 mm sin ramificaciones.

Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición satisfactoria.

M (Mediano) Existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 3 y 6 mm.

Fisuras sin sellar, de ancho promedio menor de 6 mm que evidencian ramificaciones, es decir rodeadas de fisuras finas erráticas.

Fisuras selladas, de cualquier tipo, rodeadas de fisuras erráticas.

A (Alto) Existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras sin sellar de ancho promedio mayor de 6 mm.

Cualquier fisura, sellada o no, con ramificaciones constituidas por fisuras erráticas, moderadas a severas, próximas a la misma, con tendencia a formar una malla, o bien, que evidencien un despostillamiento severo.

Medición.- Las fisuras longitudinales se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse después de su identificación. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su extensión, cada porción evidenciando un diferente nivel de severidad, debe ser observada en la sección o muestra.

Figura N°6: Fisura longitudinal



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.2.6. Fisura por reflexión de junta

Descripción.- Se presentan sólo en pavimentos mixtos constituidos por una superficie asfáltica sobre un pavimento de concreto con juntas. Consiste en la propagación ascendente hacia la superficie asfáltica, de las juntas del pavimento de concreto. Como consecuencia, por efecto de la reflexión, se observan en la superficie fisuras longitudinales y/o transversales que tienden a reproducir las juntas longitudinales y transversales de las losas inferiores.⁽³⁾

Posibles causas.- Son causadas principalmente por el movimiento de las losas de concreto, como resultado de cambios de temperaturas o cambios en los contenidos de humedad. Las grietas por reflexión se propagan dentro de la capa asfáltica, como consecuencia directa de una concentración de tensiones; así mismo, si por la aplicación de las cargas de tránsito las losas experimentan deflexiones verticales importantes en las juntas, la reflexión se produce con mayor rapidez. El tránsito puede producir la rotura de la capa asfáltica en la proximidad de las fisuras reflejadas, resultando en peladuras y eventualmente baches.

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo a las características de las fisuras, según la siguiente guía:

B (Bajo) Existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferior a 5 mm sin descascaramiento o despostillamiento de sus bordes.

Fisuras selladas de cualquier ancho, con el material de sello en condición satisfactoria; no provocan golpeteo cuando se circula en vehículo sobre el pavimento.

M (Mediano) Existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 5 y 15 mm.

Fisuras sin sellar, hasta 5 mm de ancho y/o selladas de cualquier ancho, que evidencien leve despostillamiento de sus bordes y/o están rodeadas por fisuras erráticas leves muy próximas.

La fisura provoca un significativo golpeteo al vehículo cuando se circula sobre el pavimento.

A (Alto) Existen algunas de las condiciones siguientes:

Cualquier fisura, sellada o no, rodeada por un moderado o severo agrietamiento de la superficie, o que evidencie rotura y desprendimiento de parte del material asfáltico en la proximidad de la misma.

Fisuras sin sellar de ancho promedio mayor a 15 mm.

La fisura provoca un severo golpeteo en el vehículo cuando se circula sobre el pavimento.

Medición.- Las fisuras por reflexión de juntas se miden en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura se registra separadamente; se totalizan los metros lineales registrados para cada nivel de severidad en la sección.

Figura N°7: Fisura por reflexión de juntas



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.3. DEFORMACIONES SUPERFICIALES

2.3.3.1. Ahuellamiento

Descripción.- Depresión longitudinal continua a lo largo del rodamiento del tránsito, de longitud mínima de 6 m.

Posibles causas.- Las repeticiones de las cargas de tránsito conducen a deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o en la subrasante. Cuando el radio de influencia de la zona ahuellada es pequeño, las deformaciones ocurren en las capas superiores del pavimento; cuando el radio de influencia es amplio, las deformaciones ocurren en la subrasante. Las deformaciones resultan de una compactación o movimiento lateral de los materiales (fluencia plástica o punzonamiento por corte), ambos por efecto de tránsito. El ahuellamiento indica una insuficiencia estructural del pavimento o una deficiente estabilidad del sistema subrasante-pavimento. En algunos casos se hace más evidente cuando la mezcla asfáltica se desplaza formando un cordón a cada lado del área deprimida.⁽³⁾ Las causas posibles incluyen:

- Las capas estructurales pobremente compactadas.
- Inestabilidad en bases y sub-bases granulares, creada por la presión del agua o saturación de la misma.
- Mezcla asfáltica inestable
- Falta de apoyo lateral por erosión del hombro.
- Capacidad estructural del pavimento con espesores deficientes de las capas que lo integran.
- Técnica de construcción pobre y un bajo control de calidad. vii. Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad.
- La acción del tránsito (sobrecargas y altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño original).
- El acompañamiento por levantamientos adyacentes a los ahuellamientos, que indica que hay fallas en las capas superiores del pavimento.

- Estacionamiento prolongado de vehículos pesados. xi. Exceso de ligantes de riegos.

Niveles de severidad.- La severidad del ahuellamiento se determina en función de la profundidad de la huella, midiendo ésta con una regla de 1.20 m de longitud colocada transversalmente al eje de la carretera; la medición se efectúa donde la profundidad es mayor, promediando los resultados obtenidos a intervalos de 3 m a lo largo de la huella.

Se identifican tres niveles de severidad:

B (Bajo) La profundidad promedio es menor de 10 mm.

M (Mediano) La profundidad promedio es entre 10 y 25 mm.

A (Alto) La profundidad promedio es mayor de 25 mm.

Medición.- Las fisuras por reflexión de juntas se miden en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura se registra separadamente; se totalizan los metros lineales registrados para cada nivel de severidad en la sección.

Figura N°8: Daño por ahuellamiento



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.3.2. Corrimiento

Descripción.- Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañados por levantamientos de material formando "cordones", principalmente laterales, o bien por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie subyacente, generalmente acompañada de un levantamiento hacia el eje de la carretera. Típicamente puede identificarse a través de la señalización horizontal del pavimento, observando demarcación de los carriles, por efecto de corrimiento.⁽³⁾

Posibles causas: Los desplazamientos son ocasionados por las cargas del tránsito, actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de asfalto, falta de vacíos, o bien, por falta de confinamiento lateral. La inadecuada ejecución del riego de liga o imprimación no permite una adecuada adherencia entre la capa asfáltica de rodadura y la subyacente, originando mayor posibilidad de corrimiento.

Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) según la siguiente guía:

B (Bajo) El corrimiento es perceptible, causa cierta vibración o balanceo en el vehículo, sin generar incomodidad.

M (Mediano) El corrimiento causa una significativa vibración o balanceo al vehículo, que genera cierta incomodidad.

A (Alto) El corrimiento causa a los vehículos un excesivo balanceo que genera una sustancial incomodidad y/o riesgo para la seguridad de circulación, siendo necesaria una sustancial reducción de la velocidad.

Medición.- Los corrimientos se miden en metros cuadrados, registrando separadamente, de acuerdo a su severidad, el área total afectada en la muestra o sección.

Figura N°9: Daño por corrimiento



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.3.3. Corrugación

Descripción.- Serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menor de 1 m entre ellas, a lo largo del pavimento.⁽³⁾

Posibles causas.- Este tipo de falla es ocasionado por la acción del tránsito sobre las capas superficiales (carpeta o base del pavimento).

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) según la siguiente guía:

B (Bajo) La corrugación causa cierta vibración en el vehículo, sin llegar a generar incomodidad.

M (Mediano) La corrugación causa una significativa vibración en el vehículo, que genera cierta incomodidad.

A (Alto) La corrugación causa una vibración excesiva y continua en el vehículo, que genera una sustancial incomodidad y/o riesgo para la circulación de vehículos, siendo necesaria una reducción en la velocidad por seguridad.

Medición.- La corrugación se mide en metros cuadrados, registrando, de acuerdo a su severidad, el área total afectada en la muestra o sección.

Figura N° 10: Daño por corrugación



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.3.4. Hinchamiento

Descripción.- Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.

Posibles causas.- Son causadas fundamentalmente por la expansión de los suelos de subrasante del tipo expansivo. En muchos casos pueden estar acompañadas por el fisuramiento de la superficie.

Niveles de severidad.- Según su incidencia en la comodidad de manejo, se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) de acuerdo a la siguiente guía:

B (Bajo) Baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a la velocidad de operación promedio.

M (Mediano) Moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir la velocidad de circulación.

A (Alto) Alta incidencia en la comodidad de manejo, condiciona la velocidad de circulación y produce una severa incomodidad con peligro para la circulación (el vehículo es proyectado por efecto del hinchamiento).

Medición.- Los hinchamientos se miden en metros cuadrados de la superficie afectada, registrando separadamente, según su severidad, el área afectada en la muestra o sección.

Figura N° 11: Daño por hinchamiento.



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.3.5. Hundimiento

Descripción.- Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo.

Posibles causas.- Los hundimientos son causados por asentamientos de la fundación, deficiencias durante la construcción o falta de un continuo mantenimiento a los drenes. La heterogeneidad constructiva puede provocar, desde simples descensos de nivel, hasta insuficiencia de espesor o estabilidad de los materiales.⁽³⁾

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) de acuerdo a la siguiente guía:

B (Bajo) Baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a la velocidad de operación promedio.

M (Mediano) Moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir la velocidad de circulación.

A (Alto) Alta incidencia en la comodidad de manejo, produce una severa incomodidad requiriéndose reducir la velocidad por razones de seguridad.

Medición.- El hundimiento se mide en metros cuadrados, registrando separadamente, según su severidad, el área afectada en la muestra o sección.

Figura N° 12: Daño por hundimiento



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.4. DESINTEGRACIÓN DEL PAVIMENTO

2.3.4.1. Bache

Descripción.- Desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares. **Posibles causas.-** Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo cuero de cocodrilo, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.⁽³⁾

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) en función del área afectada y de la profundidad del bache.

Medición.- Los baches descubiertos pueden medirse alternativamente: a) Contando el número de baches con niveles de severidad baja, moderada y alta, registrando estos separadamente, y b) Computando éstos en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente las áreas, según su nivel de severidad.

Figura N°13: Bache con pérdida de material de base



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.4.2. Peladura

Descripción.- Desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del agregado pétreo, aumentando la textura del pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y clima.

Posibles causas.- Esta anomalía es indicativa que el ligante se ha endurecido apreciablemente, perdiendo sus propiedades ligantes, o bien que la mezcla asfáltica existente es de deficiente calidad, ya sea por un contenido de ligante insuficiente, empleo de agregados sucios o muy absorbentes, como también por deficiencias durante la construcción, especialmente en tratamientos superficiales bituminosos; frecuentemente se presenta como un desprendimiento de agregados en forma de estrías longitudinales, paralelas a la dirección del riego. El desprendimiento puede ser originado también en un proceso de descubrimiento por pérdida de

adherencia entre el agregado y el asfalto, cuando actúan agentes agresivos tales como solventes y otros derivados del petróleo, e inclusive, la acción del agua (pluvial).

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

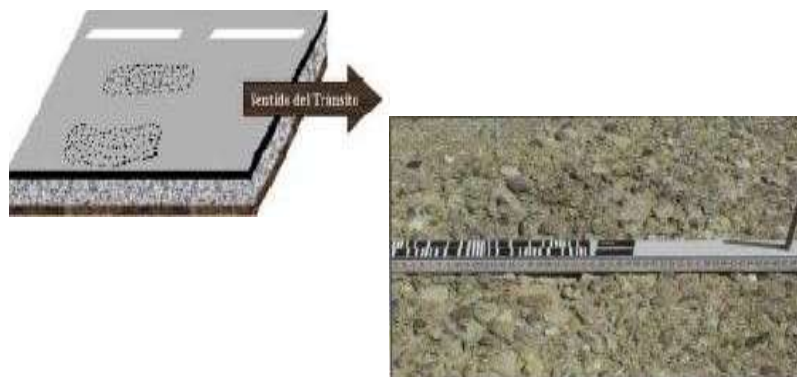
B (Bajo) Pequeñas peladuras u oquedades superficiales, distribuidas erráticamente en la superficie del pavimento. El agregado y/o el ligante han comenzado a desprenderse en algunos sectores. En el caso de ataque por aceites, la superficie se ha ablandado y no puede penetrarse con una moneda.

M (Mediano) Extensivos desprendimientos de agregados pétreos finos y/o de ligante, confieren a la superficie una textura abierta y rugosa. En el caso de ataque por aceites, la superficie se ha ablandado y puede penetrarse con una moneda.

A (Alto) Extensivo desprendimiento de agregados pétreos gruesos y finos, confiere a la superficie una textura muy rugosa, con presencia de oquedades de máximo 10 y 15 mm de diámetro y profundidad respectivamente. En el caso de ataque por aceites, el asfalto ha perdido sus propiedades ligantes y el agregado ha quedado suelto.

Medición.- Las peladuras se miden en metros cuadrados de superficie afectada, registrando éstas separadamente según el nivel de severidad identificado para cada caso.

Figura N°14: Daño por peladura



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.4.3. Desintegración de bordes

Descripción.- Consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento por la acción del tránsito. Se hace particularmente manifiesto en pistas con hombros no pavimentados, en las que existe una significativa porción de vehículos que acceden del hombro al pavimento o en el sentido contrario.⁽³⁾

Posibles causas.- La causa primaria es la acción localizada del tránsito, tanto por su efecto abrasivo como por el poder destructivo de las cargas, sobre el extremo del pavimento donde la debilidad de la estructura es mayor debido al menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde, etc.

La presencia de arenas angulosas sueltas, muy próximas a la pista, hace que aumente la abrasión de las llantas que ascienden y descienden del pavimento, provocando peladuras severas que pueden conducir a la desintegración.

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con el estado del pavimento en los 0.50 m contiguos al mismo, según la siguiente guía:

B (Bajo) Se observan fisuras paralelas al borde, de severidad baja o moderada, sin signos de peladuras, desintegración y canales de erosión.

M (Mediano) Se observan fisuras paralelas al borde, de severidad alta, y/o peladuras de cualquier tipo, sin llegar a la rotura o desintegración total de los mismos.

A (Alto) Se observa una considerable desintegración total de los bordes, con importantes sectores removidos por el tránsito; el borde resulta serpenteante, reduciendo el ancho de la calzada.

Medición.- Las desintegraciones de bordes se miden en metros cuadrados, totalizados separadamente, de acuerdo a su severidad, las longitudes dañadas en la muestra o sección.

Figura N°15: Daño por designación de bordes con acumulación de agua



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.5. OTROS DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS

2.3.5.1. Exudación de asfalto

Descripción.- Consiste en el afloramiento de un material bituminoso de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento, formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante el tiempo cálido.

Posibles causas.- La exudación es causada por un excesivo contenido de asfalto en las mezclas asfálticas y/o sellos bituminosos.

Ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficientes, durante épocas calurosas. El ligante dilata, llena los vacíos y aflora a la superficie, dejando una película de bitumen⁽³⁾

en la superficie. Dado que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumula en la superficie.

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo) Se hace visible la coloración algo brillante de la superficie, por efecto de pequeñas migraciones de asfalto, aún aisladas.

M (Mediano) Apariencia característica, con exceso de asfalto libre que forma una película continua en las huellas de canalización del tránsito; la superficie se torna pegajosa a los zapatos y neumáticos de los vehículos en días cálidos.

A (Alto) Presencia de una cantidad significativa de asfalto libre, le da a la superficie un aspecto "húmedo", de intensa coloración negra; superficie pegajosa o adhesiva a los zapatos y neumáticos de los vehículos en días cálidos.

Medición.- La exudación del asfalto se mide en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente ésta según su severidad. Cuando se computa como "Exudación de Asfalto", dicha área no debe ser considerada como pulimiento de superficie.

Figura N° 16: Pavimento dañado por exudación de asfalto



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.3.5.2. Parchados y reparaciones de servicios públicos

Descripción.- Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con material similar o diferente, para reparar el pavimento existente. También un parchado por reparación de servicios públicos es un parche que se ha ejecutado para permitir la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio público subterráneo.

Los parchados disminuyen el nivel de servicio de la carretera, al tiempo que puede constituir un indicador tanto de la intensidad de mantenimiento demandado por una

carretera, como de la necesidad de reforzar la estructura de la misma. En general las áreas parchadas tienen un comportamiento inferior al pavimento original y en muchos casos son el origen de una mayor rugosidad del pavimento o de nuevas fallas en el mismo o en el área adyacente, particularmente cuando su ejecución es defectuosa.⁽³⁾

Posibles causas.- Si bien los parches por reparaciones de servicios públicos se deben a causas diferentes, los niveles de severidad se definen en forma idéntica

Niveles de severidad.- Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

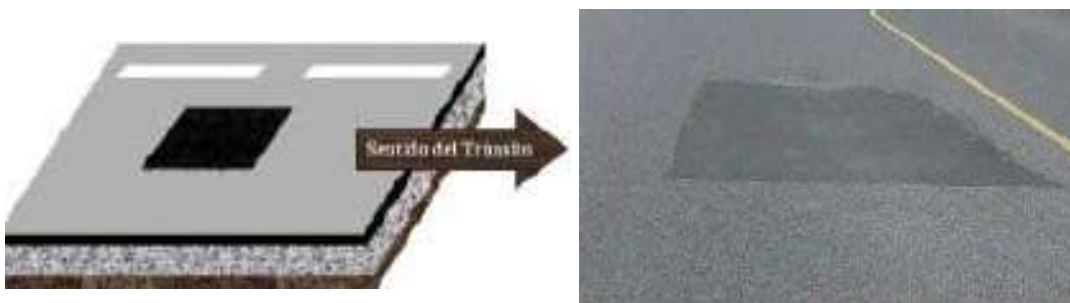
B (Bajo) El parche se comporta satisfactoriamente, con muy poco o ningún deterioro.

M (Mediano) El parche se encuentra moderadamente deteriorado; se evidencia un moderado deterioro alrededor de sus bordes.

A (Alto) El parche está severamente dañado. La extensión o severidad de estos daños indican una condición de falla, siendo necesario el reemplazo del parche.

Medición.- Los parchados se miden en metros cuadrados de área afectada, registrando separadamente éstas de acuerdo con su nivel de severidad. En un mismo parche (particularmente cuando éste alcanza cierta extensión) pueden diferenciarse áreas con distinto nivel de severidad. Si una gran extensión del pavimento ha sido reemplazada en forma continua (por ejemplo, reconstruyendo toda una intersección), esta área no debe registrarse como parchado.

Figura N°17: Parche



Fuente: Extraído de las especificaciones SIECA

2.4. MANTENIMIENTO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.4.1. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO VIAL

El “mantenimiento vial”, en general, es el conjunto de actividades que se realizan para conservar en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos de una carretera: derecho de vía, capa de rodadura, bermas, drenajes, cunetas, taludes, etc.

En la práctica lo que se busca es preservar el capital ya invertido en el camino y evitar su deterioro físico prematuro.

Una carretera, por mejor diseñada o construida que esté, necesita un mantenimiento permanente y adecuado, de lo contrario se deteriorará rápidamente.

El mantenimiento vial nos permite conservar una vía inclusive más allá de su periodo de diseño, lo que significa, a la larga, un ahorro de recursos económicos. ⁽⁸⁾

2.4.2. NIVELES DE INTERVENCIÓN EN LA CONSERVACIÓN VIAL

Se denomina niveles de intervención a las diversas acciones relacionadas con la vía, clasificadas de acuerdo a la magnitud de los trabajos, desde una intervención sencilla pero permanente (mantenimiento rutinario), hasta una intervención más costosa y complicada (reconstrucción o rehabilitación).

A continuación se describe los términos utilizados en las tareas de mantenimiento y rehabilitación: ⁽⁸⁾

2.4.2.1. Mantenimiento rutinario

Se refiere a la conservación continua (a intervalos menores de un año) de las zonas laterales, y a intervenciones de emergencias en la carretera, con el fin de mantener las condiciones óptimas para la transitabilidad en la vía.

Se incluyen en este mantenimiento las actividades de limpieza de las obras de drenaje, el corte de la vegetación y las reparaciones de los defectos puntuales de la plataforma.

Su objetivo es evitar la destrucción gradual de una vía mediante acciones y reparaciones preventivas de protección física de la estructura básica y de su superficie de rodadura.

2.4.2.2. Mantenimiento periódico

Es el conjunto de actividades que se ejecutan en períodos, en general, de más de un año y que tienen el propósito de evitar la aparición o el agravamiento de defectos mayores.

El mantenimiento periódico es destinado primordialmente a recuperar los deterioros de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito y por fenómenos climáticos, también podrá contemplar la construcción de algunas obras de drenaje menores y de protección faltantes en la vía.

Su objetivo es de proteger la estructura básica y la superficie de las vías, mediante la ejecución de actividades extensivas periódicas, tales como tratamientos superficiales.

2.4.2.3. Mantenimiento diferido

Realiza acciones y actividades de mantenimiento que deberían haberse efectuado en el pasado, pero que por alguna razón no se realizaron.

Su objetivo es detener y restablecer las condiciones de transitabilidad de un pavimento evitando que los deterioros no atendidos con oportunidad sean más graves e irreversibles.

2.4.2.4. Rehabilitación

Actividades que tienen por finalidad recuperar las condiciones iniciales de la vía de manera que se cumplan las especificaciones técnicas con que fue diseñada.

Su reparación será mayor selectiva, con refuerzo del pavimento o de la calzada.

Se requiere previamente efectuar trabajos de mantenimiento como tratamiento de fisuras, parchados, etc. en la estructura existente y posibles mejoramientos de drenaje.

Su objetivo es establecer la capacidad estructural y la calidad original de la superficie de rodadura.

2.4.2.5. Reconstrucción

Es la renovación completa de la estructura del camino, se requiere efectuar previamente la demolición parcial o completa de la estructura existente.

Las causas determinantes probables son una deficiente construcción o la ausencia de mantenimiento adecuado.

Su objetivo es restaurar los deterioros provocados por desatención o descuido prolongado de las vías, a fin de asegurar el normal

2.4.2.6. Reparaciones de emergencia

Son aquellas que se realizan cuando el camino está en mal estado o incluso intransitable, como consecuencia del descuido prolongado o de un desastre natural, por no disponerse de los recursos necesarios para reconstruirlo o rehabilitarlo, que es lo que correspondería hacer.

Generalmente, las reparaciones de emergencia dejan el camino en estado regular.

2.4.3. ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN RUTINARIA

2.4.3.1. Sellado de fisuras y grietas

Descripción.- El sello de fisuras (aberturas iguales o menores a 3 mm) y de grietas (aberturas mayores a 3mm).

Consiste en la colocación de materiales especiales sobre o dentro de las fisuras o en realizar el relleno con materiales especiales dentro de las grietas.

El objetivo del sello de fisuras y de grietas es impedir la entrada de agua y la de materiales incompresibles como piedras o materiales duros y, de esta manera,

minimizar la formación de agrietamientos más severos como los de piel de cocodrilo y la posterior aparición de baches. ⁽⁷⁾

Procedimiento de ejecución:

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. Identificar las zonas de fisuras y grietas a sellar, procediendo a marcarlas con yes. Estas marcas indican el inicio y final de cada grieta.
3. Realizar la limpieza de la superficie utilizando escobillado y un chorro de aire a presión (presión mínima 120 psi). Tanto el espacio formado por la grieta, como el área adyacente a la misma, debe estar libre de polvo o de cualquier otro material.
4. Aplicar el material sellante tomando especial cuidado de producir una adherencia efectiva del riego de liga con las paredes de la fisura y/o grieta.

El trabajo de sellado solo se debe realizar cuando la temperatura ambiente sea superior a 5° C e inferior a 30°C.

Para habilitar rápidamente el tránsito, el sellado se debe espolvorear con cal.

5. Hacer la limpieza general del sitio de trabajo, retirar las señales y dispositivos de seguridad.

2.4.3.2. Parchado superficial

Descripción.- Esta actividad es una de las más difundidas técnicamente en la conservación de pavimentos flexibles.

El parchado superficial comprende la reparación de baches y el reemplazo de áreas del pavimento que se encuentren deterioradas, siempre que afecten exclusivamente a la carpeta asfáltica, encontrándose en buenas condiciones la base granular y demás capas de suelos. ⁽⁷⁾

Procedimiento de ejecución:

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.

2. Identificar las áreas deterioradas y proceder a delimitarlas en forma rectangular con sus lados paralelos y perpendiculares al eje de la calzada y deben cubrir unos 30 cm de superficie circundante.

3. Ejecutar las acciones del parchado manual o de bacheo mecanizado de acuerdo con los siguientes requerimientos:

Parchado manual.- Se refiere a la remoción manual de la zona deteriorada, la limpieza de las paredes resultantes, luego la colocación de un imprimante o un riego de liga, según corresponda, para finalizar con la colocación y compactación de una mezcla asfáltica.

Remoción de la zona deteriorada; las mezclas asfálticas deben cortarse de manera que las paredes queden verticales. La remoción debe alcanzar hasta una profundidad en que las mezclas no presenten signos de agrietamientos o fisuras y, en el caso de baches, debe alcanzar el punto más profundo de él.

Relleno; las paredes y fondo de la zona a tratar, deben limpiarse mediante un barrido enérgico, las paredes deben quedar firmes y perfectamente limpias.

En seguida, la superficie y las paredes se recubrirán con el ligante que corresponda. Se deben utilizar escobillones u otros elementos similares que permitan esparcir el ligante uniformemente (generalmente la dosificación está comprendida entre 1.3 l/m² y 2.4 l/m²). Se debe verificar que la emulsión haya alcanzado la rotura o que la imprimación haya penetrado debidamente.

La mezcla asfáltica se debe extender y nivelar mediante rastrillos, colocando la cantidad adecuada para que sobresalga unos 6 mm sobre el pavimento circundante. En los extremos, se deberá recortar la mezcla de manera de dejar paredes verticales y retirar cualquier exceso. La compactación se deberá realizar con un rodillo neumático o liso, de 3 a 5 toneladas de peso. El desnivel máximo tolerable entre la zona reparada y el pavimento que la rodea será de 3mm.

Parchado mecanizado.- Se refiere a las labores de bacheo superficial realizadas mediante un equipo, especialmente diseñado, que en forma secuencial, limpia el área afectada, coloca un imprimante o riego de liga a presión, rellena y compacta el bache mediante una mezcla asfáltica.

El trabajo se deberá terminar dentro de un plazo de 24 horas. La longitud máxima de los tramos en un carril de la calzada y manteniendo el tránsito unidireccional en el otro carril, será de 2.5 kilómetros.

4. Hacer la limpieza general del sitio de trabajo, retirar las señales y dispositivos de seguridad.

2.4.3.3. Parchado profundo

Descripción.- Consiste en la reparación, bacheo o reemplazo de una parte severamente deteriorada de la estructura de un pavimento flexible, cuando el daño afecte tanto a la o las capas asfálticas, parte de la base y sub-base.

Parchado profundos, entendiéndose como tales aquellos cuya profundidad sea mayor de 50 mm. ⁽⁷⁾

Procedimiento de ejecución:

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. Identificar las zonas deterioradas y proceder a delimitarlas con pintura dándoles forma rectangular cuyos lados deberán ser paralelos y perpendiculares al eje de la vía y deberán cubrir unos 30 cm de superficie circundante de pavimento en buen estado.
3. Ejecutar las acciones de parchado de acuerdo con las siguientes opciones técnicas dependiendo del caso y de las circunstancias:

Parchado profundo con mezclas en caliente.- Comprende la excavación y remoción del pavimento, bases y sub-bases por reemplazar, el traslado de los trozos removidos a depósitos de excedentes autorizados, la colocación compactada de la base de

reemplazo, la imprimación de la base, el riego de liga, y la preparación de la mezcla asfáltica de concreto asfáltico en caliente, su transporte, colocación y compactación.

Parchado profundo con mezclas en frío.- Comprende la excavación y remoción del pavimento, bases y sub-bases por reemplazar, el traslado de los trozos removidos a depósitos autorizados, la colocación y compactación de la base de reemplazo, la imprimación de la base, el riego de liga, y la preparación de la mezcla asfáltica en frío diseñada y fabricada especialmente o del tipo almacenable, su transporte, colocación y compactación.

Parchado profundo con tratamiento superficial.- Comprende la excavación y remoción del tratamiento superficial existente, bases y sub-bases por reemplazar, el traslado de los trozos removidos a depósitos de excedentes autorizados, la colocación y compactación de la base de reemplazo, la imprimación de la base y la construcción del tratamiento superficial de las mismas características del existente.

4. Antes de iniciar la colocación de los materiales de reemplazo se deberá revisar el fondo y paredes de la excavación, para verificar la presencia o no de escurrimientos de aguas.

5. Hacer la limpieza general del sitio de trabajo, retirar las señales y dispositivos de seguridad.

2.4.3.4. Tratamiento de zonas con exudación

Descripción.- Se refiere a la eliminación de la superficie de la carretera de los excesos de asfalto que aparecen en una parte o la totalidad del ancho.

Procedimiento de ejecución:

1. Antes de empezar el trabajo, se deberá colocar las señales preventivas reglamentarias. Los trabajos se realizarán por media sección transversal, no siendo la longitud de cada tramo de trabajo más larga que 1,000 metros.

2. El camión distribuirá la arena avanzando con una velocidad menor a 20 km/h. En las zonas de exudación de tamaño menor, la distribución se podrá hacer manualmente. El papel de la capa de arena es absorber progresivamente el exceso de asfalto que se halla en la superficie. Se repetirá la operación varias veces en la misma área hasta que todo el exceso de asfalto este completamente absorbido.

3. Al terminar el tratamiento, los excesos de arena, deberán ser eliminados.

2.4.3.5. Bacheo de bermas con material granular

Descripción.- La actividad se refiere a la reparación de bermas granulares no revestidas en calzadas con pavimento flexible, que se encuentren desniveladas respecto del borde del pavimento, que estén deformadas o cuya geometría no se ajuste a un plano liso con una

El objetivo es recuperar las condiciones de seguridad para los usuarios, se considera inseguro un desnivel mayor de 40 mm. Esta condición afecta al pavimento ya que lo deja sin confinamiento lateral, lo que origina la aparición de grietas en forma de media luna en el borde. ⁽⁷⁾

Procedimiento de ejecución:

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. Identificar las zonas y preparar la superficie de trabajo demarcando los sitios desnivelados.
3. En el borde exterior de la zona se deberán colocar estacas que definan tanto el límite del área por afirmar como la cota a que debe quedar. La pendiente transversal de la berma no tratada estará comprendida entre 4% y 6 % en tramos rectos; en curvas, se ajustara de manera que la diferencia entre el peralte y la pendiente de la berma no supere el 8%.
4. Los trabajos se deben ejecutar escarificando las zonas demarcadas y utilizando procedimientos constructivos que no afecten el pavimento adyacente, ni las bermas

cuya reparación no está considerada. El escarificado deberá tener, como mínimo, 50 mm de profundidad, debiéndose retirar todas las piedras de tamaño superior a 50 mm.

La cantidad de material granular se deberá calcular de manera que, una vez extendido y compactado, se obtenga una superficie plana, con la pendiente prevista y a nivel con el borde del pavimento.

5. Hacer la limpieza del sitio de trabajo, retirar las señales y dispositivos

2.4.3.6. Nivelación de bermas con material granular

Descripción.- La actividad se refiere a la nivelación de bermas granulares no revestidas en calzadas con pavimento flexible, que se encuentren desniveladas respecto del borde del pavimento, que estén deformadas o cuya geometría no se ajuste a un plano liso con una pendiente uniforme y adecuada.

Procedimiento de ejecución: (mismo que el bacheo de bermas).

2.4.4. ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN PERIÓDICA

2.4.4.1. Sellos asfálticos

Descripción.- Los sellos asfálticos consisten en recubrimientos sobre pavimentos flexibles con un riego asfáltico, solo o combinado con algún agregado.

El objetivo de los sellos asfálticos es la protección oportuna de pequeñas fisuras que normalmente son precursores de daños graves. En este sentido, las técnicas de sellado asfáltico tienen por finalidad aplicar medidas que pueden ser preventivas, correctivas o ambas. ⁽⁷⁾

Las principales aplicaciones de las técnicas de sellado asfáltico son:

Los sellos con emulsión asfáltica que se utilizan para rejuvenecer superficies que presentan un cierto grado de envejecimiento (oxidación), para sellar fisuras y grietas pequeñas.

Las lechadas asfálticas que cumplen una función similar que los sellos con emulsión y además detienen el desgaste superficial y mejoran la fricción entre el pavimento y los neumáticos.

Los sellos tipo arena-asfalto y tratamiento superficial simple, al igual que los sellos anteriores, rejuvenecen, sellan la superficie, detienen el desgaste superficial y mejoran la fricción entre pavimento y neumático.

Procedimiento de ejecución:

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. Identificar las zonas deterioradas y proceder a delimitarlas.
3. Preparar la superficie para aplicar el sello asfáltico haciendo bacheo, si es del caso, y efectuar la limpieza de la superficie.
4. Verificar que las condiciones climáticas; la temperatura atmosférica y de la superficie por sellar, sea 10°C o superior durante todo el proceso.
5. El riego se debe hacer con distribuidor a presión en que la emulsión, diluida en agua en razón de 1:1; se aplique a razón de 0.5 kg/m² a 1.0 kg/m², dependiendo del estado de la superficie por tratar. No se debe transitar sobre el área tratada hasta que la emulsión haya alcanzado la rotura completamente y, en ningún caso, antes de 2 horas.

2.4.4.2. Recapados asfálticos

Descripción.- La actividad consiste en la puesta de una sobre- carpeta de mezcla asfáltica en caliente sobre el pavimento flexible existente, previo el tratamiento de los daños puntuales presentes.

La colocación de recapados debe ser realizada cuando el pavimento flexible se encuentra en un estado regular. ⁽⁷⁾

La colocación de recapados asfálticos es eficaz para tratar las siguientes deficiencias en el pavimento:

Insuficiencia estructural para soportar las cargas de tránsito en un periodo determinado.

Irregularidad superficial severa más allá de los límites permitidos de rugosidad superficial.

Procedimiento de ejecución:

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. Identificar las zonas a intervenir y proceder a delimitarlas.
3. Preparar la superficie para aplicar el recapado asfáltico haciendo bacheo y sellos de fisuras y grietas, si es el caso.
4. Verificar las condiciones climáticas, sin lluvias.
5. Aplicar un riego de liga y permitir su curado.
6. Ejecutar la colocación del recapado asfáltico con la extendedora de mezcla asfáltica en caliente o maquina pavimentadora y luego compactar la mezcla extendida con rodillo vibratorio.

2.4.4.3. Fresado de carpeta asfáltica

Descripción.- El fresado en frío es un proceso por el cual un equipo provisto de un cilindro rotatorio, con dientes de especial dureza, remueve pavimentos de concreto asfáltico, hasta una profundidad especificada. Estos equipos cuentan con sistemas de nivelación automática y son capaces de operar con buena precisión.

Esta acción específica se refiere, a la remoción de 1 a 3 cm. de pavimento con la finalidad de alisar áreas deformadas con elevaciones y corrugaciones, ahuellamientos menores, superficies agrietadas.

El equipo remueve el material sin dañar las capas inferiores, deja una superficie rugosa y nivelada que facilita la colocación de nuevas capas de espesor uniforme, además de mejorar la adherencia.

Antes de iniciar la superficie de pavimento se deberá encontrar limpia. El fresado se efectuará a temperatura ambiente y sin adición de solventes. El material extraído deberá ser transportado y acopiado evitando su contaminación con suelos u otros materiales. ⁽⁷⁾

2.4.4.4. Microfresado de carpeta asfáltica

Descripción.- Esta operación se refiere al cepillado superficial de una carpeta asfáltica con el objetivo de corregir las irregularidades, lo que haría mejorar la serviciabilidad y a la vez prolongar la vida útil el periodo de servicio.

Procedimiento de ejecución:

1. El microfresado solo se realiza una vez terminados todos los trabajos de reparación de juntas, parchados, reparación de baches, reparación de grietas y otros.

Para obtener un mejor resultado, el equipo de microfresado debe trabajar avanzando en sentido contrario al del tránsito.

2. El microfresado se ejecutará de manera que produzca o mantenga siempre una pendiente transversal hacia el exterior de la vía en mantenimiento.

3. El microfresado debe ejecutarse de manera que las superficies queden en el mismo plano.

4. Se deberán proveer los medios adecuados para remover los residuos que produce el microfresado, los que deberán retirarse antes que eventualmente lo haga el tránsito o el viento, o que escurran hacia pistas en servicio o hacia el drenaje del camino.

5. El tratamiento deberá afectar como mínimo a 95% de la superficie, la que deberá quedar perfectamente lisa y de apariencia uniforme.

6. Los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a botaderos autorizados, dejando el área de los trabajos realizados completamente limpia.

2.4.4.5. Reconformación de base granular en bermas

Descripción.- Consiste en escarificar, conformar, nivelar y compactar la base granular existente, con adición de nuevo material. El objetivo es eliminar huellas, deformaciones, ondulaciones, erosiones y material suelto en la capa de base, obteniendo una capa de espesor uniforme, compacto. ⁽⁷⁾

Procedimiento de ejecución:

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. Escarificar la base deteriorada existente utilizando el escarificador de la motoniveladora en un espesor promedio de 0.10 m., para luego añadir el material de base necesario.
3. Proceder al mezclado con el material adicionado, efectuar el batido con aplicación de riego de agua de acuerdo al óptimo contenido de humedad.
4. Efectuar la conformación de la capa de base utilizando
5. Verificar que la superficie de rodadura haya quedado uniforme y nivelada.
6. Hacer la limpieza del sitio de trabajo, retirar las señales de seguridad.

2.4.4.6. Nivelación de bermas con mezcla asfáltica

Descripción: Restablecer el nivel y el estado inicial de la berma de concreto asfáltico dañada o desgastada, para evitar la formación de un escalón lateral peligroso para los usuarios y proteger el pavimento.

Procedimiento de ejecución:

1. Colocar las señales preventivas reglamentarias. Un carril deberá estar cerrado al tránsito y la longitud del tramo de trabajo no deberá ser mayor que 1,000 metros.
2. Las partes dañadas serán demolidas usando el martillo neumático y otras herramientas manuales. El concreto asfáltico será removido hasta el nivel de la base.
3. Se verificará el perfil transversal de la base y se ejecutarán correcciones.

4. Luego se nivelará y compactará la base existente con 3 pasadas de rodillo.
5. La superficie de la base compactada será luego limpiada con escobas con fines de eliminar el polvo y prepararla para recibir el riego de imprimación.
6. El riego de imprimación se realizará si las condiciones atmosféricas lo permiten, se aplicará el riego de imprimación por medio mecanizado.
7. El concreto asfáltico será colocado manualmente en la berma. Se verificará la pendiente transversal de la berma y se realizaran las correcciones necesarias.
8. La compactación de la carpeta asfáltica se hará con un mínimo de 10 pasadas de rodillo. La densidad de la mezcla luego de la compactación deberá ser mayor o igual que el 98% de la densidad Marshall.
9. Si la imprimación es con asfalto diluido, la berma deberá estar cerrada al tránsito 48 horas.
10. Hacer la limpieza general del sitio de trabajo.

2.5. MEZCLA ARENA-ASFALTO EN CALIENTE (MAAC)

2.5.1. Definición

Se define como Mezcla Arena Asfalto en Caliente (MAAC) a la combinación de un ligante asfáltico (convencional o modificado), agregados (incluido Filler) y eventualmente aditivos; elaboradas en plantas al efecto y colocadas en obra a temperatura muy superior al ambiente.

En el grupo de las mezclas en caliente, se han utilizado en la práctica los morteros asfálticos, también denominados arena asfalto usada en caliente (AAUQ). En regiones donde no existen agregados pétreos graduados, se utiliza como revestimiento un mortero de agregado, en general arena, ligante, y fíller si es necesario, con mayor consumo de ligante que los concretos asfálticos convencionales debido al aumento de la superficie, también abre la posibilidad hoy del uso de asfalto modificado por polímero en las AAUQs.⁽²⁾

se emplea habitualmente como carreteras de tráfico revestimiento no muy alto. Como cada mezcla en caliente, tanto el agregado y el aglutinante se calientan antes de la mezcla y se aplican y compactado en caliente. Tales mezclas debido a la alta cantidad de aglutinante de asfalto y la presencia de pequeños agregados requieren gran cuidado en la ejecución (IBP, 1999). Uno de los problemas más frecuentes de estas mezclas es que a menudo tienen una menor resistencia a las deformaciones permanentes, en comparación con las mezclas en caliente mecanizadas ⁽¹⁾

arena asfalto es un servicio utilizado, principalmente, en la ejecución de regularizaciones, capa final de revestimiento asfáltico y servicios del tipo tapa-agujeros en vías de bajar tráfico.

2.5.2. Materiales para realizar la mezcla asfáltica

2.5.2.1. Agregado fino

Se denomina agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75mm(N⁴) y 75 µm (No. 200). Los agregados finos a emplear en la construcción de capas de rodamiento, no deben provenir de canteras de naturaleza caliza.

El agregado fino es por lo general de una única procedencia y naturaleza. En caso de que se empleen agregados de distinta procedencia, cada una de ellas debe cumplir individualmente las prescripciones establecidas.

2.5.2.2. Requisitos que deben cumplir el agregado fino

Tabla N°3: Requisitos del agregado fino

Requisitos de los agregados finos		
Ensayo	Norma	Exigencia
Coefficiente de desgaste “Los Angeles”	IRAM 1532	La fracción gruesa de la cual proviene el agregado fino, debe cumplir las exigencias para el Coeficiente de desgaste Los Angeles.
Equivalente de arena	IRAM 1682	$\geq 50 \%$
Plasticidad de la fracción que pasa el tamiz IRAM 425 μ m	IRAM 10501	No plástico
Plasticidad de la fracción que pasa el tamiz IRAM 75 μ m	IRAM 10501	$\leq 4 \%$
Relación vía seca-vía húmeda, de la fracción que pasa el tamiz IRAM 75 μ m (1)	VN E 7-65	$\geq 50 \%$
Granulometría	IRAM 1505, IRAM 1501	Debe ser tal que permita cumplir con la granulometría establecida
Índice de Azul de metileno (2)	Anexo A de la norma UNE-EN 933-9	≤ 7 gramos/kilogramo
Determinación de la densidad relativa y de la densidad aparente	IRAM 1520	Determinación obligatoria
Absorción (3)	IRAM 1520	$\leq 1,2 \%$
Durabilidad por ataque con sulfato de sodio (4)	IRAM 1525	$\leq 10\%$

Fuente: Norma IRAM-6845

(1) Este ensayo sólo se hace si el pasante por el tamiz IRAM 75 μ m vía húmeda es mayor de 5 %.

- (2) El Índice de Azul de Metileno se debe hacer sólo en caso que el Ensayo de Equivalente de Arena arroje un resultado menor a cincuenta por ciento (<50 %) y mayor o igual cuarenta y cinco por ciento (≥ 45 %).
- (3) En caso de que se supere el límite especificado, siempre que el agregado verifique los demás requisitos, se permite el uso del mismo considerando para estos casos el porcentaje de ligante asfáltico efectivo en lugar del porcentaje de ligante asfáltico total.
- (4) El ensayo de Durabilidad por ataque con sulfato de sodio se debe hacer sólo en el caso de que el ensayo de Absorción arroje un resultado superior al especificado.

2.5.2.3. Granulometría del agregado fino

La granulometría resultante de la mezcla o composición de las diferentes fracciones de agregados (incluido el Filler), dependiendo del tipo de esqueleto granular considerado, debe estar comprendida dentro de los límites establecidos en los husos granulométricos definidos ⁽²⁾

Tabla N°4: Faja granulométrica para el agregado fino

Faja granulométrica para la elaboración de la mezcla arena-asfalto	
Tamices	Porcentaje en peso que pasa (1)
	5 (2)
9,5 mm (3/8")	100
4,75 mm (N° 4)	85-100
2,36 mm (N° 8)	80-90
600 μ m (N° 30)	55-80
300 μ m (N° 50)	30-60
75 μ m (N°200)	Abr-14

Fuente: Pliego de especificaciones técnicas para mezcla arena asfalto en caliente

- (1) Si existe una diferencia entre las densidades de las fracciones utilizadas superior a $0,2 \text{ g/cm}^3$, la distribución granulométrica debe evaluarse y ser ajustada en volumen.
- (2) Se coloca solo la parte de la nomenclatura vinculada al esqueleto granular (tamaño máximo nominal).

2.5.3. Cemento asfáltico

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfáltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida.

Los materiales asfálticos se emplean en la elaboración de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones, ya sea para aglutinar los materiales pétreos utilizados para ligar o unir diferentes capas del pavimento; o bien para estabilizar bases o subbases. También se pueden usar para construir, fabricar o impermeabilizar otras estructuras, tales como algunas obras complementarias de drenaje, entre otras.

2.5.3.1. Requisitos de calidad del cemento asfáltico betunel 85-100

Tabla N°5: Características que debe cumplir el C.A. betunel 85-100

Especificaciones técnicas formulario c-1 (llenado por la entidad)-ensayos de verificación de calidad de material solicitando (ensayos AASHTO)	Limites	Método	Reproductividad (*)	Encontradas
penetración a 25°C,100gr,0,1mm(T-201)	85 a 100	NBR-6576/ASTM D5/AASHTO T201	+ - 4 dmm	91
viscosidad sayo it furol a 135°C seg.(T-72)	85 min	NBR-14950/ASTM D88/AASHTO T72	+ - 2%	120
ensayo de mancha @ 20% xilol(t102)	negativo	-/ASTM D2770/AASHTO T102	ND	negativo
punto de ablandamiento °c (t-53)	43 a 46	NBR-6560/ASTM D36/AASHTO T53	+ - 3°C	45
ductilidad a 25°C 5cm/min cn(t-51)	100 min	NBR-6293/ASTM D113/AASHTO T51	CONSULTAR NBR	>100
VISCOSIDADE BROOKFILD A135°C,CP	214 min	NBR-15184/ASTM D4402/AASHTO T316	ND	290
VISCOSIDADE BROOKFILD A150°C,CP	97 min	NBR-15184/ASTM D4402/AASHTO T316	ND	152
VISCOSIDADE BROOKFILD A177°C,CP	28 a 114	NBR-15184/ASTM D4402/AASHTO T316	ND	58
TEMPERATURA DE MISTURA, °C (**)(**)	INDICATIVO	CALCULO	ND	141 a 147
TEMPERATURA DE COMPACTACION, °C (**)(**)	INDICATIVO	CALCULO	ND	130 a 136
índice de penetración de pfeiffer	-1,5 a 0.5	CALCULO/CALCULO	ND	-1,1
punto de inflamación C.O.C °C (T-48)	230 min	NBR-11341/ASTM D92/AASHTO T48	+ - 18 °C	>235
Solubilidad en tricloroetileno(T-44)	99 min	NBR-14855/ASTM D2042/AASHTO T44	+ - 0.26%	99,9
densidad a 25 °c c/25c(T-228)	0,99 min	NBR-6296/AASHTO T228	+ - 0.005	1,012
ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO PELICULA DELGADA(TFOT) 32 mm,163°C (AASHTO T240)				
(R) TFOT-Perdida de masa (T-240)	1 max	NBR-15235/ASTM D2872/AASHTO T240	CONSULTAR NBR	0,41
(R) TFOT-Penetración del residuo % de la penetración orig	50 min	CALCULO	ND	55
(R) TFOT-Perdida por calentamiento (t-179)%	1 max	CALCULO/AASHTOT-179	+ - 4 dmm	0,42
densidad a 25 °c c/25c(T-228)	1 a 1.05	NBR-6296/AASHTO T228	+ - 0.005	1

Fuente: Propias de fabricante

2.5.3.2. Requisitos de calidad del cemento asfáltico betuflex 60-85

Tabla N°6: Características que debe cumplir el C.A. betuflex 60-85

Descripción	Método AASTHO ASTM	Ensayos		Especificaciones	
		1	2	ABC 60/85 (B)	
Peso específico (25 °c)	T-228	1009	1006	-	
penetración a25°C., 100gr. 5 seg	T-49	57	57	40-70	
punto de inflación copa abierta de Cleveland [°C]	T-48	305	342	MIN 235	
punto de ablandamiento(°C)	T-53	67	68	MIN 60	
recuperación elástica a 25°C (%)	T-301	97	97	MIN 85	
ductilidad a 25°C y 5 (cm/min),(cm)	T-51	150	150	MIN100	
viscosidad brookfild a 135°C (centistokes)	TP-48	1520	1630	MAX 3000	
viscosidad brookfild a 155°C (centistokes)	D-2161	699	705	MAX 2000	
viscosidad brookfild a 177°C (centistokes)	D-2161	304	308	MAX 1000	
estabilidad de almacenamiento	penetracion(0.1 mm)	T-49	3	2	MAX 9
	punto de ablandamiento(°c)	T-53	4	4	MAX 5
	recuperacion elastica(%)	T-301	3	2	-
ensayos sobre el residuo de la película delgada (RTFOT)	cambio de masa (%)	T-179	0,19	0,16	MAX 1
	penetración (%ret. Original)	T-49	82	83	MIN 60
	punto de ablandamiento(°c)	T-53	-2	-3	RED-5 AUM-7
	recuperación elástica(%)	T-301	85	85	MIN 80

Fuente: Propias de fabricante

2.5.4. Características y comportamiento de la mezcla

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

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

2.5.4.1. Densidad

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

En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o libras por pie cúbico (lb/ft^3).

La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m^3 o 62.416 lb/ft^3). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que muy rara vez la compactación insitu logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

2.5.4.2. Vacíos de aire

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, que está presente entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas

densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

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

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

Las especificaciones de le obra requieren, usualmente una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos; preferiblemente menos del 8 por ciento (8%).

2.5.4.3. Vacíos del agregado minera

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

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos porción que se pierde, por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesario la mezcla. Cuando mayor sea el VAM, más espacio habrá para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores

se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

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

2.5.4.4. Contenido de asfalto

la proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlado con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción, la granulometría está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más fino contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerido para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

2.5.5. Propiedades consideradas en el diseño Marshall de mezclas

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 del pavimento de mezclas en caliente.

2.5.5.1. Fluencia

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

2.5.5.2. Estabilidad

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

La estabilidad depende, sobre todo, de la fricción interna y la cohesión. La fricción interna depende de la textura superficial, forma de la partícula, y granulometría del agregado; así como de la densidad de la mezcla, y la cantidad y tipo de asfalto; mientras que la cohesión depende del contenido de asfalto. La cohesión se incrementa con el incremento del contenido de asfalto, hasta un punto óptimo, después del cual el aumento en el contenido de asfalto forma una película demasiado gruesa en las partículas de asfalto, lo que produce una pérdida de fricción entre las partículas de agregado. No hay una prueba aceptada universalmente para determinar la resistencia de una mezcla para pavimentos, y todas las que se usan son más o menos empíricas. Ciertas pruebas de estabilidad manifiestan más la influencia del aglutinante asfáltico que la del agregado mineral o viceversa, como puede apreciarse en las pruebas Marshall y Hveem. Debe observarse que las pruebas de estabilidad deben suplementarse con otras. En la prueba Marshall, la deformación de la briqueta de ensayo se considera también para estimar la resistencia, y en la prueba Hveem los resultados del cohesiómetro suplementan los valores de estabilidad. El motivo de que en ambas pruebas, Marshall y Hveem, se hayan hecho una tentativa para presentar la influencia relativa del asfalto y del agregado, es una indicación de tal necesidad.

2.6. Criterios de dosificación

El tipo de ligante asfáltico, ubicación e Índice de Tránsito a emplear en la capa asfáltica en consideración, se definen en el Pliego de Especificaciones Técnicas Particulares y/o en el Proyecto Ejecutivo. ⁽²⁾

Los criterios a considerar en el proceso de diseño en laboratorio de la mezcla asfáltica son:

Tabla N°7: Criterios de dosificación de la mezcla arena-asfalto

Requisitos de dosificación		
Parámetro		Exigencia
Ensayo Marshall (IRAM-6845)	N° golpes por cara (1)	50
	Estabilidad	> 8 kN
	Relación Estabilidad- Dfluencia (2)	2,5 - 4,0 kN/mm
	Vacíos en la mezcla (3)	2 - 4 %
	Vacíos del Agregado Mineral (VAM)	> 12 %
	Relación Betún-Vacíos	68 – 78 %
Resistencia conservada mediante el ensayo Lottman modificado (ASTM D 4867 o AASHTO T 283)		> 80 %
Contenido mínimo de Cal Hidratada, en peso sobre total del esqueleto granular		0,50%
Proporciones máximas en volumen de Filler en mezclas (IRAM 1542)		Para ligante asfáltico tipo convencional: $C_v/C_s \leq 1,0$
		Para ligante asfáltico tipo modificado: $C_v/C_s \leq 1,1$
		Se limita la proporción relativa de rellenos minerales de aporte cuya concentración crítica sea inferior a 0,22 ($C_s < 0,22$) a un máximo de 2% en peso de la mezcla.

Fuente: Norma IRAM-6845

(1) Para ligantes asfálticos convencionales, los rangos de temperatura de mezclado y compactación de la mezcla asfáltica en laboratorio deben ser los que permitan verificar los siguientes rangos de viscosidad rotacional (determinada a partir de la metodología descrita en la Norma IRAM 6837):

- Mezclado: $1,7 \text{ dPa}\cdot\text{seg} \pm 0,2 \text{ dPa}\cdot\text{seg}$
- Compactación: $2,8 \text{ dPa}\cdot\text{seg} \pm 0,3 \text{ dPa}\cdot\text{seg}$

Para ligantes asfálticos modificados, la temperatura de compactación para la elaboración de las probetas Marshall debe estar comprendida dentro del rango $160^{\circ}\text{C} - 165^{\circ}\text{C}$; o bien la recomendada por el proveedor del ligante asfáltico.

Para mezclas del tipo CAS, las temperaturas de mezclado y de compactación son especificadas en el Pliego de Especificaciones Técnicas Particulares.

(2) Sólo aplica a concretos asfálticos elaborados con ligante asfáltico convencional.

(3) Se adopta como criterio para establecer el porcentaje óptimo de ligante asfáltico, aquel que surge como promedio de los siguientes valores:

Porcentaje de ligante asfáltico para el cual los vacíos de la mezcla resultan igual a un porcentaje de vacíos de diseño del tres por ciento (3 %).

Porcentaje de ligante asfáltico para el cual los VAM resultan cinco décimas por ciento (0,5 %) superior al mínimo, sobre la rama descendente de la gráfica correspondiente a VAM vs. %CA.

En caso de que con el porcentaje óptimo de ligante asfáltico establecido según el criterio anterior no se verifiquen todas las exigencias establecidas en la Tabla N° 12, se permite modificar el porcentaje de ligante asfáltico adoptado de manera de que ello suceda. En tal caso, se debe informar y justificar la modificación en el Informe de la Presentación de la Fórmula de Obra.

Para todos los casos, el porcentaje de ligante adoptado debe ser tal que el VAM resulte superior al mínimo, sobre la rama descendente de la gráfica correspondiente a VAM vs. %CA.

Tabla N°8: Criterios de dosificación de la mezcla convencional

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado		
	Carpeta y base		Carpeta y base		Carpeta y base		
Criterio de mezcla	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	
Compactación, numero de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75		
Estabilidad	N	3336	-	5338	-	8006	-
	Lb	750	-	1200	-	1800	-
Flujo (0,25mm) (0,01 in)	8	18	8	16	8	14	
porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5	
porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75	

Fuente: Tomada de principios de construcción de mezcla asfáltica en caliente,
MA22, Asphalt Institute

Tabla N°9: Mínimo porcentaje de vacíos del agregado mineral

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VAM		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3	4	5
1,18	No. 16	21,5	22,5	23,5
2,36	No. 8	19	20	21
4,75	No. 6	16	17	18
9,5	3/8.	14	15	16
12,5	1/2.	13	14	15
19	3/4.	12	13	14
25	1.	11	12	13
37,5	1,5.	10	11	12

Fuente: Tomada de principios de construcción de mezcla asfáltica en caliente,
MA22, Asphalt Institute

2.7. LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN Y HABILITACIÓN AL TRÁNSITO

Mezclas asfálticas tipo MAAC

No se permite la producción y puesta en obra de las mezclas asfálticas tipo MAAC en las siguientes situaciones (salvo autorización expresa del Supervisor de Obra)⁽²⁾

- Cuando la temperatura ambiente a la sombra resulte inferior a ocho grados Celsius ($<8^{\circ}\text{C}$).
- Cuando la temperatura ambiente a la sombra resulte inferior a diez grados Celsius ($<10^{\circ}\text{C}$), y esté en descenso.
- Cuando la temperatura de la superficie de apoyo resulte inferior a ocho grados Celsius ($< 8^{\circ}\text{C}$).
- Cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas.

Finalizado el proceso de compactación de la capa asfáltica, previa autorización del Supervisor de obra, se puede habilitar la circulación del tránsito sobre la misma cuando se verifique lo siguiente:

- Cuando la temperatura de la mezcla asfáltica resulte inferior a sesenta grados Celsius ($< 60^{\circ}\text{C}$) en todo su espesor; evitando en estos casos los cambios de dirección y paradas del tránsito hasta que la temperatura de la mezcla asfáltica alcance la temperatura ambiente.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

Este estudio se pretende realizar en la ciudad de Cercado-Tarija, precisamente en los laboratorios de la “Universidad Autónoma Juan Misael Saracho”, disponiendo de los equipos con los cuales se cuenta. Los estudios de caracterización de los materiales fueron realizados en la universidad, pero el diseño Marshall se lo realizó en los laboratorios de la empresa consultora S.A.H.

3.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES

En la ciudad de Tarija se cuenta con varios bancos de materiales para la realización de mezclas asfálticas, pero el criterio para poder escoger el banco de materiales es que cumplan con las especificaciones para la realización de la mezcla arena-asfalto, en este caso se trabajó con dos arenas que son: La arena triturada producida por la empresa Erika, ubicada en el tramo cercado-San Lorenzo y la arena natural que se adquirió de la alcaldía municipal. Las especificaciones para poder realizar dicha mezcla es la siguiente:

- Porcentaje de filler entre el 4 % y 14 %

En caso de los cementos asfálticos a utilizar se recurrió a solicitar el asfalto más utilizado en nuestro medio, siendo el cemento asfáltico BETUNEL 85/100 que es el material que utiliza la alcaldía para el pavimentado de las calles de nuestra ciudad.

En el caso del cemento modificado se recurrió a utilizar el cemento asfáltico BETUFLEX 60/85 siendo un cemento asfáltico que también es utilizado en nuestro medio.

3.3. CRITERIOS PARA EL NÚMERO DE ENSAYOS A REALIZARSE

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

3.3.1. Caracterización de la arena

Granulometría. - Se realizarán 3 granulometrías de la arena.

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

Peso específico y absorción del agregado fino. – se realizará 3 ensayos del agregado fino y se sacará un promedio con los valores encontrados.

Durabilidad por ataque con sulfato de sodio. – se realizará un solo ensayo por el tiempo que demora.

Desgaste de los Ángeles. – se realizará un ensayo de desgaste de los ángeles.

Límites de atterberg. - se realizará un ensayo para determinar la plasticidad de la arena.

Peso unitario. - se realizará 3 ensayos para determinar su peso unitario y se sacará el promedio.

Tabla N°10: Número de ensayos del agregado fino

Ensayos	Nro. De ensayos
Equivalente de arena (%)	3
peso específico (gr/cm ³)	3
Absorción del agregado fino (%)	3
Durabilidad por ataque con sulfato de sodio (%)	1
Desgaste de los Ángeles (%)	1
Límites de Atterberg (Limite Liquido)	1
Peso unitario (kg/m ³)	3

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Caracterización del cemento asfáltico

Para los ensayos se utilizarán dos cementos asfálticos el betunel y betublex.

Ensayo de Penetración. – se realizarán 3 ensayos para cada cemento asfáltico y se sacara su promedio.

Ensayo de Ductilidad. – se realizarán 3 ensayos de ductilidad para cada cemento asfáltico y se determinara el promedio.

Ensayo de Punto de Ablandamiento. - se realizarán 3 ensayos de punto de ablandamiento y se obtendrá el promedio.

Ensayo de Punto de Inflamación. - se realizarán solo dos ensayos de punto de inflamación y se obtendrá el promedio.

Ensayo de Peso específico. – se realizará solo dos ensayos de peso específico del cemento asfáltico del cual se obtendrá su promedio.

Ensayo de Película Delgada. – se realizará 3 ensayos de película delgada y se obtendrá el promedio.

Tabla N°11: Número de ensayos para el asfalto

Ensayos	Nro. De ensayos
Penetración a 25 °C, 100gr, 0,1mm (T-201)	3
Ductilidad a 25°C 5 cm/min, cm(T-51)	3
Punto De Inflamación Copa Cleverland, °C	2
Punto De Ablandamiento °C (T-53)	3
Peso Específico (gr/cm ³)	2
Ensayo del Residuo (RTFOT) 163 °C	
Película Delgada 163 °C	3
Penetración del Residuo, % de la penetración original	3
Ductilidad a 25°C del Residuo, % de la presentación original	3

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Mezcla asfáltica para determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico

Dosificación. - Con la granulometría de la arena se tiene una dosificación tentativa, con la cual se procederá a pesar 3 briquetas con un porcentaje de cemento asfáltico, ya que no se cuenta con una referencia se buscará tentativamente el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, comenzando con un porcentaje alto de asfalto, por ser una mezcla asfáltica con solo material fino (arena). En la siguiente tabla se muestra las cantidades:

Tabla N°12: Variaciones del porcentaje de cemento asfáltico para obtener el porcentaje óptimo

Porcentaje de cemento asfáltico (%C.A.)	Número de briquetas (Unidad)
8,50%	3
9,00%	3
9,50%	3
10,00%	3
10,50%	3
11,00%	3
total de briquetas elaboradas	18

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Detalle de la investigación

Se pretende realizar el diseño de la mezcla arena-asfalto con dos tipos de cementos asfálticos el betunel 85-100 y el betuflex 60-85, también con dos tipos de arenas una natural y la otra triturada, se realizarán 18 briquetas para encontrar el porcentaje óptimo haciendo variar el porcentaje de 00.5%, comenzando con un porcentaje elevado.

Se realizarán 30 briquetas por diseño para los diferentes tipos de cementos asfálticos y arenas mencionados, con el fin de realizar un análisis estadístico y evaluar las propiedades de esta mezcla en base a la norma IRAM 6845.

3.4. ENSAYOS DE LA ARENA

Los ensayos de caracterización de la arena se los realizan para el respectivo control y verificación del material a utilizar, observando que estos cumplan con la calidad exigida por las normas para su aplicación en el diseño de la mezcla arena-asfalto, además de mostrarnos el comportamiento del material en obra.

3.4.1. Granulometría del agregado fino

Procedimiento. - Pesamos la muestra de masa del agregado fino de 842.6 gramos, para realizar la granulometría realizaremos el método del lavado, por lo que se procederá a lavar la muestra de la arena por el tamiz N°200 mientras le echamos agua movemos la muestra lentamente para eliminar la mayor cantidad de filler.

Una vez realizado el lavado vaciamos la muestra en una fuente para ponerla a secar, ya secada, sacamos el juego de tamices los cuales colocaremos en orden decreciente, estos tamices estarán ordenados de la siguiente manera:

(tapa, 3/4", N°4, N°8, N°30, N°50, N°200 y base)

En este orden se colocó en el Ro-Tap que es el tamizador automático en el cual estuvo unos 10 min tamizando, por lo que se realizó 3 granulometrías para obtener datos confiables.

Figura N°18: Tamizado del agregado fino



Fuente: Elaboración propia

Las granulometrías deben cumplir con lo especificado en la tabla N° 4.

Granulometría de la arena triturada

Tabla N°13: Granulometría de la arena triturada

N°	Origen	3/8"	N°4	N°8	N°30	N°50	N°200
1	Granulometría 1	100,00	99,40	86,20	55,70	30,60	10,20
2	Granulometría 2	100,00	99,30	85,80	57,29	35,89	10,40
3	Granulometría 3	100,00	99,20	85,10	57,10	32,20	10,60
Número de granulometrías realizadas = 3							
Resumen de datos							
Número de datos		3	3	3	3	3	3
Promedio		100,00	99,30	85,70	56,70	32,90	10,40
Dato máximo		100,00	99,40	86,20	57,70	35,89	10,60
Dato mínimo		100,00	99,20	85,10	55,70	30,60	10,20
Desviación estándar		0,00	0,10	0,60	0,90	2,70	0,20

Fuente: Elaboración propia

Granulometría de la arena natural

Tabla N°14: Granulometría de la arena natural

N°	Origen	3/8"	N°4	N°8	N°30	N°50	N°200
1	Granulometría 1	100,00	99,20	88,90	55,60	33,70	7,50
2	Granulometría 2	100,00	98,80	86,90	65,00	36,30	7,50
3	Granulometría 3	100,00	99,00	86,70	77,40	41,60	6,60
Número de granulometrías realizadas = 3							
resumen de datos							
Número de datos		3	3	3	3	3	3
Promedio		100,00	99,00	87,50	66,00	37,20	7,20
Dato máximo		100,00	99,20	88,90	77,40	41,60	8,80
Dato mínimo		100,00	98,80	86,70	55,60	33,70	5,30
Desviación estándar		0,00	0,20	1,20	10,90	4,00	0,50

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Equivalente de arena y agregados finos (ASTEM D 2419)

Procedimiento. - en primer lugar se hace pasar el material por el tamiz N°4 y de este modo tener una muestra representativa.

Con la ayuda de un embudo, se vierte la muestra aproximadamente 40 gr de arena en cilindro graduado, la cual tiene que tener un poco de cloruro de calcio constituida por glicerina, agua destilada y formol, dejando reposar 10 minutos.

Después se agita la muestra durante 30 sg tapando con una mano la parte superior y agitándola a una velocidad rápida y constante, luego se deja en reposo durante 10 min. Colocar el tubo irrigador en la parte superior del cilindro y lavar el material retenido en las paredes del cilindro, mientras se llena con el cloruro de calcio y con el tubo irrigado se los mezcla hasta llegar a la marca de llenado, para luego dejarlo 20 min en reposo.

Al finalizar los 20 min, se ingresa la varilla hasta asentarla en la arena y leer los niveles alcanzados de arena y de suspensión de la arcilla.

Figura N°19: Llenado del tubo con liquido de equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia

Figura N°20: Arena en reposo



Fuente: Elaboración propia

Arena triturada

Tabla N°15: Datos obtenidos del ensayo equivalente de arena con la arena triturada

Ensayo	Lecturas		
Nro. De ensayo	1	2	3
Lectura sedimento arena (inferior)	10.67	10.67	10.922
Lectura suspensión arcilla (superior)	15.24	17.78	17.27
Número de ensayos realizados	3		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Para la realización de los cálculos utilizaremos el promedio

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

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{10.754}{16.764} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = 64.42\%$$

Arena natural

Tabla N°16: Datos obtenidos del ensayo equivalente de arena con la arena natural

Ensayo	Lectura		
	1	2	3
Nro. De ensayo			
Lectura sedimento arena (inferior)	8.64	8.13	9.14
Lectura suspensión arcilla (superior)	15.49	15.24	13.97
Número de ensayos realizados	3		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Para la realización de los cálculos utilizaremos el promedio

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

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{8.67}{14.9} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = 58.18\%$$

3.4.3. Peso específico del agregado fino (ASTM D-128)

Procedimiento. – Se debe homogenizar completamente la muestra y eliminar el material de tamaño superior al tamiz N°4, se selecciona por cuarteo una cantidad aproximada de 1000 gr, se seca en el horno a 100 a 110 °C, se enfría luego al aire libre durante 1 a 3 horas. Una vez fría se sumerge la muestra completamente en agua durante 24 horas.

Después se la seca de forma uniforme, para colocarlo en el molde cónico y después apisonada ligeramente con 15 golpes de la varilla, se retira el cono y si se eliminó la

humedad superficial, la muestra rodara libremente cuando se retire el cono, si la muestra fue secada mucho se rociá con un poco de agua y se espera que repose unos 30 minutos antes de volver a colocarla en el cono.

Posteriormente se introduce la muestra en el matraz y se lo llena con agua a 25 °C, se hace girar el matraz con el fin de sacar el aire, después se llena el matraz hasta el tope con agua enrazando con un vidrio para ser pesado.

Se pesa una muestra de 500 gr y se coloca al horno a secar a una temperatura constante para después volverla a pesar.

Figura N°21: Pesado de muestra + agua + matraz



Fuente: Elaboración propia

Arena triturada

Tabla N°17: Datos obtenidos en el ensayo de peso específico para la arena triturada

Determinación N°	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	Promedio
Ensayo	1,00	2,00	3,00	
Temperatura	25,00	25,00	25,00	
A (Peso en el aire de la muestra seca)	494,20 gr	494,70 gr	494,5 gr	
B (Peso muestra saturada con superficie seca)	500,00 gr	500,00 gr	500,0 gr	
X (Peso del picnómetro + agua + muestra)	980,80 gr	980,40 gr	980,6 gr	
J (Peso del picnómetro + agua)	667,90 gr	667,90 gr	667,9 gr	
Peso muestra sumergida (E = X – J)	313,00	313,00	313,00	
Peso de agua que tiene la muestra (F = B – A)	5,80,00	5,30	5,50	
Diferencia de peso seco y sumergido (H = A – E)	181,00	182,00	182,00	
Diferencia peso saturado y sumergido (I = B – E)	187,00	188,00	187,00	
"G" PESO ESPECIFICO APARENTE (Gr/cm3)	2,726 gr/cm3	2,715 gr/cm3	2,720 gr/cm3	2,720 gr/cm3
"Gb" PESO ESPECIFICO BULK (Gr/cm3)	2,641 gr/cm3	2,638 gr/cm3	2,640 gr/cm3	2,640 gr/cm3
"Gbs" PESO ESPECIFICO BULK S.S.S (Gr/cm3)	2,672 gr/cm3	2,667 gr/cm3	2,670 gr/cm3	2,670 gr/cm3
(%) PORCENTAJE DE ABSORCION	1,17%	1,07%	1,11%	1,12 %
Peso específico =			2,680 gr/cm3	

Fuente: Elaboración propia

Arena natural.

Tabla N°18: Datos obtenidos en el ensayo de peso específico para la arena natural

Determinación N°	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	Promedio	
Ensayo	1,00	2,00	3,00		
Temperatura	25,00	25,00	25,00		
A (Peso en el aire de la muestra seca)	496,20 gr	496,00 gr	496,10 gr		
B (Peso muestra saturada con superficie seca)	500,00 gr	500,00 gr	500,00 gr		
X (Peso del picnómetro + agua + muestra)	1174,60 gr	1174,20 gr	1174,30 gr		
J (Peso del picnómetro + agua)	864,90 gr	864,90 gr	864,90 gr		
Peso muestra sumergida (E = X - J)	310,00	309,00	309,00		
Peso de agua que tiene la muestra (F = B - A)	3,80,00	4,00	3,90		
Diferencia de peso seco y sumergido (H = A - E)	187,00	187,00	187,00		
Diferencia peso saturada y sumergido (I = B - E)	190,00	191,00	191,00		
"G" PESO ESPECIFICO APARENTE (Gr/cm3)	2,661 gr/cm3	2,657 gr/cm3	2,657 gr/cm3		2,658 gr/cm3
"Gb" PESO ESPECIFICO BULK (Gr/cm3)	2,607 gr/cm3	2,601 gr/cm3	2,603 gr/cm3		2,604 gr/cm3
"Gbs" PESO ESPECIFICO BULK S.S.S (Gr/cm3)	2,627 gr/cm3	2,622 gr/cm3	2,623 gr/cm3	2,624 gr/cm3	
(%) PORCENTAJE DE ABSORCION	0,77%	0,81%	0,79%	0,79 %	
			Peso específico	2,631 gr/cm3	

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo se usarán los datos del promedio por ser más representativos que la media.

Fórmulas que se usaron en el cálculo:

$$\text{Peso específico aparente (G)} = \frac{A}{H}$$

$$\text{Peso específico bulk (Gb)} = \frac{A}{I}$$

$$\text{Peso específico bulk s. s. s. (Gbs)} = \frac{B}{I}$$

$$\text{Porcentaje de absorción (Abs)} = \frac{F * 100}{A}$$

3.4.4. Durabilidad por ataque con sulfato de sodio

Procedimiento. – Se coloca a secar una muestra significativa, para después ser tamizado con el fin de obtener una cantidad de 100 g retenidos en los tamices (N°8, N°30, N°50), una vez obtenida esa cantidad se vacía en platos, los cuales serán saturados con la solución de sulfato de sodio mezclada con agua a 25 °C hasta obtener una densidad entre 1.151 gr/cm³-1.174gr/cm³, se lo deja reposando 12 horas, luego se procederá a lavar la muestra con agua levemente con el fin de no dañar el material para después hacerlo secar por 12 horas.

Este procedimiento se repetirá durante una semana, después se procederá a tamizar y pesar la muestra en cada tamiz.

Figura N°22: Agregado fino en solución sulfato de sodio



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°19: Datos obtenidos del ensayo de durabilidad con sulfato de sodio para la arena triturada

N° Tamiz	Densidad sulfato + H2O (kg/cm3)	Peso retenido seco (gr)	Peso (gr) retenido después de 1 semana con sulfato
8	1,62	100,00	98,90
30		100,00	99,60
50		100,00	98,80
Numero de ensayos realizados			1

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°20: Resultados del ensayo durabilidad por ataque con sulfato de sodio de la arena triturada

Agregado fino									
Granulometría				Peso materiales		Perdida	% Pasa al	% Perdida	% Perdida
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material	Antes	Después	Por	Tamiz	Respecto	Respecto
N°	Pasa	Ret.		Ensayo(gr.)	Ensayo(gr.)	Diferencia(gr.)	más fino	Tamiz	Total
3/8"	3/8"	N° 4							
N° 4	N° 4	N° 8	85,70	100,00	99,50	0,50	85,70	0,50	0,43
N° 8	N° 8	N° 30	56,70	100,00	98,70	1,30	56,70	1,30	0,74
N° 30	N° 30	50	32,90	100,00	99,70	0,30	32,90	0,30	0,10
Número de ensayos = 1									
							TOTAL % PERDIDA DE PESO	1,26	
							MAXIMO	10,00	
							PERDIDA TOTAL %	1,26	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°21: Datos obtenidos del ensayo de durabilidad con sulfato de sodio para la arena natural

N° Tamiz	Densidad sulfato + H2O (kg/cm3)	Peso retenido seco (gr)	Peso (gr) retenido después de 1 semana con sulfato
8	1,62	100,00	97,30
30		100,00	98,50
50		100,00	98,00
Numero de ensayos realizados			1

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°22: Resultados del ensayo durabilidad por ataque con sulfato de sodio de la arena natural

Agregado fino									
Granulometría				Peso Materiales		Pérdida	% Pasa al	% Pérdida	% Pérdida
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material	Antes	Después	Por	Tamiz	Respecto	Respecto
N°	Pasa	Ret.		Ensayo(gr.)	Ensayo(gr.)	Diferencia(gr.)	más fino	Tamiz	Muestra Total
3/8"	3/8"	N° 4							
N° 4	N° 4	N° 8	87,50	100,00	97,30	2,70	87,50	2,70	2,36
N° 8	N° 8	N° 30	66,00	100,00	98,50	1,50	66,00	1,50	0,99
N° 30	N° 30	50	37,20	100,00	98,00	2,00	37,20	2,00	0,74
Número de ensayos = 1									
							TOTAL % PERDIDA DE PESO	4,10	
							MAXIMO	10,00	
							PERDIDA TOTAL %	4,10	

Fuente: Elaboración propia

3.4.5. Desgaste de los ángeles del agregado fino (ASTM C-131)

Procedimiento. – En el caso de realizar el desgaste para la arena triturada y arena natural, se realiza un cuarteo de una muestra demostrativa de 5000 gr, el cual estará comprendida por el material que pasa el tamiz N°4 y los que se retiene en el tamiz N°8.

Una vez obtenida la muestra se procede a introducirlo en el aparato del desgaste de los ángeles, en este caso como es arena, el tipo de graduación que se realizará es del tipo D, el cual indica que se usarán solo 6 esferas por un periodo de 15 min.

Una vez de terminar la abrasión se extrae el material de la máquina desgaste de los Ángeles, donde se comienza a tamizar por el tamiz N°12 y se pesa todo el material retenido en el mismo.

Figura N°23: Agregado fino dentro del aparato desgaste de los ángeles



Fuente: Elaboración propia

Figura N°24: Agregado fino después de pasar por el aparato desgaste de los ángeles



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°23: Datos obtenidos del ensayo desgaste de los ángeles para la arena triturada

Pasado	Retenido	Cantidad tomada (gr)
N° 4	N° 8	5000,00
	Retenido tamiz de corte N°12 (1,7 mm)	3398,00
	Diferencia	1602,00
	Número de ensayos realizados	1

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de desgaste:

$$Desgaste = \frac{Diferencia}{5000} * 100$$

$$\text{Desgaste} = \frac{1602}{5000} * 10$$

$$\text{Desgaste} = 32.04 \%$$

Observaciones = Para el diseño de mezclas asfálticas, el desgaste debe ser $\leq 40\%$

Tabla N°24: Datos obtenidos del desgaste de los ángeles para la arena natural

Pasado	Retenido	Cantidad tomada (gr)
N° 4	N° 8	5000,00
Retenido tamiz de corte N°12 (1,7 mm)		2942,00
Diferencia		2058,00
Número de ensayos realizados		1

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de desgaste:

$$\text{Desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$$

$$\text{Desgaste} = \frac{2058}{5000} * 10$$

$$\text{Desgaste} = 41.16$$

Observaciones = Para el diseño de mezclas asfálticas el desgaste debe ser $\leq 40\%$

3.4.6. Límites de Atterberg (límite líquido)

Procedimiento. – Se prepara una muestra representativa que pase por el tamiz N°40, la cual se la coloca en un plato agregándole agua y mezclándolo. Se coloca en el aparato casa grande una cantidad que este casi horizontal, después se realiza un surco con el ranurador, una vez tenido el surco bien definido se procede hacer girar la manivela con frecuencia de dos golpes por segundo, contando el número necesario de golpes para que la ranura se cierre, finalmente se toma una pequeña muestra de suelo húmedo, se coloca en una tara se lo pesa y coloca al horno para su secado y posterior pesado.

Figura N°25: Realizando la ranura en el aparato casa grande



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°25: Datos obtenidos en la práctica de límites de la arena triturada

N° Tara	Peso suelo hum.+tara	Peso suelo seco+tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo seco	% De hum.	N° De golpes
20	43,64	39,59	4,05	22,18	17,41	23,26	4
33	41,42	37,91	3,51	22,17	15,74	22,30	5

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°26: Resultados de la práctica de límites de la arena triturada

Límite Líquido	15,4		Límite Plástico		N.P.	Índice de plasticidad	0,0	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145	
								AASHTO	A - 1a (0)
Coefficiente de uniformidad	47,50	D60=		D30=	8,47	D10=	0,58	Unificada	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°27: Datos obtenidos en la práctica de límites de la arena natural

N° Tara	Peso suelo hum.+tara	Peso suelo seco+tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo seco	% De hum.	N° De golpes
1	44,50	39,50	5,00	18,00	21,50	23,26	5

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°28: Resultados de la práctica de límites de la arena natural

Límite Líquido	19,2		Límite Plástico		N.P.	Índice de plasticidad	0,0	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145	
								AASHTO	A - 1a (0)
Coefficiente de uniformidad	47,50	D60=		D30=	8,47	D10=	0,58	Unificada	

Fuente: Elaboración propia

3.4.7. Peso unitario del agregado fino

Procedimiento. – Se debe sacar una muestra representativa de material para poder sacar su peso unitario a una temperatura ambiente, se prepara la muestra en una bandeja para poder después vaciar en el molde, se precede a pesar el molde y sacar su volumen en caso de que este no cuente con su volumen definido, después de llenar el molde con material suelto haciéndolo caer de unos 5 cm aproximadamente por encima del borde del molde a una velocidad constante, una vez lleno se enrasa el molde con la regla y se procede a pesar el molde más la muestra suelta, posteriormente se llena el molde en tres partes de agregado, la primera capa a 1/3 del molde para poder compactar con la varilla con 25 golpes, se realiza este procedimiento en las tres capas, después se enrasa el molde con la regla para poder pesar el molde más el material compactado.

Figura N°26: Compactado con la varilla de la arena en el molde



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°29: Datos obtenidos en el ensayo de peso unitario para la arena triturada

Ensayo	Volumen del molde (cm ³)	Peso molde (gr)	Peso molde + muestra (gr)	Peso molde + muestra compactada (gr)
Ensayo 1	3369,00	1475,00	6742,00	7441,00
Ensayo 2			6753,00	7465,00
Ensayo 3			6760,00	7453,00
Número de ensayos realizados			3	

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar los cálculos se usará el promedio. 7453gr

Calculo:

Precio unitario suelto

$$PUC = \frac{\text{Peso Muestra compactada}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$PUC = \frac{7453 - 1475}{3369}$$

$$PUC = 1.774 \text{ gr/cm}^3$$

$$PUC = 1774,00 \text{ Kg/m}^3$$

Tabla N°30: Datos obtenidos en el ensayo de peso unitario para la arena natural

Ensayo	Volumen del molde (cm ³)	Peso molde (gr)	Peso molde + muestra (gr)	Peso molde + muestra compactada (gr)
Ensayo 1	2901,07	2695,00	7385,00	7820,00
Ensayo 2			7340,00	7815,00
Ensayo 3			7380,00	7830,00
Número de ensayos realizados			3	

Fuente: Elaboración propia

Para realizar los cálculos se usará el promedio. 7821.67gr

Calculo:

Precio unitario suelto

$$PUC = \frac{\text{Peso Muestra compactada}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$PUC = \frac{7821.67 - 2695}{2901.07}$$

$$PUC = 1.767\text{gr/cm}^3$$

$$PUC = 1767,00 \text{ Kg/m}^3$$

3.4.8. Resultados del agregado fino

Se presenta los siguientes resultados, los mismos que son comparados con su respectiva especificación exigida por la norma.

Tabla N°31: Resultados de caracterización de la arena triturada y arena natural comparadas con la norma

Ensayos	Especificación		Resultados arena triturada	Resultados arena natural	Norma
	Mínimo	Máximo			
Equivalente de arena (%)	50	-	64,42	58.18	IRAM 1682
peso específico (gr/cm ³)	-		2,68	2,631	ASTM D-128
Absorción del agregado fino (%)	-	1,2	1,12	0,79	IRAM 1520
Durabilidad por ataque con sulfato de sodio (%)	-	10	1,26	4,10	IRAM 1525
Desgaste de los Ángeles (%)	-	40	32,04	41,16	ASTM E-131
Límites de Atterberg (Limite Liquido)	No plástico				IRAM 10501
Peso unitario (kg/m ³)	-		1774,00	1767,00	ASTM C-29

Fuente: Elaboración propia

3.5. ENSAYO EN EL LIGANTE ASFÁLTICO

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

3.5.1. Ensayo de penetración (ASTM D-5)

Procedimiento. - Se separarán con una espátula caliente unos 400 a 500 gramos de material que se colocarán en un recipiente, se calienta cuidadosamente hasta que esté fluido, se lo coloca en 3 moldes. Se lo deja enfriar de 30 a 40 min a temperatura ambiente y se lo pone a baño María por otro tiempo de 30 a 40 min a una temperatura de 25°C.

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

Figura N°27: Aparato de penetración con la muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°32: Datos obtenidos del ensayo de penetración para el C.A.85-100

Ensayo		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Penetración a 25 °C, 100 s. 5 seg(0,1mm)	lectura 1	mm	90,00	87,00	91,00
	lectura 2	mm	90,00	91,00	89,00
	lectura 3	mm	92,00	88,00	90,00
Numero de ensayos realizados		3			

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

Calculamos la media de los ensayos realizados.

Resultado = 89.78 mm

Tabla N°33: Datos obtenidos del ensayo de penetración para el C.A.60-85

Ensayo		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Penetración a 25 °C, 100 s. 5 seg(0,1mm)	lectura 1	mm	58,00	53,00	47,00
	lectura 2	mm	53,00	48,00	49,00
	lectura 3	mm	56,00	51,00	50,00
Numero de ensayos realizados		3			

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

Calculamos la media de los ensayos realizados.

Resultado = 51.67 mm

3.5.2. Ensayo de ductilidad (ASTM D-113)

Procedimiento. - El material asfáltico se calienta cuidadosamente, agitándolo hasta que esté lo suficientemente fluido para verterlo en los moldes.

Antes de vaciar el asfalto en los moldes se cubre con una solución preparada de talco con vaselina, la cual se prepara en un plato aparte hasta que tenga una consistencia pastosa, para cubrir los moldes con ello en las partes que serán desmoldadas, evitando colocar en los cabezales los cuales sujetaran la muestra para su estiramiento.

Se vierte el material en forma de chorro fino en un recorrido alternativo de extremo a extremo, hasta que se llene completamente y con un ligero exceso, evitando la inclusión de burbujas de aire.

Se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 a 40 minutos, sumergiéndola a continuación en baño maria a una temperatura de 25°C durante otros 30 minutos. A continuación, se retira la placa del molde, se quitan las piezas laterales y se da comienzo al ensayo.

Se pone en marcha el ductilímetro, el mecanismo de arrastre del ensayo a la velocidad especificada, hasta que se produzca la rotura midiéndose la distancia en cm que se haya separado ambas pinzas hasta ese instante.

El material asfáltico entre las pinzas se va paulatinamente estirando hasta formar un hilo, produciéndose la rotura en un punto en el que el hilo no tiene ya sección transversa.

Figura N°28: Muestra en proceso de estirado para la ductilidad



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°34: Datos obtenidos del ensayo de ductilidad para el C.A. 85-100

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Ductilidad a 25 °C AASHTO T- 51	cm	119,00	128,00	123,00
Numero de ensayos realizados		3		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculamos la media de los ensayos realizados

Resultados = 123,00 cm 25°C

Tabla N°35: Datos obtenidos del ensayo de ductilidad para el C.A.-60-85

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Ductilidad a 25 °C AASHTO T- 51	cm	105,00	100,00	111,00
Numero de ensayos realizados		3		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculamos la media de los ensayos realizados

Resultados = 105,00 cm 25°C

3.5.3. Ensayo de punto de inflamación (ASTM D-92)

Procedimiento. - Llenar la copa con el cemento asfáltico y se aplica calor inicialmente de tal manera que se incremente la temperatura. Cuando la temperatura de la muestra este por debajo del punto de llama esperado, se disminuye el calor de manera que la temperatura se aumente, para los últimos 28°C (50°F) antes de llegar al punto de inflamación.

Pasar la llama de ensayo a través del centro de la copa. Se registra como punto de inflamación, la lectura de temperatura sobre el termómetro cuando aparezca una llama en cualquier punto sobre la superficie

Figura N°29: Punto de inflamación en proceso de ejecución



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°36: Datos obtenidos del ensayo de punto de inflamación para el C.A.85-100

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	263,00	258,00	261,00
Número de ensayos realizados		3		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculamos la media de los ensayos realizados

Resultados = 261,00°C

Tabla N°37: Datos obtenidos del ensayo punto de inflamación para el C.A.60-85

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	273,00	284,00	276,00
Número de ensayos realizados		3		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculamos la media de los ensayos realizados

Resultados = 278,00°C

3.5.4. Ensayo de peso específico (ASTM D-70)

Procedimiento. - Se limpia el picnómetro para su calibración, esta operación de limpieza debe realizarse antes de cada calibración

Después de secado, se deja que el picnómetro alcance la temperatura ambiente y se pesa con aproximación de 1 mg. El peso del picnómetro vacío, el peso del picnómetro lleno de agua.

Preparación de la muestra. - Calentar con cuidado la muestra, hasta que sea fluida para que pueda ser vertida.

Verter una cantidad de muestra suficiente dentro del picnómetro limpio y seco previamente calentado, llenándolo hasta tres cuartos de su capacidad. Dejar enfriar el picnómetro con su contenido hasta temperatura ambiente, pesando del picnómetro con la muestra.

Llenar el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada, colocando firmemente el tapón en el picnómetro. Colocar el picnómetro en el vaso y apretar firmemente el tapón. Retornar luego el vaso al baño de agua a 25° C.

Mantener el picnómetro dentro del baño de agua durante un período no menor de 30 minutos. Sacar y pesar.

Figura N°30: Peso específico del cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°38: Datos obtenidos en el ensayo de peso específico para el C.A.85-100

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio
Peso Picnómetro	gr.	38,07	38,07	
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr.	62,87	62,87	
Peso Picnómetro + Muestra	gr.	53,04	55,95	
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr.	62,98	63,02	
Peso Específico	gr./cm ³	1,0045	1,0055	1,005

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

Peso específico del cemento asfáltico =

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

$$\text{Peso Esp. del CA.} = \frac{53.04 - 38.07\text{gr}}{((62.87\text{gr}) + (53.04\text{gr} - 38.07\text{gr})) - (62.98)} * 0,997077$$

$$\text{Peso Esp. del CA.} = 1,0045 \text{ gr/cm}^3$$

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

Resultado:

$$\text{Peso específico del CA}=1,0055 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico promedio} = 1.005 \text{ g/cm}^3$$

Tabla N°39: Datos obtenidos en el ensayo peso específico para el C.A.60-85

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio
Peso Picnómetro	gr.	38,07	38,07	
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr.	62,87	62,87	
Peso Picnómetro + Muestra	gr.	55,28	52,60	
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr.	62,87	63,00	
Peso Específico	gr./cm ³	0,997	1,006	1,002

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

Peso específico del cemento asfáltico =

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

$$\text{Peso Esp. del CA.} = \frac{55.96 - 38.07\text{gr}}{((62.87\text{gr}) + 55.96\text{gr} - 38.07\text{gr}) - (62.87)} * 0,997077$$

$$\text{Peso Esp. del CA.} = 0.997 \text{ gr/cm}^3$$

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

Resultado:

Peso específico del CA=1,006 gr/cm³

$$\text{Peso específico promedio} = 1.002\text{g/cm}^3$$

3.5.5. Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D-36)

Procedimiento. - Calentar el asfalto hasta que esté fluido, y vaciar a los anillos en caso de tener mucho exceso enrazarlo para eliminar el asfalto sobrante y dejar reposar el aire libre unos 20 min.

Ensamblar el aparato con los anillos, el termómetro y las guías para centrar las bolas en posición, llenar el frasco con agua fresca con 5 ± 1 °C a una profundidad no menor a 100 mm ni mayor a 110 mm, mantener los anillos con las esferas de acero y las guías centradoras en el agua fría en un periodo de 15 min.

Una vez pasado ese tiempo empezar a subir la temperatura de forma uniforme aproximadamente 5 °C por min, tomar en cuenta en que momento caen las esferas de acero hasta la placa inferior y anotar la temperatura en el momento q llegaron al fondo.

Figura N°31: Esferas tocando el fondo de la base



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°40: Datos obtenidos del ensayo punto de ablandamiento para el C.A.85-100

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
esfera 1	°C	43,00	41,00	44,00
esfera 2		44,00	42,00	44,00
Número de ensayos realizados		3		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculamos la media de los ensayos realizados

Resultados = 43°C

Tabla N°41: Datos obtenidos del ensayo punto de ablandamiento para el C.A.60-85

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
esfera 1	°C	75,00	74,00	76,00
esfera 2		76,00	75,00	77,00
Número de ensayos realizados		3		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculamos la media de los ensayos realizados

Resultados = 76,00°C

3.5.6. Ensayo de película delgada (ASTM D-1754)

Procedimiento. – Se calienta el asfalto hasta que este fluido para poder vaciar el asfalto en los platos planos circulares, vaciar un peso de 60 gr de cemento asfáltico en los platos.

Una vez teniendo los platos pesados con el asfalto, colocar estos en el horno que es capaz de rotar los platos, se lo deja en el horno a una temperatura de 163 °C por un periodo de 5 horas.

Una vez concluido este tiempo sacar los platos del horno y volver a pesar las muestras para ver la pérdida que hubo, para después volver a realizar los ensayos de penetración y ductilidad.

Figura N°32: Muestras en el horno rotatorio



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°42: Datos obtenidos del ensayo de película delgada para el C.A.85-100

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
peso antes de entrar al horno	gr	60,00	60,00	60,00
peso después de 5 hrs en el horno		59,70	59,50	59,40
Número de ensayos realizados		3		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculamos la media de los ensayos realizados

Resultados = 0.78 gr

Tabla N°43: Datos obtenidos del ensayo de penetración después de realizar el ensayo de película delgada para el C.A. 85-100

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Penetración a 25 °C, 100 s. 5 seg(0,1mm)	lectura 1 mm	58,00	56,00	57,00
Numero de ensayos realizados		1		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculamos la media de los ensayos realizados

Resultados = 63,00%

Tabla N°44: Datos obtenidos del ensayo de película delgada para el C.A.60-85

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
peso antes de entrar al horno	gr	60,00	60,00	60,00
peso después de 5 hrs en el horno		59,80	59,70	59,90
Número de ensayos realizados		3		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculamos la media de los ensayos realizados

Resultados = 0.33 gr

Tabla N°45: Datos obtenidos de ensayo de penetración después de realizar el ensayo de película delgada para el C.A.60-85

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Penetración a 25 °C, 100 s. 5 seg(0,1mm)	lectura 1 mm	38,00	35,00	40,00
Numero de ensayos realizados		1		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculamos la media de los ensayos realizados

Resultados = 73,00%

3.5.7. Resultados de los ensayos realizados al cemento asfáltico

Los resultados del C.A.85-100 deben cumplir con las especificaciones indicadas en la tabla 6.

Tabla N°46: Resultados del C.A. 85-100

Ensayos	Especificación		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Penetración a 25 °C, 100gr, 0,1mm (T-201)	85	100	89.78	ASTM D-5
Ductilidad a 25°C 5 cm/min, cm(T-51)	100	-	123,00	ASTM D-113
Punto De Inflamación Copa Cleverland, °C	232	-	261,00	ASTM D-1310
Punto De Ablandamiento °C (T-53)	43	46	43,00	ASTM D-36
Peso Específico (gr/cm3)	1	1,05	1.005	ASTM D-70
Ensayo del residuo (RTFOT) 163 °C				
Película Delgada 163 °C	-	1	0.78	ASTM D-2872
Penetración del Residuo, % de la penetración original	50	-	63,00	ASTM D-5

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del C.A.60-85 deben cumplir con las especificaciones indicadas en la tabla 6.

Tabla N°47: Resultados del C.A. 60-85

Ensayos	Especificación		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Penetración a (100gr, 5 s,25 °C)	40	70	51.67	ASTM D-5
Ductilidad a 25°C 5 cm/min, cm	100	-	105,00	ASTM D-113
Punto De Inflamación Copa Cleverland, °C	235	-	278,00	ASTM D-1310
Punto De Ablandamiento °C	60	-	76,00	ASTM D-36
Peso Específico (gr/cm3)	-	-	1.002	ASTM D-70
Ensayo del residuo (RTFOT) 163 °C				
Película Delgada 163 °C	-	1	0.33	ASTM D-2872
Penetración del Residuo, % de la penetración original	60	-	73,00	ASTM D-5

Fuente: Elaboración propia

3.6. DISEÑO DE LA MEZCLA ARENA-ASFALTO

Para la determinación del contenido óptimo del cemento asfáltico se procede a realizar el diseño de briquetas mediante el método Marshall, con porcentajes diferentes de cemento asfáltico para conocer el porcentaje óptimo a utilizar, se comenzará con un porcentaje alto de cemento asfáltico, porque es una mezcla con puro agregado fino por lo que solicitara mayor asfalto.

Se utilizará para el diseño una arena triturada y una arena natural propios de nuestro medio, como también se hará el uso del asfalto BETUNEL 85-100 y BETUFLEX 60-85 que son los que se usan para la construcción de pavimentos de nuestra ciudad.

Una vez determinado el contenido óptimo se realizarán 30 briquetas con esa cantidad de asfalto para realizar el análisis estadístico, para su evaluación correspondiente.

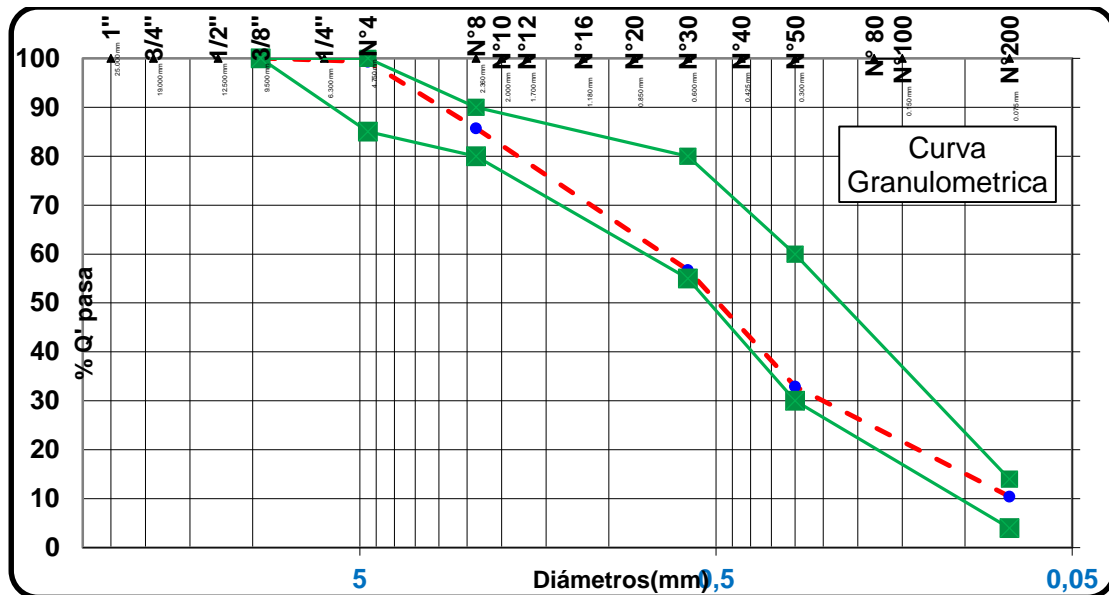
3.6.1. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA CON ARENA TRITURADA

Tabla N°48: Granulométrica para diseñar la mezcla arena-asfalto

Agregado		% Que pasa	Faja	
% Usado	Tamices		Especif. Grad. Media	
Pulg.	mm		Inf.	Sup.
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"	9,50	100,00	100,00	100,00
N°4	4,75	99,30	85,00	100,00
N°8	2,36	85,70	80,00	90,00
N°30	0,60	56,70	55,00	80,00
N°50	0,30	32,90	30,00	60,00
N°200	0,08	10,40	4,00	14,00

Fuente: Elaboración propia

Figura N°33: Faja de trabajo para una mezcla arena-asfalto



Fuente: Faja granulométrica según la norma IRAM-1505

3.6.1.1. Preparación de las probetas

- Para la dosificación de las probetas se utilizó la granulometría ya calculada anteriormente:
- Para determinar el contenido óptimo de asfalto se prepararán grupos de briquetas para la mezcla del agregado, de forma que en las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido, cada grupo con diferente contenido de asfalto. Este contenido variará con incrementos de 0.5% de un grupo a otro grupo.

1. Porcentaje de cemento asfáltico 8.5%

Tabla N° 49: Dosificación con cemento asfáltico 8.5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	8,50%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,30	0,70	0,70	7,69	7,69
N°8	85,70	14,30	13,60	149,34	157,02
N°30	56,71	43,29	28,99	318,35	475,37
N°50	32,90	67,10	23,81	261,40	736,78
N°200	10,40	89,60	22,50	247,07	983,85
Filler	0,00	100,00	10,40	114,15	1098,0
Peso Total=				1098,00	
N° de briquetas a realizar con la dosificación = 3					

Fuente: Elaboración propia

Unidad	gr
Peso muestra=	1098,00
Peso asfalto=	102,00
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

2. Porcentaje de cemento asfáltico 9 %

Tabla N°50: Dosificación con cemento asfáltico 9%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	9,00%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,30	0,70	0,70	7,65	7,65
N°8	85,70	14,30	13,60	148,52	156,17
N°30	56,71	43,29	28,99	316,61	472,78
N°50	32,90	67,10	23,81	259,98	732,75
N°200	10,40	89,60	22,50	245,72	978,47
Filler	0,00	100,00	10,40	113,53	1092,0
Peso Total=				1092,0	
N° de briquetas a realizar con la dosificación = 3					

Fuente: Elaboración propia

Unidad	gr
Peso muestra=	1092,00
Peso asfalto=	108,00
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

3. Porcentaje de cemento asfáltico 9.5 %

Tabla N°51: Dosificación con cemento asfáltico de 9.5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	9,50%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,30	0,70	0,70	7,60	7,60
N°8	85,70	14,30	13,60	147,70	155,31
N°30	56,71	43,29	28,99	314,87	470,18
N°50	32,90	67,10	23,81	258,55	728,73
N°200	10,40	89,60	22,50	244,37	973,10
Filler	0,00	100,00	10,40	112,90	1086,0
Peso Total=				1086,0	
N° de briquetas a realizar con la dosificación					
= 3					

Fuente: Elaboración propia

Unidad	gr
Peso muestra=	1086,00
Peso asfalto=	114,00
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

4. Porcentaje de cemento asfáltico 10 %

Tabla N°52: Dosificación con cemento asfáltico de 10%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	10,00%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,30	0,70	0,70	7,56	7,56
N°8	85,70	14,30	13,60	146,89	154,45
N°30	56,71	43,29	28,99	313,13	467,58
N°50	32,90	67,10	23,81	257,12	724,70
N°200	10,40	89,60	22,50	243,02	967,72
Filler	0,00	100,00	10,40	112,28	1080,0
Peso Total=				1080,0	
N° de briquetas a realizar con la dosificación = 3					

Fuente: Elaboración propia

unidad	gr
Peso muestra=	1080,00
Peso asfalto=	120,00
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

5. Porcentaje de cemento asfáltico 10.5 %

Tabla N°53: Dosificación con cemento asfáltico 10.5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	10,50%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,30	0,70	0,70	7,52	7,52
N°8	85,70	14,30	13,60	146,07	153,59
N°30	56,71	43,29	28,99	311,39	464,98
N°50	32,90	67,10	23,81	255,69	720,67
N°200	10,40	89,60	22,50	241,67	962,34
Filler	0,00	100,00	10,40	111,66	1074,0
Peso Total=				1074,0	
N° de briquetas a realizar con la dosificación =				3	

Fuente: Elaboración propia

Unidad	gr
Peso muestra=	1074,00
Peso asfalto=	126,00
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

6. Porcentaje de cemento asfáltico 11 %

Tabla N°54: Dosificación con cemento asfáltico de 11%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	11,00%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,30	0,70	0,70	7,48	7,48
N°8	85,70	14,30	13,60	145,26	152,73
N°30	56,71	43,29	28,99	309,65	462,39
N°50	32,90	67,10	23,81	254,26	716,65
N°200	10,40	89,60	22,50	240,32	956,97
Filler	0,00	100,00	10,40	111,03	1068,0
Peso Total=				1068,0	
N° de briquetas a realizar con la dosificación = 3					

Fuente: Elaboración propia

Unidad	gr
Peso muestra=	1068,00
Peso asfalto=	132,00
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

Las tablas vistas anteriormente nos muestran las cantidades del agregado y cemento asfáltico a utilizar para realizar las briquetas y obtener los diferentes puntos, de esta

manera poder obtener mediante una gráfica un porcentaje óptimo de cemento asfáltico para el diseño de la mezcla asfáltica.

3.6.2. DISEÑO MARSHALL CON ARENA TRITURADA Y CEMENTO ASFÁLTICO BETUNEL 85-100

3.6.2.1. Ensayo de viscosidad vs temperatura para la elaboración de mezclas asfálticas con el cemento asfáltico 85-100

Ensayo de viscosidad vs temperatura del cemento asfáltico 85-100

El ensayo de viscosidad vs temperatura se lo realiza al cemento asfáltico 85-100, haciendo variar las temperaturas para poder conocer la temperatura de aplicación y la temperatura de compactación.

ENSAYO DE VISCOSIDAD - TEMPERATURA

Tabla N°55: Variación de temperatura vs viscosidad para C.A.85-100

Punto	Temperatura (°C)	Viscosidad (seg)
1	125	190
2	135	140
3	145	112
4	155	97

Fuente: Elaboración propia.

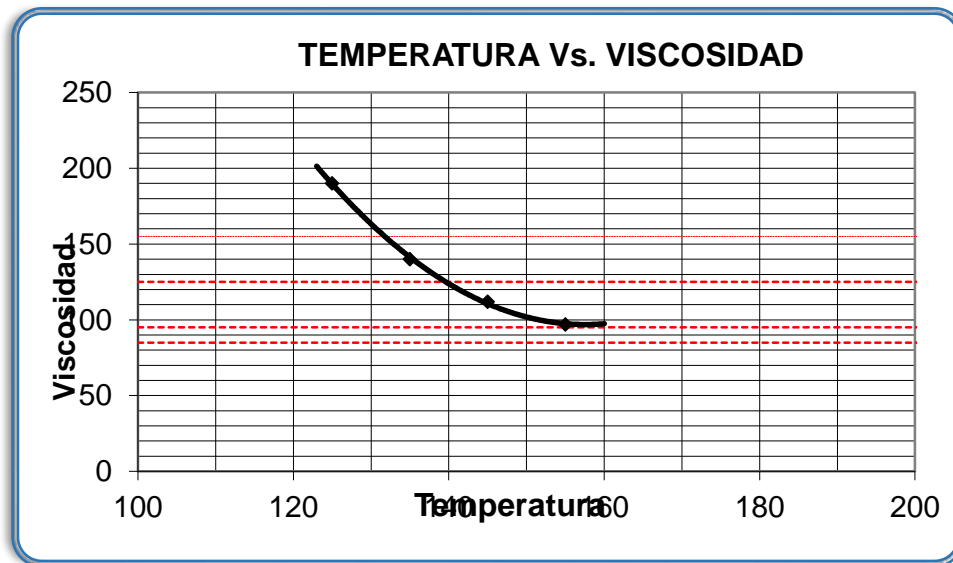
a).- Aplicación.- Específica: Viscosidad 85 - 95 Saybolt Furol

Temperatura 156 y 162 °C

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

Temperatura 130 y 140 °C

Figura N°34: Análisis de la temperatura vs viscosidad de C.A. 85-100



Fuente: Elaboración propia

En el ensayo de viscosidad - temperatura del cemento asfáltico podemos observar la temperatura óptima de aplicación donde se podrá mezclar el agregado y el cemento asfáltico y también se observa la temperatura óptima de compactado con el martillo a 50 golpes para tráfico liviano.

3.6.2.2. Desarrollo de las briquetas

Equipo:

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

- Asfalto 85-100

Procedimiento:

Antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpian y calientan a una temperatura entre 100 y 150°C. Por un lado, se pesan en bandeja separadas las diversas fracciones del áridos calculado para un grupo de briquetas, luego cada bandeja es colocada en la placa de calentamiento para calentar su contenido a una temperatura de 175 a 190 °C. Por otro lado, se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 a 137°C.

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

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

Figura N°35: Arena tamizada para la dosificación



Fuente: Elaboración propia

Se mezcla el asfalto con los agregados, hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 130°C.

Figura N°36: Mezclado de la arena y asfalto



Fuente: Elaboración propia

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

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

Figura N°37: Golpeando con el martillo 50 golpes por cara



Fuente: Elaboración propia

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 50 golpes por cada cara de la briqueta en la compactación, proyectadas para vías de tráfico liviano y se fabricaron 18 briquetas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.

Figura N°38: Briquetas desmoldadas



Fuente: Elaboración propia

3.6.2.3. Ensayo de estabilidad y fluencia

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

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

Después se miden los pesos de cada briqueta peso seco, el peso sumergido, peso superficie seca saturada después de estar en el agua un periodo razonable de unos 15 min aproximadamente.

Figura N°39: Peso sumergido de la briqueta



Fuente: Elaboración propia

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

Figura N°40: Briquetas sumergidas a 60 °C



Fuente: Elaboración propia

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

Se coloca la briqueta en las mordazas y aplica la carga, a una velocidad de deformación constante de 50.8 mm por minuto (2" / minuto) hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60 °C (150 °F) se anota como valor de estabilidad Marshall.

Mientras se realiza el ensayo de Estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (Flujo) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se

obtiene la carga máxima; se lee y anota esta lectura como valor de flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.

Figura N°41: Ensayo Marshall estabilidad y fluencia



Fuente: Elaboración propia

Figura N°42: Briquetas después de pasar por la prensa Marshall



Fuente: Elaboración propia

3.6.2.4. Desarrollo de la planilla

Se realiza un cálculo demostrativo para la briqueta con porcentaje de cemento asfáltico de 8.5 %

a) Identificación

Las briquetas 1, 2, 3 serán las que analizaremos en el documento:

b) Altura de la briqueta

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 8.5% sus alturas correspondientes son las siguientes:

Tabla N°56: Altura briqueta C.A.85-100 con arena triturada

Identificación	Altura briqueta (cm)
1	6,80
2	6,72
3	6,75

Fuente: Elaboración propia

c) Porcentaje de asfalto.

1.c). Base de agregado

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

$$\text{Base de agregado} = \frac{8.5 * 100}{100 - 8.5}$$

$$\text{Base de agregado} = 9.29$$

2.c). Base de la mezcla

Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 8.5%

d) Peso de la biqueta en el aire

El peso de la biqueta en el aire se lo calcula cuando se desmolda la biqueta cuyos datos son los siguientes:

Tabla N°57: Biqueta en el aire C.A.85-100 con arena triturada

Identificación	Peso biqueta en el aire (gr)
1	1203,90
2	1196,20
3	1194,00

Fuente: Elaboración propia

e) Peso de la biqueta en el aire saturado superficialmente seco (SSS)

El peso de la biqueta SSS se lo calcula saturando la biqueta en el agua durante 30 min a 25°C y secándola superficialmente.

Tabla N°58: Peso biqueta en el aire S.S.S. C.A.85-100 con arena triturada

Identificación	Peso biqueta en el aire S.S.S. (gr)
1	1204,50
2	1197,50
3	1196,00

Fuente: Elaboración propia

f) Peso de la biqueta sumergida en el agua

El peso sumergido, se lo calcula cuando se sumerge la briqueta en el agua a 25 °C durante 30 minutos cuyos datos de la briqueta son los siguientes:

Tabla N°59: Peso briqueta sumergida C.A.85-100 con arena triturada

Identificación	Peso briqueta sumergida (gr)
1	655,70
2	655,00
3	655,20

Fuente: Elaboración propia

g) Volumen de la briqueta

Vol. de briq. = Peso briq. en el aire SSS – Peso briq. sumergida

$$\text{Vol. de briq.} = 1204,50\text{gr} - 655,70 \text{ gr}$$

$$\text{Vol. de briq.} = 548,80 \text{ gr.}$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

h) Densidad de la briqueta

1h) Densidad real de la briqueta

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

$$D \text{ real} = \frac{1203,90\text{gr}}{548,80 \text{ cm}^3}$$

$$D \text{ real} = 2,194\text{gr/cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

Se calcula para la briqueta 2 y 3, volumen de briqueta y densidad real.

se saca el promedio de la densidad real.

Densidad promedio = 2.202 gr/cm³

2h) Densidad máxima teórica de la briqueta

$$D \text{ maxt} = \left(\frac{\% \text{ de asfalto}}{\text{peso esp. asfalto}} \right)^{100} + \left(\frac{100 - \% \text{ asfalto}}{\text{Peso esp. agre. grueso}} \right)$$

$$D \text{ maxt} = \frac{100}{\left(\frac{8.50}{1.005 \text{ gr/cm}^3} \right) + \left(\frac{100 - 8.50}{2.680 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} \right)}$$

$$D_{\text{max t}} = 2.347 \text{ gr/cm}^3$$

i) Porcentaje de vacíos

1i) Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

$$Vv = \left(\frac{\text{Dens. briq. max. teórica} - \text{Dens. briq. promedio}}{\text{Densidad briqueta máxima teórica}} \right) * 100$$

$$Vv = \left(\frac{2,347 \text{ gr/cm}^3 - 2.202 \text{ gr/cm}^3}{2.347 \text{ gr/cm}^3} \right) * 100$$

$$Vv = 6.19\%$$

2i) Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM)

$$VAM = \left(\frac{\% \text{ de asfalto} * \text{Densidad briq. promedio}}{\text{Peso específico de asfalto}} \right) + \% \text{ de vacíos (Vv)}$$

$$\text{VAM} = \left(\frac{8.5 * 2,202 \text{ gr/cm}^3}{1,005 \text{ gr/cm}^3} \right) + 6.19\%$$

$$\text{VAM} = 24,81\%$$

3i) Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)

$$\text{RBV} = \left(\frac{\text{VAM} - V_v}{\text{VAM}} \right) * 100$$

$$\text{RBV} = \left(\frac{24.81 - 6.19}{24.81} \right) * 100$$

$$\text{RBV} = 67,05\%$$

j) Estabilidad y fluencia

La estabilidad y fluencia se determina después de realizar el ensayo en la prensa Marshall.

Tabla N°60: Estabilidad y fluencia lecturada C.A. 85-100 con arena triturada

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad	Fluencia 1/100
1	78,00	7,00
2	76,00	7.50
3	80,00	7,00

Fuente: Elaboración propia

Se realiza con la corrección con la fórmula de calibración de la prensa Marshall:

$$\text{Estabilidad} = \text{Lectura (dial)} * \text{factor del aro} * 2.2046$$

Factor del aro = 11.19

Estabilidad corregida para C1

$$\text{Estabilidad} = 78 * 11.19 * 2.2046$$

$$\text{Estabilidad} = 1924.20 \text{ Lb}$$

Resumen de la estabilidad corregida para las briquetas de identificación 1, 2,3

Tabla N°61: Estabilidad real C.A.85-100 con arena triturada

	Lectura
Identificación	real(lb)
1	1924.20
2	1598,90
3	1774,50

Fuente: Elaboración propia

Sacando la media

$$\text{Estabilidad}_{\text{media}} = \frac{C1 + C2 + C3}{3}$$

$$\text{Estabilidad}_{\text{media}} = \frac{1924,20\text{b} + 1874,90\text{Lb} + 11973,60\text{Lb}}{3}$$

$$\text{Estabilidad}_{\text{media}} = 1924,20 \text{ Lb}$$

Factor de corrección de la altura (mm).- El factor de corrección de la altura de la briqueta se lo realiza con la tabla de correcciones que se halla en los anexos.

Tabla 62: Factor de corrección de la estabilidad C.A. 85-100 con arena triturada

Identificación	factor de corrección (altura)
1	0,898
2	0,918
3	0,910

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Factor}_{\text{media}} = \frac{0,898 + 0,918 + 0,910}{3}$$

$$\text{Factor}_{\text{media}} = 0,908$$

Estabilidad corregida para cada probeta.

$$\text{Estabilidad corregida} = 1924,20\text{Lb} * 0,908$$

$$\text{Estabilidad corregida} = 1747,20\text{Lb}$$

3.6.2.5 Relación estabilidad fluencia

Para encontrar la relación estabilidad fluencia se usa siguiente ecuación.

$$\text{Relacion (est./fluen).} = \frac{\text{Estabilidad (Kg)}}{\text{Fluencia (cm)} * \frac{1}{100}}$$

$$\text{Relación (est./fluen).} = \frac{1747.20 \text{ lb} * 0.45}{7.17 \text{ in} * \frac{1}{100} * 2.54}$$

$$\text{Relación (est./flen).} = 4351,74\text{kg/cm}$$

Nota. - De igual manera se procede a realizar los mismos cálculos para los siguientes datos de estabilidad y fluencia de las demás briquetas.

Obtenido todos estos valores como se indican en la Tabla 54 y Tabla 55 se procedió a dibujar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones:

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

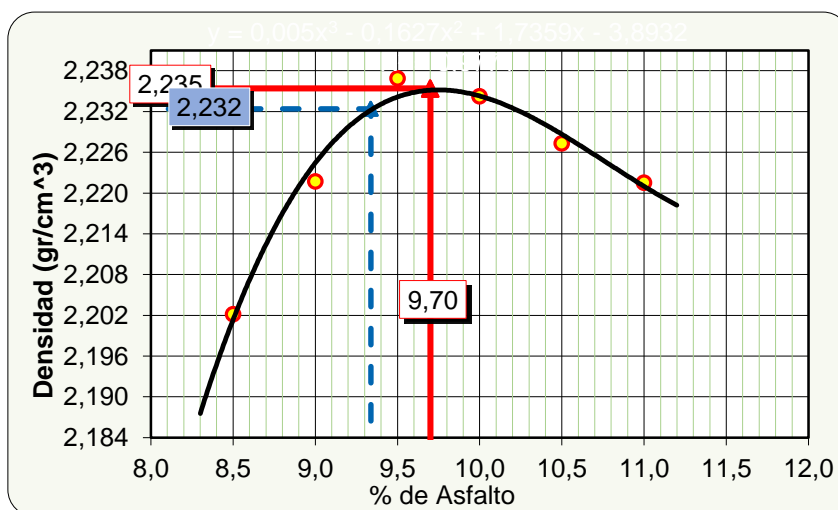
3.6.2.6. Resultados del diseño Marshall con varios porcentajes de contenido de cemento asfáltico 85-100

	% de Asfalto	Vacíos en la mezcla (%)	Vacíos del agregado mineral (VAM) (%)	Relación betún-vacíos (%)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia (in)	Relación estabilidad fluencia 2500-4000 (kg/cm)
b1	8,50	6,19	24,81	67,06	1747,20	7,17	4351,74
b2							
b3							
b4	9,00	4,67	24,56	73,00	1900,20	9,47	3583,35
b5							
b6							
b7	9,50	3,32	24,46	78,43	1804,80	11,13	2895,83
b8							
b9							
b10	10,00	2,74	24,97	81,04	1604,40	13,13	2182,16
b11							
b12							
b13	10,50	2,35	26,62	82,84	1414,30	14,77	1710,02
b14							
b15							
b16	11,00	1,91	26,23	84,72	1208,40	17,27	1249,56
b17							
b18							

Fuente: Elaboración propia

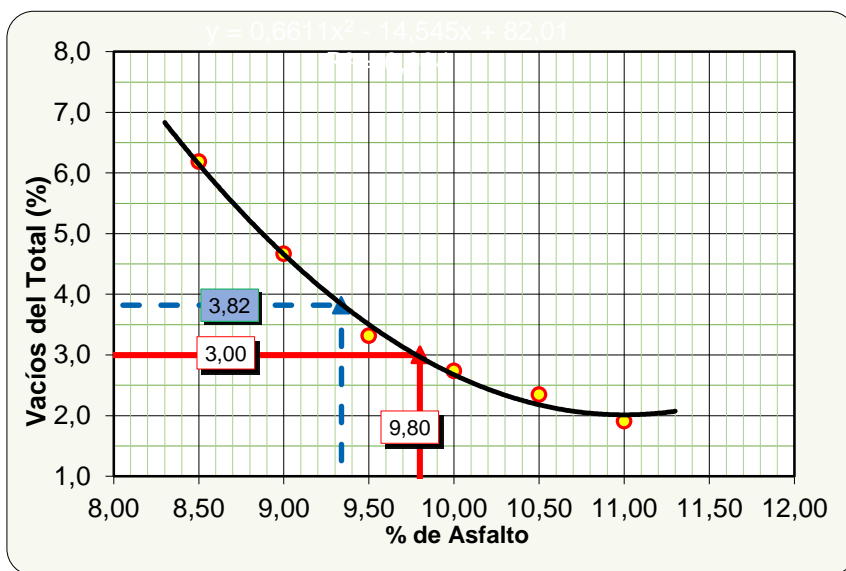
3.6.2.7. Gráficos de ensayos Marshall // cemento asfáltico 85-100

Figura N°43: Porcentaje de asfalto vs densidad de la probeta (C.A.85-100 con arena triturada)



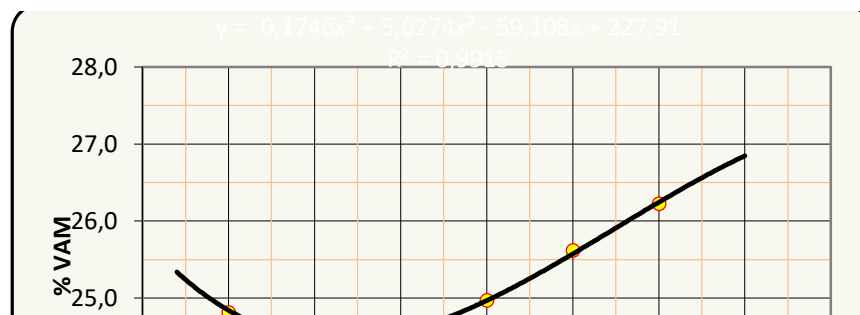
Fuente: Elaboración propia

Figura N°44: Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total (C.A. 85-100 con arena triturada)



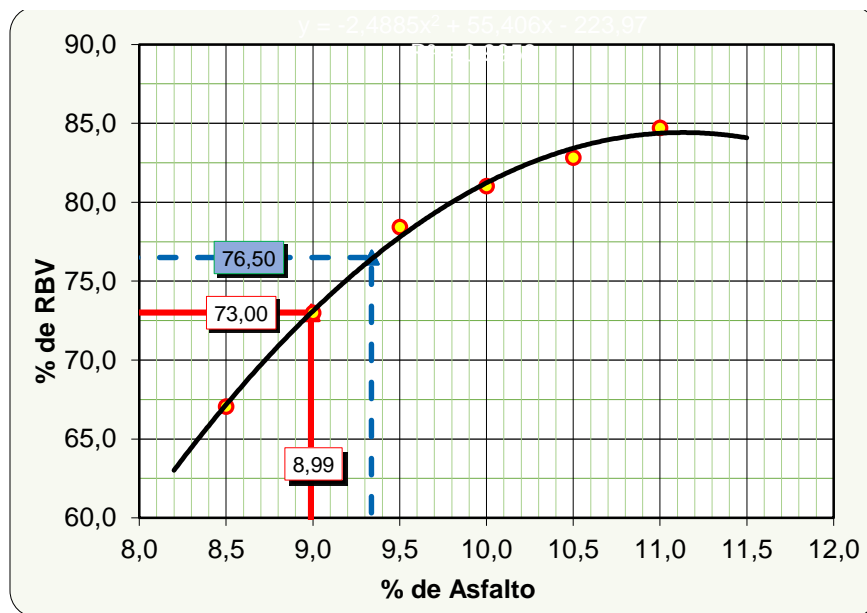
Fuente: Elaboración propia

Figura N°45: Porcentaje de asfalto vs vacíos del agregado mineral (VAM) (C.A.85-100 con arena triturada)



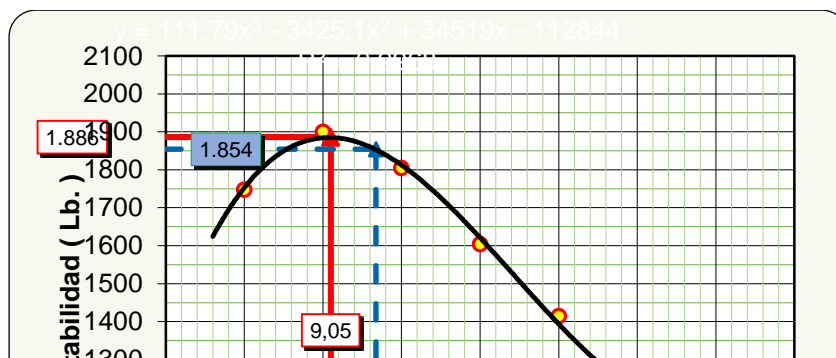
Fuente: Elaboración propia

Figura N°46: Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV) (C.A.85-100 con arena triturada)



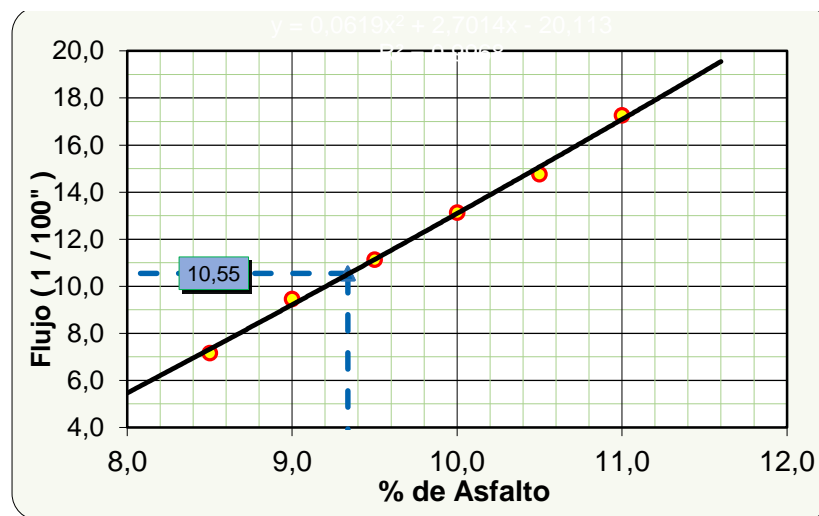
Fuente: Elaboración propia

Figura N°47: Porcentaje de asfalto vs estabilidad corregida. (C.A.85-100 con arena triturada)



Fuente: Elaboración propia

Figura N°48: Porcentaje de asfalto vs fluencia (flujo)(C.A.85-100 con arena triturada)



Fuente: Elaboración propia

3.6.2.8. Porcentaje óptimo de cemento asfáltico 85-100 con arena triturada

Tabla N°65: Resultados del ensayo Marshall para C.A.85-100 Y arena triturada

VALORES			
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO		

		OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	9,70	2,235	-----	-----
% VACIOS	9,80	3,00	2,00	4,00
R.B.V.	8,99	73,00	68,00	78,00
V.A.M	9,15	22,30	12,00	
ESTABILIDAD (Lb)	9,05	1144,70	> 1800 Lb. (50 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	0,00	11,00		
PROMEDIO (%)	9,34	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Gráficas (Densidad, Vv., R.B.V., V.A.M., y Estabilidad)		

Fuente: Criterios de la normativa IRAM 6845

Tabla N°66: Resultados del ensayo Marshall para C.A.85-100 y arena triturada

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	9,34	2,232	-----	-----
% VACIOS	9,34	3,82	2,00	4,00
R.B.V.	9,34	76,50	68,00	78,00
V.A.M	9,34	24,48	12,00	
ESTABILIDAD (Lb)	9,34	1854,00	> 1800 Lb. (50 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	9,34	10,55		
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			9,30	

Fuente: Criterios de la normativa IRAM 6845

El porcentaje óptimo de asfalto BETUNEL 85-100 es de 9,34% que será utilizado para la realización de las mezclas Arena-Asfalto.

3.6.2.9. Preparación de briquetas con el porcentaje óptimo de 9.34%

Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico que es igual al 9.34% del total de la briqueta de 1200 gramos, y calculado anteriormente la temperatura de

mezclado y compactado de las briquetas se procede a pesar las muestras para su respectiva comparación en la siguiente tabla se muestran los pesos retenidos en cada tamiz repartidos de manera homogénea para la realización de briquetas convencionales con cemento asfáltico 85-100.

Tabla N°67: Dosificación con el porcentaje óptimo de asfalto 9.34%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	9,34%	
				P. Parcial	P. Acumulado
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,30	0,70	0,70	7,62	7,62
N°8	85,70	14,30	13,60	147,97	155,58
N°30	56,71	43,29	28,99	315,43	471,01
N°50	32,90	67,10	23,81	259,00	730,01
N°200	10,40	89,60	22,50	244,80	974,82
Filler	0,00	100,00	10,40	113,10	1087,9
Peso Total=				1087,9	
N° de briquetas a realizar con la dosificación = 3					

Fuente: Elaboración Propia

Unidad	gr
Peso muestra=	1087,90
Peso asfalto=	112,10
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

Procedimiento:

El procedimiento es el mismo que se realizó para encontrar el contenido óptimo, solo que en este caso se realizaron 30 briquetas con el contenido óptimo de asfalto de 9.34%.

Con las dosificaciones mostradas en la tabla N°58 se golpean las briquetas, se pesarán sus pesos y serán sometidas a la prensa Marshall para obtener el valor de sus propiedades para cada briqueta.

Figura N°49: Briquetas realizadas con el porcentaje óptimo de 9.34%



Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.10. Resultados obtenidos del diseño Marshall con el porcentaje óptimo

Descripción						

	H(promedio) cm	Peso seco gr.	Peso sumergido gr.	Peso SSS gr.	Estabilidad dial	Fluencia dial(/100)
b1	6,70	1192,20	659,00	1192,90	85,00	9,80
b2	6,62	1190,20	658,00	1191,00	80,00	10,60
b3	6,66	1195,60	662,20	1196,50	86,00	11,0
b4	6,58	1196,60	660,00	1197,20	80,00	10,40
b5	6,63	1198,80	659,80	1199,30	78,00	11,0
b6	6,66	1200,00	663,00	1200,80	82,00	10,60
b7	6,60	1188,00	660,00	1189,60	76,00	9,80
b8	6,61	1191,00	660,00	1192,10	83,00	9,80
b9	6,68	1193,70	659,00	1194,60	83,00	10,60
b10	6,69	1196,20	661,20	1197,50	86,00	10,90
b11	6,59	1188,00	657,20	1189,00	85,00	11,40
b12	6,63	1191,10	658,00	1192,20	80,00	10,60
b13	6,64	1194,70	659,50	1195,20	79,00	9,60
b14	6,67	1195,20	657,20	1195,90	87,00	10,40
b15	6,60	1193,60	660,00	1194,20	80,00	10,60
b16	6,68	1191,30	658,70	1192,10	83,00	11,00
b17	6,66	1190,60	656,10	1191,30	85,00	10,60
b18	6,61	1194,30	660,10	1195,10	82,00	10,20
b19	6,57	1199,10	662,40	1199,90	80,00	10,00
b20	6,64	1197,70	657,60	1198,30	84,00	10,70
b21	6,59	1199,80	665,30	1200,00	80,00	10,60
b22	6,61	1190,20	660,30	1191,00	83,00	9,80
b23	6,66	1189,90	659,30	1190,60	77,00	10,20
b24	6,63	1198,10	664,20	1199,60	81,00	10,60
b25	6,67	1191,20	661,20	1191,90	79,00	10,90
b26	6,69	1194,30	657,20	1195,40	79,00	9,60
b27	6,65	1196,70	658,00	1197,30	86,00	10,60
b28	6,58	1195,20	657,50	1195,80	84,00	11,30
b29	6,63	1198,10	663,30	1198,60	88,00	10,40
b30	6,64	1196,40	661,10	1197,10	81,00	10,70

Tabla N°68: Datos para el diseño Marshall con el porcentaje óptimo de 9.34%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°69: Resultados del diseño Marshall con el porcentaje óptimo de 9.34%

Descripción	Vacíos en la mezcla (%)	Vacíos del agregado mineral (vam) (%)	Relación betún-vacíos (%)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia	Relación estabilidad fluencia 2500-4000 (kg/cm)
b1	3,71	24,46	76,82	1934,40	9,80	3524,99
b2	3,71	24,46	76,83	1854,00	10,60	3123,45
b3	3,51	24,30	77,56	1977,10	11,00	3209,77
b4	3,95	24,65	75,97	1868,80	10,40	3208,93
b5	3,95	24,65	75,97	1804,10	11,00	2929,00
b6	3,78	24,52	76,56	1885,10	10,60	3175,97
b7	3,67	24,43	76,97	1768,40	9,80	3222,48
b8	3,48	24,28	77,65	1927,40	9,80	3512,20
b9	3,90	24,60	76,16	1899,10	10,60	3199,52
b10	3,82	24,55	76,43	1962,50	10,90	3215,24
b11	3,67	24,43	76,97	1981,60	11,40	3104,17
b12	3,85	24,57	76,31	1850,40	10,60	3117,46
b13	3,83	24,56	76,39	1823,60	9,60	3392,28
b14	3,98	24,67	75,85	1996,00	10,40	3427,43
b15	3,65	24,41	77,04	1861,50	10,60	3136,08
b16	3,69	24,45	76,89	1899,10	11,00	3076,57
b17	3,93	24,63	76,04	1954,10	10,60	3282,90
b18	3,74	24,48	76,72	1904,20	10,20	3322,01
b19	3,80	24,53	76,50	1872,50	10,00	3330,87
b20	3,39	24,21	77,98	1939,00	10,70	3221,71
b21	3,85	24,57	76,33	1865,00	10,60	3133,22
b22	3,42	24,23	77,88	1927,40	9,80	3497,03
b23	3,43	24,24	77,86	1770,20	10,20	3088,30
b24	3,40	24,21	77,97	1873,50	10,60	3171,03
b25	3,47	24,27	77,71	1812,50	10,90	2957,32
b26	4,01	24,69	75,76	1802,70	9,60	3337,61
b27	3,83	24,56	76,38	1981,10	10,60	3328,29
b28	3,38	24,20	78,04	1962,20	11,30	3090,47
b29	3,49	24,28	77,64	2035,40	10,40	3484,07
b30	3,75	24,49	76,68	1869,70	10,70	3118,07

Fuente: Elaboración Propia

3.6.3. DISEÑO MARSHALL CON ARENA TRITURADA Y CEMENTO ASFÁLTICO BETUFLEX 60-85

3.6.3.1. Ensayo de viscosidad vs temperatura para la elaboración de mezclas asfálticas con cemento asfáltico 60-85

Ensayo de viscosidad vs temperatura

El ensayo de viscosidad vs temperatura se lo realiza al cemento asfáltico 60-85, haciendo variar las temperaturas para poder conocer la temperatura de aplicación y la temperatura de compactación.

ENSAYO DE VISCOSIDAD - TEMPERATURA

Tabla N°70: Variación de temperatura vs viscosidad para el C.A.60-85

Punto	Temperatura (°C)	Viscosidad (seg)
1	150,00	200,00
2	160,00	155,00
3	170,00	112,00
4	180,00	95,00

Fuente: Elaboración propia.

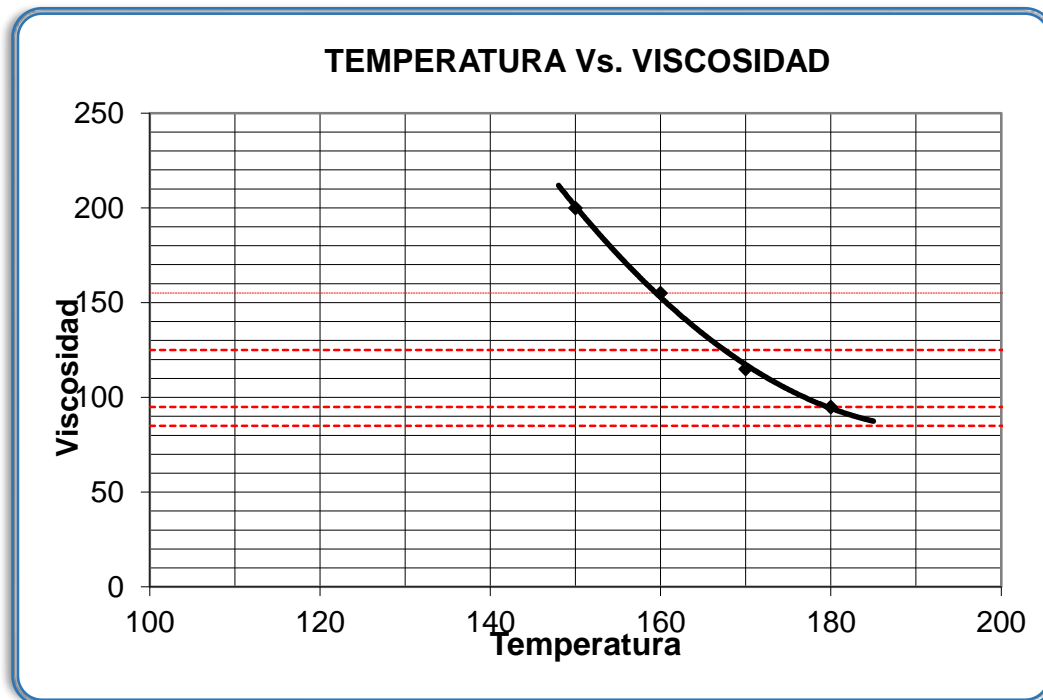
a).- Aplicación.- Específica: Viscosidad 85 - 95 Saybolt Furol

Temperatura 179 y 183 °C

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

Temperatura 159 y 168 °C

Figura N°50: Análisis de la temperatura vs viscosidad del C.A.60-85



Fuente: Elaboración propia

En el ensayo de viscosidad - temperatura del cemento asfáltico podemos observar la temperatura óptima de aplicación donde se podrá mezclar el agregado y el cemento asfáltico y también se observa la temperatura óptima de compactado con el martillo a 50 golpes para tráfico liviano.

3.6.3.2. Desarrollo de briquetas

Equipo:

- Martillo de compactación.
- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de probetas.
- Balanza $A \pm 0.1$ gr.

- Bandejas metálicas.
- Placa de calentamiento.
- Termómetro
- Espátula.
- Medidor de la estabilidad.
- Arena triturada propios de la región.
- Asfalto 60-85

Procedimiento.

El procedimiento para desarrollar las briquetas es prácticamente el mismo que se realizó para el cemento asfáltico Betunel, donde la única diferencia es que en este caso utilizaremos el asfalto Betuflex, el cual necesita una temperatura mayor de mezclado y de compactado, por este motivo para golpear las briquetas se utiliza una temperatura de 160 °C.

3.6.3.3. Desarrollo de la planilla

Se realiza un cálculo demostrativo para la briqueta con porcentaje de cemento asfáltico de 8.5 %

- a) Identificación

Las briquetas 1, 2, 3 serán las que analizaremos en el documento:

- b) Altura de la briqueta

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 8.5% sus alturas correspondientes son las siguientes:

Tabla N°71: Altura de la briqueta C.A.60-85 con arena triturada

Identificación	Altura briqueta (cm)
1	6.78
2	6,.76
3	6,62

Fuente: Elaboración propia

c) Porcentaje de asfalto. 8.5%

1.c) Base de agregado

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

$$\text{Base de agregado} = \frac{8.50 * 100}{100 - 8.50}$$

$$\text{Base de agregado} = 9,29$$

2.c) Base de la mezcla

Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 8.5%

d) Peso de la briqueta en el aire

El peso de la briqueta en el aire se lo calcula cuando se desmolda la briqueta cuyos datos son los siguientes:

Tabla N°72: Peso de la briqueta en el aire C.A.85-100 con arena triturada

Identificación	Peso briqueta en el aire (gr)
1	1195,30
2	1194,60
3	1190,00

Fuente: Elaboración propia

e) Peso de la briqueta en el aire saturado superficialmente seco (SSS)

El peso de la briqueta SSS se lo calcula saturando la briqueta en el agua durante 30 min a 25°C y secándola superficialmente.

Tabla N°73: Peso briqueta en el aire S.S.S. C.A. 60-85 con arena triturada

Identificación	Peso briqueta en el aire S.S.S. (gr)
1	1195,60
2	1195,40
3	1190,60

Fuente: Elaboración propia

f) Peso de la briqueta sumergida en el agua

El peso sumergido, se lo calcula cuando se sumerge la briqueta en el agua a 25 °C durante 30 minutos cuyos datos de la briqueta son los siguientes:

Tabla N°74: Peso briqueta sumergida C.A.60-85 con arena triturada

Identificación	Peso briqueta sumergida (gr)
1	649,70
2	650,40
3	648,20

Fuente: Elaboración propia

g) Volumen de la briqueta

$$\text{Vol. de briq.} = \text{Peso briq. en el aire SSS} - \text{Peso briq. sumergida}$$

$$\text{Vol. de briq.} = 1195.60\text{gr} - 649.70 \text{ gr}$$

$$\text{Vol. de briq.} = 545.90 \text{ gr.}$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación "1"

h) Densidad de la briqueta

1h) Densidad real de la briqueta

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

$$D \text{ real} = \frac{1195.3 \text{ gr}}{545.9 \text{ cm}^3}$$

$$D \text{ real} = 2,19\text{gr/cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

Se calcula para la piqueta 2 y 3, volumen de briqueta y densidad real.

Y se saca el promedio de la densidad real.

Densidad promedio = 2.192 Kg/cm³

2h) Densidad máxima teórica de la briqueta

$$D_{\text{max t}} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{ de asfalto}}{\text{peso esp. asfalto}}\right) + \left(\frac{100 - \% \text{ asfalto}}{\text{Peso esp. agre. grueso}}\right)}$$

$$D_{\text{max t}} = \frac{100}{\left(\frac{8.5}{1,002 \text{ gr/cm}^3}\right) + \left(\frac{100 - 8.5}{2,680 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}\right)}$$

$$D_{\text{max t}} = 2,346 \text{ gr/cm}^3$$

i) Porcentaje de vacíos

1i) Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

$$Vv = \left(\frac{\text{Dens. briq. max. teórica} - \text{Dens. briq. promedio}}{\text{Densidad briqueta máxima teórica}} \right) * 100$$

$$Vv = \left(\frac{2,346 \text{ gr/cm}^3 - 2.192 \text{ gr/cm}^3}{2.346 \text{ gr/cm}^3} \right) * 100$$

$$Vv = 6,57\%$$

2i) Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM)

$$VAM = \left(\frac{\% \text{ de asfalto} * \text{Densidad briq. promedio}}{\text{Peso específico de asfalto}} \right) + \% \text{ de vacíos (Vv)}$$

$$\text{VAM} = \left(\frac{8.5 * 2,192 \text{ gr/cm}^3}{1,002 \text{ gr/cm}^3} \right) + 6.57\%$$

$$\text{VAM} = 24,81\%$$

3i) Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)

$$\text{RBV} = \left(\frac{\text{VAM} - \text{Vv}}{\text{VAM}} \right) * 100$$

$$\text{RBV} = \left(\frac{25.17 - 6.57}{25.17} \right) * 100$$

$$\text{RBV} = 65,88\%$$

j) Estabilidad y fluencia

La estabilidad y fluencia se determina después de realizar el ensayo en la prensa Marshall.

Tabla N°75: Estabilidad y fluencia letrada C.A. 60-85 con arena triturada

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad	Fluencia 1/100
1	108,00	9,80
2	114,00	10,00
3	110,00	10,60

Fuente: Elaboración propia

Se realiza con la corrección con la fórmula de calibración de la prensa Marshall:

$$\text{Estabilidad} = \text{Lectura (dial)} * \text{factor del aro} * 2.2046$$

Factor del aro = 11.19

Estabilidad corregida para C1

$$\text{Estabilidad} = 108 * 11.19 * 2.2046$$

$$\text{Estabilidad} = 2664.3 \text{ Lb}$$

Resumen de la estabilidad corregida para las briquetas de identificación 1, 2,3

Tabla N°76: Estabilidad real C.A. 60-85 con arena triturada

Identificación	Lecturas	
	Estabilidad	Real(Lb)
1	108,00	2664.30
2	114,00	2812.30
3	110,0	2713.60

Fuente: Elaboración propia

Sacando la media

$$\text{Estabilidad}_{\text{media}} = \frac{C1 + C2 + C3}{3}$$

$$\text{Estabilidad}_{\text{media}} = \frac{2664.30\text{Lb} + 2812.30\text{Lb} + 2713.60\text{Lb}}{3}$$

$$\text{Estabilidad}_{\text{media}} = 2730,10 \text{ Lb}$$

Factor de corrección de la altura (mm).- El factor de corrección de la altura de la briqueta se lo realiza con la tabla de correcciones que se halla en los anexos.

Tabla N°77: Factor de corrección C.A.60-85 con arena triturada

Identificación	Factor de corrección (altura)
1	0,903
2	0,908
3	0,939

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Factor}_{\text{media}} = \frac{0,903 + 0,908 + 0,939}{3}$$

$$\text{Factor}_{\text{media}} = 0,916$$

Estabilidad corregida para cada probeta.

$$\text{Estabilidad corregida} = 2730,10 \text{ Lb} * 0,908$$

$$\text{Estabilidad corregida} = 2500,80 \text{ Lb}$$

3.6.3.4. Relación estabilidad fluencia

Para encontrar la relación estabilidad fluencia se usa siguiente ecuación.

$$\text{Relación (est./fluen).} = \frac{\text{Estabilidad (Kg)}}{\text{Fluencia (cm)} * \frac{1}{100}}$$

$$\text{Relación (est./fluen).} = \frac{2500.80 * 0.4536}{10.13 \text{ in} * \frac{1}{100} * 2.54}$$

$$\text{Relación (est./flen).} = 4408.68\text{kg/cm}$$

Nota.- De igual manera se procede a realizar los mismos cálculos para los siguientes datos de estabilidad y fluencia de las demás briquetas.

Obtenido todos estos valores como se indican en la Tabla 62 y Tabla 63 se procedió a dibujar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones.

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

3.6.3.5. Resultados del diseño Marshall con varios porcentajes de cemento asfáltico 60-85

Tabla N°78: Datos del diseño Marshall para el cemento asfáltico 60-85 con arena triturada

Descripción	H(promedio) cm	% de asfalto	Peso seco gr.	Peso sumergido gr.	Peso SSS gr.	Estabilidad dial	Fluencia dial(/100)
b1	6,78	8,50	1195,30	649,70	1195,60	108,00	9,80
b2	6,76	8,50	1194,60	650,40	1195,40	114,00	10,00
b3	6,62	8,50	1190,00	648,20	1190,60	110,00	10,60
b4	6,74	9,00	1197,00	654,60	1197,10	119,00	12,50
b5	6,71	9,00	1197,60	657,50	1198,50	117,00	11,80
b6	6,70	9,00	1195,00	658,20	1196,00	121,00	12,50
b7	6,64	9,50	1187,20	654,30	1187,30	112,00	13,50
b8	6,74	9,50	1206,70	664,60	1206,80	114,00	14,60
b9	6,68	9,50	1196,70	661,40	1197,50	120,00	13,60
b10	6,65	10,00	1199,80	660,20	1199,90	107,00	18,20
b11	6,63	10,00	1194,00	658,20	1194,60	113,00	18,50
b12	6,60	10,00	1189,20	657,80	1190,00	108,00	17,00
b13	6,60	10,50	1193,00	658,00	1193,60	108,00	18,90
b14	6,67	10,50	1191,70	657,00	1192,10	105,00	19,50
b15	6,70	10,50	1196,80	658,40	1197,30	106,00	20,00
b16	6,60	11,00	1196,60	658,00	1197,00	97,00	21,00
b17	6,63	11,00	1194,30	655,40	1195,20	100,00	22,00
b18	6,63	11,00	1198,60	657,70	1199,30	102,00	22,80

Fuente: Elaboración propia

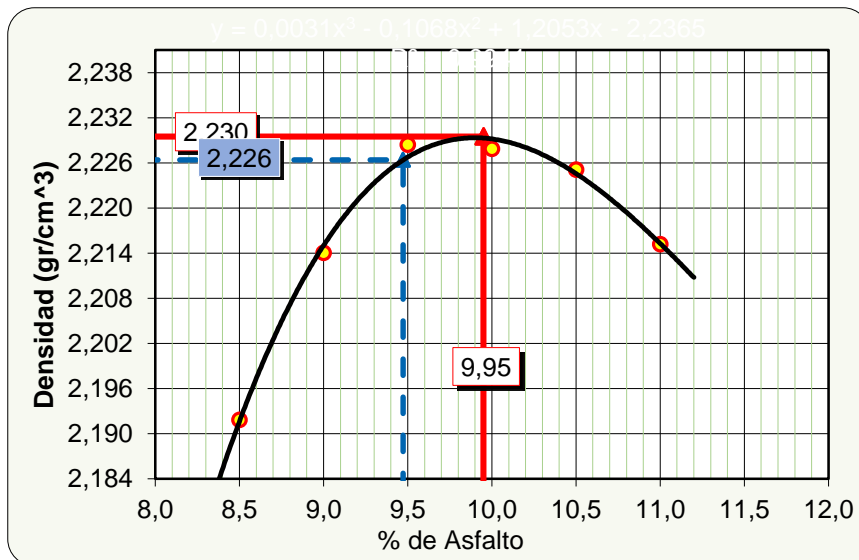
Tabla N°79: Resultados de los diferentes porcentajes de humedad del diseño Marshall para el cemento asfáltico 60-85 con arena triturada

Descripción	% de Asfalto	Vacíos en la mezcla (%)	Vacíos del agregado mineral (VAM) (%)	Relación betún-vacíos (%)	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia (in)	Relación estabilidad fluencia 2500-4000 (kg/cm)
b1	8,50	6,57	25,17	65,88	2500,80	10,13	4408,68
b2							
b3							
b4	9,00	4,93	24,82	72,12	2694,90	12,27	3922,27
b5							
b6							
b7	9,50	3,62	24,75	77,36	2631,80	13,90	3381,25
b8							
b9							
b10	10,00	2,95	25,18	80,29	2530,00	17,57	2571,51
b11							
b12							
b13	10,50	2,37	25,69	82,76	2444,80	19,47	2242,42
b14							
b15							
b16	11,00	2,12	26,44	83,99	2308,70	21,93	1880,04
b17							
b18							

Fuente: Elaboración propia

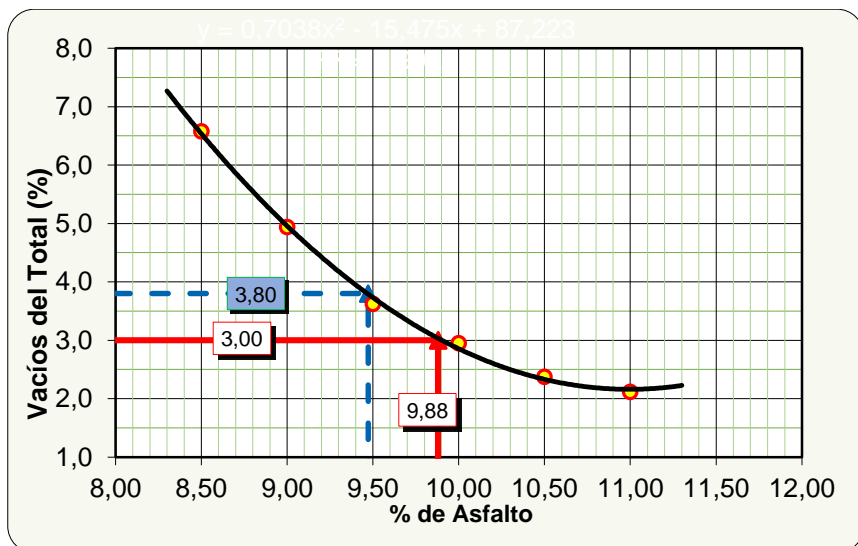
3.6.3.6. Gráficos de ensayos Marshall // cemento asfáltico 60-85

Figura N°51: Porcentaje de asfalto vs densidad de la probeta (C.A.60-85)



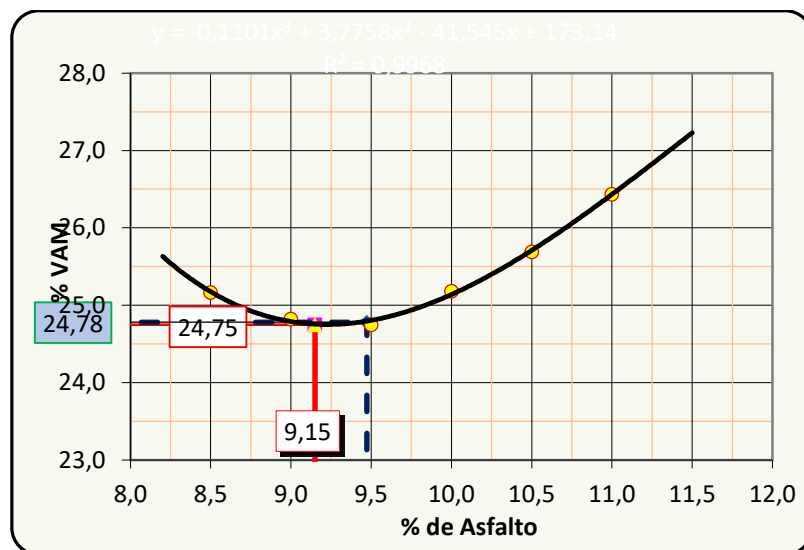
Fuente: Elaboración propia

Figura N°52: Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total (C.A.60-85)



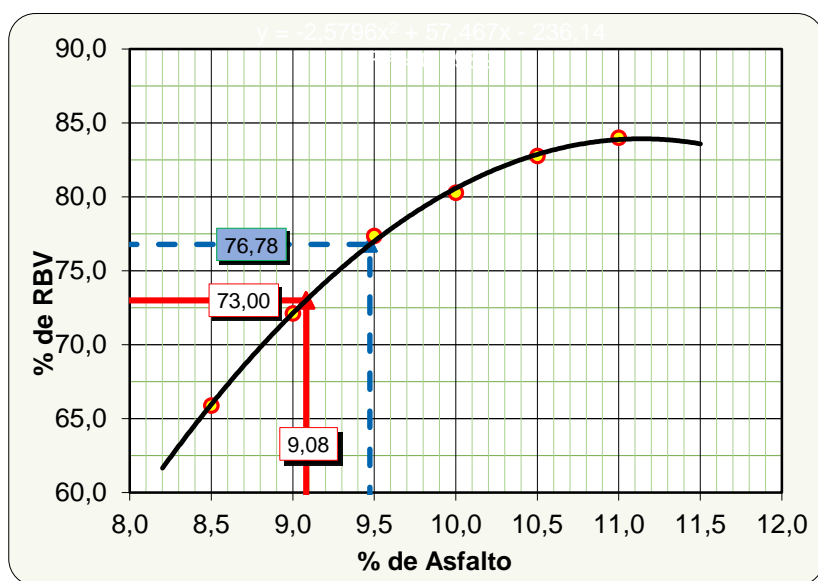
Fuente: Elaboración propia

Figura N°53: Porcentaje de asfalto vs vacíos de agregado mineral (VAM)(C.A.60-85)



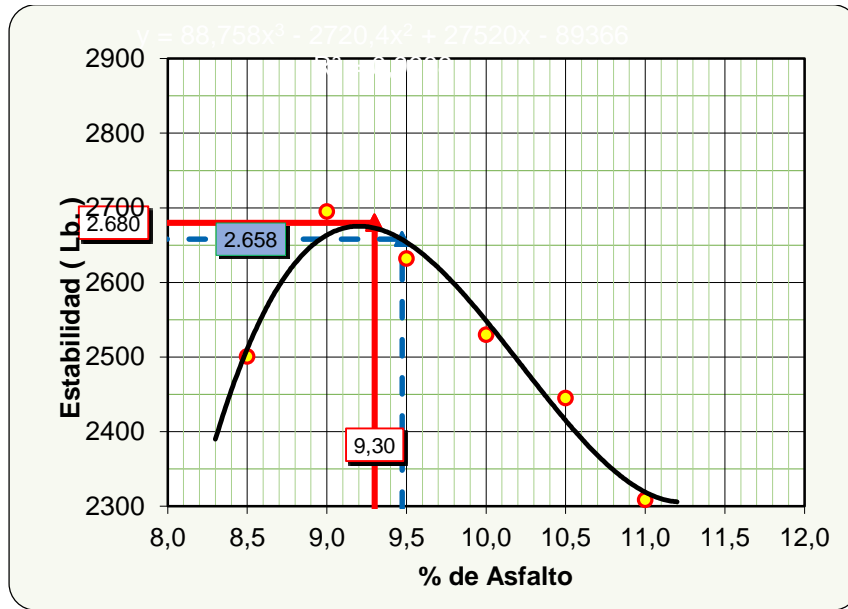
Fuente: Elaboración propia

Figura N°54: Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (RBV)



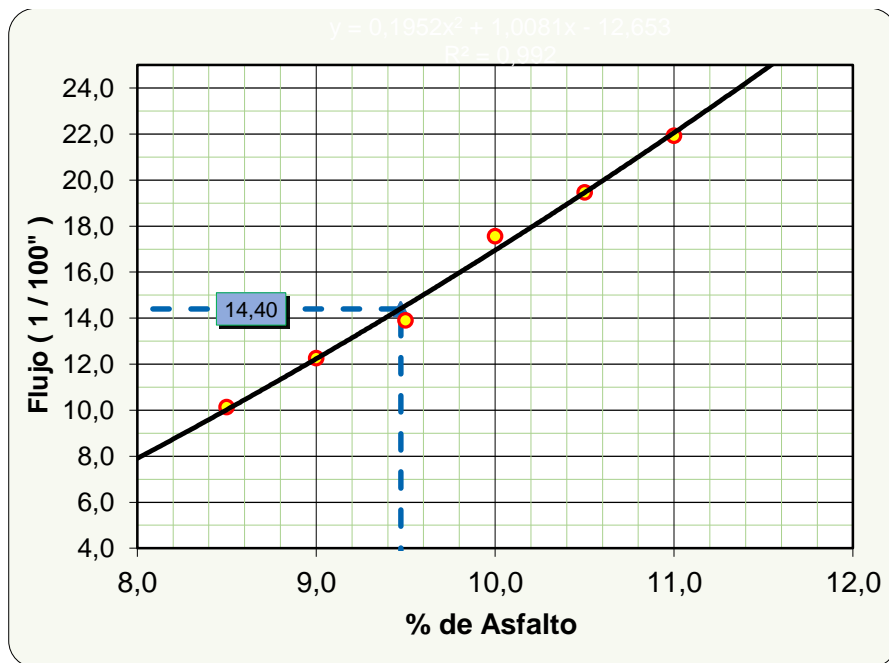
Fuente: Elaboración propia

Figura N°55: Porcentaje de asfalto vs estabilidad corregida (C.A.60-85)



Fuente: Elaboración propia

Figura N°56: Porcentaje de asfalto vs fluencia (flujo) (C.A.60-85)



Fuente: Elaboración propia

3.6.3.7. Porcentaje óptimo de cemento asfáltico 60-85 con arena triturada

Tabla N°80: Resultados del ensayo Marshall para C.A. 60-85 con arena triturada

VALORES				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	9,95	2,230	-----	-----
% VACIOS	9,88	3,00	2,00	4,00
R.B.V.	9,08	73,00	68,00	78,00
V.A.M	9,15	22,30	12,00	
ESTABILIDAD (Lb)	9,30	1144,70	> 1800 Lb. (50 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"				
PROMEDIO (%)	9,47	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas (Densidad, Vv., R.B.V., V.A.M., y Estabilidad)		

Fuente: Criterios de la normativa IRAM 6845

Tabla N°81: Resultados del ensayo Marshall para C.A.60-85 con arena triturada

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	9,47	2,226	-----	-----
% VACIOS	9,47	3,80	2,00	4,00
R.B.V.	9,47	76,78	68,00	78,00
V.A.M	9,47	24,78	12,00	
ESTABILIDAD (Lb)	9,47	2658	> 1800 Lb. (50 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	9,47	14,40		
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			9,50	

Fuente: Criterios de la normativa IRAM 6845

El porcentaje óptimo de asfalto betuflex 60-85 es de 9,47% que será utilizado para la realización de las mezclas arena-asfalto.

3.6.3.8. Preparación de briquetas con la mezcla arena- asfalto con el porcentaje óptimo

Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico que es igual al 9.47% del total de la briketa de 1200 gramos, y calculado anteriormente la temperatura de mezclado y compactado de las briquetas se procede a pesar las muestras para su respectiva comparación, en la siguiente tabla se muestran los pesos retenidos en cada tamiz repartidos de manera homogénea para la realización de briquetas con cemento asfáltico BETUNEL 60-85.

Tabla N°82: Planilla de dosificación para el porcentaje óptimo de asfáltico de 9.47%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	9,47%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"				0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,30	0,70	0,70	7,61	7,61
N°8	85,70	14,30	13,60	147,75	155,36
N°30	56,71	43,29	28,99	314,97	470,33
N°50	32,90	67,10	23,81	258,63	728,97
N°200	10,40	89,60	22,50	244,45	973,42
Filler	0,00	100,00	10,40	112,94	1086,4
Peso Total=				1086,4	
N° de briquetas a realizar con la dosificación = 3					

Fuente: Elaboración propia

Unidad	gr
Peso muestra=	1086,40
Peso asfalto=	113,60
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

Procedimiento:

El procedimiento es el mismo que para se realizó para encontrar el contenido óptimo, solo que en este caso se realizaron 30 briquetas con el contenido óptimo de asfalto de 9.47%.

Con las dosificaciones mostradas en la tabla 66, Se golpean las briquetas, se pesarán sus pesos y serán sometidas a la prensa Marshall para obtener el valor de sus propiedades para cada briketa.

Figura N°57: Briquetas realizadas con el óptimo de 9.47



Fuente: Elaboración propia

3.6.3.9. Resultados obtenidos del diseño Marshall con el porcentaje óptimo

Tabla N°83: Datos para el diseño Marshall con el porcentaje óptimo de 9.47%

Descripción	H(promedio) cm	Peso seco gr.	Peso sumergido gr.	Peso SSS gr.	Estabilidad dial	Fluencia dial/(100)
b1	6,65	1194,50	658,00	1195,20	112,00	14,20
b2	6,67	1193,30	658,00	1194,20	115,00	15,00
b3	6,69	1190,90	659,00	1192,20	115,00	13,80
b4	6,66	1191,70	657,00	1192,00	118,00	15,00
b5	6,70	1189,00	658,00	1190,20	120,00	14,40
b6	6,62	1193,20	658,60	1194,00	112,00	13,00
b7	6,58	1193,20	657,20	1193,60	110,00	13,20
b8	6,57	1196,00	659,40	1196,50	113,00	13,60
b9	6,65	1190,20	655,00	1190,80	113,00	14,20
b10	6,60	1196,20	658,30	1197,10	110,00	14,80
b11	6,70	1198,00	660,10	1198,80	107,00	15,00
b12	6,65	1190,00	657,90	1191,20	109,00	13,40
b13	6,66	1193,20	658,20	1194,00	122,00	13,20
b14	6,61	1194,50	658,20	1195,00	125,00	12,60
b15	6,61	1194,20	658,60	1195,20	117,00	13,80
b16	6,66	1195,20	659,10	1195,90	113,00	13,80
b17	6,64	1192,60	658,40	1193,30	111,00	14,60
b18	6,68	1191,10	658,70	1192,10	115,00	14,10
b19	6,67	1195,40	658,10	1196,20	114,00	14,80
b20	6,65	1193,20	659,40	1194,10	117,00	14,00
b21	6,69	1196,40	658,60	1197,30	115,00	13,40
b22	6,62	1196,60	658,30	1197,20	110,00	13,30
b23	6,66	1196,0	658,40	1196,70	111,00	13,80
b24	6,59	1192,20	656,30	1192,90	115,00	14,20
b25	6,60	1194,30	657,90	1195,00	113,00	15,00
b26	6,67	1196,70	659,90	1197,50	107,00	14,60
b27	6,57	1193,40	657,90	1194,20	109,00	12,60
b28	6,63	1193,80	658,20	1194,40	116,00	15,40
b29	6,55	1194,50	660,10	1195,00	109,00	15,20
b30	6,64	1196,40	660,90	1197,30	112,00	14,40

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°84: Resultados del diseño Marshall con el porcentaje óptimo de 9.47%

descripción	vacíos en la mezcla (%)	vacíos del agregado mineral (VAM) (%)	relación betún -vacíos (%)	estabilidad corregida (Ib) (%)	fluencia (in)	relación estabilidad fluencia 2500-4000 (kg/cm)
b1	3,87	24,89	76,45	2500,80	10,10	4408,68
b2	3,79	24,83	76,74	2638,40	15,00	3149,42
b3	3,44	24,55	77,99	2624,20	13,80	3400,98
b4	3,70	24,76	77,05	2712,80	15,00	3238,18
b5	3,41	24,53	78,09	2730,90	14,40	3393,81
b6	3,65	24,72	77,23	2595,50	13,00	3567,69
b7	3,83	24,86	76,59	2569,50	13,20	3479,24
b8	3,73	24,78	76,94	2644,90	13,60	3477,50
b9	3,97	24,97	76,12	2603,10	14,20	3279,92
b10	4,02	25,01	75,93	2559,50	14,80	3095,98
b11	3,86	24,88	76,50	2435,10	15,00	2906,70
b12	3,53	24,63	77,66	2511,00	13,40	3349,92
b13	3,72	24,78	76,97	2804,70	13,20	3797,67
b14	3,80	24,83	76,71	2809,80	12,60	3982,87
b15	3,79	24,83	76,75	2716,90	13,80	3521,10
b16	3,74	24,79	76,91	2597,80	13,80	3366,76
b17	3,61	24,69	77,38	2562,20	14,60	3141,17
b18	3,46	24,57	77,92	2631,30	14,10	3333,97
b19	3,96	24,96	76,14	2615,50	14,80	3163,66
b20	3,53	24,62	77,68	2695,30	14,00	3443,85
b21	3,99	24,98	76,05	2624,20	13,40	3501,01
b22	4,00	25,00	75,98	2549,20	13,30	3410,96
b23	3,95	24,95	76,18	2551,80	13,80	3297,75
b24	3,95	24,95	76,18	2681,00	14,20	3368,65
b25	3,87	24,89	76,46	2629,30	15,00	3130,33
b26	3,76	24,81	76,83	2454,90	14,60	2993,34
b27	3,80	24,83	76,71	2551,30	12,60	3616,46
b28	3,75	24,79	76,89	2683,10	15,40	3120,64
b29	3,46	24,57	77,93	2561,20	15,20	3017,61
b30	3,57	24,66	77,51	2585,30	14,40	3204,10

Fuente: Elaboración propia

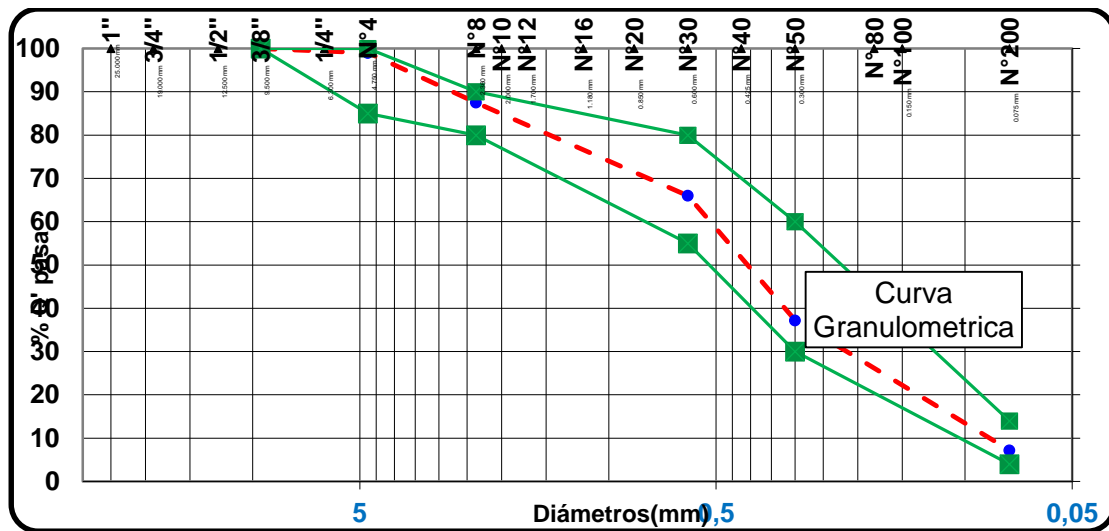
3.6.4. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA CON ARENA NATURAL Y CEMENTO ASFÁLTICO BETUNEL 85-100

Tabla N°85: Granulometría de la arena natural para el diseño de la mezcla arena-asfalto

Agregado		% Que pasa	Faja	
%Usado			Especif. Grad. Media	
Tamices			Inf.	Sup.
Pulg.	mm			
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"	9,50	100,00	100,00	100,00
N°4	4,75	99,00	85,00	100,00
N°8	2,36	87,50	80,00	90,00
N°30	0,60	66,00	55,00	80,00
N°50	0,30	37,20	30,00	60,00
N°200	0,08	7,20	4,00	14,00

Fuente: Elaboración propia

Figura N°58: Faja de trabajo para una mezcla arena-asfalto con arena natural



Fuente: Faja granulométrica según la norma IRAM-1505

Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico

Para la determinación del contenido óptimo, no se cuenta con parámetros establecidos por lo tanto se comenzará a buscarlo bajo criterio hasta encontrar el óptimo, tomando como base que al ser una mezcla con puro material fino este tendrá la tendencia a necesitar una cantidad mayor de asfalto que las mezclas convencionales con material grueso.

3.6.4.1. Preparación de las probetas

- Para la dosificación de las probetas se utilizó la granulometría ya calculada anteriormente:
- Para determinar el contenido óptimo de asfalto se prepararán grupos de briquetas para la mezcla de agregados, de forma que en las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido, cada grupo con diferente contenido de asfalto. Este contenido variara con incrementos de 0.5% de un grupo a otro grupo.

7. Porcentaje de cemento asfáltico 8%

Tabla N°86: Dosificación con cemento asfáltico de 8%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	8,00%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,00	1,00	1,00	11,04	11,04
N°8	87,50	12,50	11,50	126,96	138,00
N°30	66,00	34,00	21,50	237,36	375,36
N°50	37,20	62,80	28,80	317,95	693,31
N°200	7,20	92,80	30,00	331,20	1024,51
Filler	0,00	100,00	7,20	79,49	1104,00
Peso Total=				1104,00	
N° de briquetas a realizar con la dosificación =					
3					

Fuente: Elaboración propia

Unidad	gr
Peso muestra=	1104,00
Peso asfalto=	96,00
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

8. Porcentaje de cemento asfáltico 8.5 %

Tabla N°87: Dosificación con comento asfáltico de 8.5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	8,50%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,00	1,00	1,00	10,98	10,98
N°8	87,50	12,50	11,50	126,27	137,25
N°30	66,00	34,00	21,50	236,07	373,32
N°50	37,20	62,80	28,80	316,22	689,54
N°200	7,20	92,80	30,00	329,40	1018,94
Filler	0,00	100,00	7,20	79,06	1098,0
Peso Total=				1098,0	
N° de briquetas a realizar con la dosificación					
= 3					

Fuente: Elaboración propia

Unidad	gr
Peso muestra=	1098,00
Peso asfalto=	102,00
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

9. Porcentaje de cemento asfáltico 9 %

Tabla N°88: Dosificación con cemento asfáltico de 9%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	9,00%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,00	1,00	1,00	10,92	10,92
N°8	87,50	12,50	11,50	125,58	136,50
N°30	66,00	34,00	21,50	234,78	371,28
N°50	37,20	62,80	28,80	314,50	685,78
N°200	7,20	92,80	30,00	327,60	1013,38
Filler	0,00	100,00	7,20	78,62	1092,0
Peso Total=				1092,00	
N° de briquetas a realizar con la dosificación =					
3					

Fuente: Elaboración propia

Unidad	gr
Peso muestra=	1092,00
Peso asfalto=	108,00
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

10. Porcentaje de cemento asfáltico 9.5 %

Tabla N°89: Dosificación con cemento asfáltico 9.5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	9,50%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,00	1,00	1,00	10,86	10,86
N°8	87,50	12,50	11,50	124,89	135,75
N°30	66,00	34,00	21,50	233,49	369,24
N°50	37,20	62,80	28,80	312,77	682,01
N°200	7,20	92,80	30,00	325,80	1007,81
Filler	0,00	100,00	7,20	78,19	1086,0
Peso Total=				1086,0	
N° de briquetas a realizar con la dosificación = 3					

Fuente: Elaboración propia

Unidad	gr
Peso muestra=	1086,00
Peso asfalto=	114,00
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

11. Porcentaje de cemento asfáltico 10%

Tabla N°90: Dosificación con cemento asfáltico de 10%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	10,00%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°4	99,00	1,00	1,00	10,80	10,80
N°8	87,50	12,50	11,50	124,20	135,00
N°30	66,00	34,00	21,50	232,20	367,20
N°50	37,20	62,80	28,80	311,04	678,24
N°200	7,20	92,80	30,00	324,00	1002,24
Filler	0,00	100,00	7,20	77,76	1080,0
Peso Total=				1080,00	
N° de briquetas a realizar con la dosificación = 3					

Fuente: Elaboración propia

Unidad	gr
Peso muestra=	1080,00
Peso asfalto=	120,00
Peso total material + C. Asf.=	1200,00

Las tablas vistas anteriormente nos muestran las cantidades de agregado y cemento asfáltico a utilizar para realizar las briquetas y obtener los diferentes puntos, de esta

manera poder obtener mediante una gráfica un porcentaje óptimo de cemento asfáltico para el diseño de la mezcla asfáltica.

3.6.5. DISEÑO MARSHALL CON ARENA NATURAL Y CEMENTO ASFÁLTICO BETUNEL 85-100

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

Ensayo de viscosidad vs temperatura del cemento asfáltico 85-100

Se usarán los valores de la temperatura de aplicación y compactación calculados anteriormente para el ensayo de viscosidad vs temperatura

a).- Aplicación.- Específica: Viscosidad 85 - 95 Saybolt Furol
Temperatura 156 y 162 °C

b).- Compactado.- Específica: Viscosidad 125-155 Saybolt Furol
Temperatura 130 y 140 °C

3.6.5.1 Desarrollo de la planilla

Se realiza un cálculo demostrativo para la briqueta con porcentaje de cemento asfáltico de 8.5 %

a) Identificación

Las briquetas 1, 2, 3 serán las que analizaremos en el documento:

b) Altura de la briqueta

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 8.5% sus alturas correspondientes son las siguientes:

Tabla N°91: Altura de la briqueta C.A.85-100 con arena natural

Identificación	Altura Briqueta (cm)
1	7.40
2	7.42
3	7.40

Fuente: Elaboración propia

c) Porcentaje de asfalto. 8.5%

1.c) Base de agregado

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

$$\text{Base de agregado} = \frac{8,00 * 100}{100 - 8,00}$$

$$\text{Base de agregado} = 8.70$$

2.c) Base de la mezcla

Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 8.5%

d) Peso de la briqueeta en el aire

El peso de la briqueeta en el aire se lo calcula cuando se desmolda la briqueeta cuyos datos son los siguientes:

Tabla N°92: Peso briqueeta en el aire C.A. 85-100 con arena natural

Identificación	Peso briqueeta en el aire (gr)
1	1197.10
2	1200.40
3	1195.20

Fuente: Elaboración propia

e) Peso de la briqueeta en el aire saturado superficialmente seco (SSS)

El peso de la briqueeta SSS se lo calcula saturando la briqueeta en el agua durante 30 min a 25°C y secándola superficialmente.

Tabla N°93: Peso briqueeta en el aire S.S.S. C.A.85-100 con arena natural

Identificación	Peso briqueeta en el aire S.S.S. (gr)
1	1198.00
2	1200.60
3	1196.50

Fuente: Elaboración propia

f) Peso de la briqueeta sumergida en el agua

El peso sumergido, se lo calcula cuando se sumerge la briqueta en el agua a 25 °C durante 30 minutos cuyos datos de la briqueta son los siguientes:

Tabla N°94: Peso briqueta sumergida C.A.85-100 con arena natural

Identificación	Peso briqueta sumergida (gr)
1	602.6
2	603.6
3	602.0

Fuente: Elaboración propia

g) Volumen de la briqueta

Vol. de briq. = Peso briq. en el aire SSS – Peso briq. sumergida

$$\text{Vol. de briq.} = 1198.0\text{gr} - 602.6 \text{ gr}$$

$$\text{Vol. de briq.} = 595,40 \text{ gr}$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

h) Densidad de la briqueta

1h) Densidad real de la briqueta

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

$$D \text{ real} = \frac{1197.1 \text{ gr}}{595.4 \text{ cm}^3}$$

$$D \text{ real} = 2.011 \text{ gr/cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación "1"

Se calcula para la piqueta 2 y 3, volumen de briqueta y densidad real.

Y se saca el promedio de la densidad real.

$$\text{Densidad promedio} = 2.011 \text{ Kg/cm}^3$$

2h) Densidad máxima teórica de la briqueta

$$D \text{ maxt} = \left(\frac{\% \text{ de asfalto}}{\text{peso esp. asfalto}} \right) + \left(\frac{100 - \% \text{ asfalto}}{\text{Peso esp. agre. grueso}} \right)$$

$$D \text{ maxt} = \frac{100}{\left(\frac{8}{1,005 \text{ gr/cm}^3} \right) + \left(\frac{100 - 8}{2,680 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} \right)}$$

$$D_{\text{max t.}} = 2,329 \text{ gr/cm}^3$$

i) Porcentaje de vacíos

1i) Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

$$Vv = \left(\frac{\text{Dens. briq. max. teórica} - \text{Dens. briq. promedio}}{\text{Densidad briqueta máxima teórica}} \right) * 100$$

$$Vv = \left(\frac{2.329 \text{ gr/cm}^3 - 2.011 \text{ gr/cm}^3}{2.329 \text{ gr/cm}^3} \right) * 100$$

$$V_v = 13,69\%$$

2i) Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM)

$$VAM = \left(\frac{\% \text{ de asfalto} * \text{Densidad briq. promedio}}{\text{Peso específico de asfalto}} \right) + \% \text{ de vacíos (Vv)}$$

$$VAM = \left(\frac{8 * 2,011 \text{ gr/cm}^3}{1,005 \text{ gr/cm}^3} \right) + 13.69\%$$

$$VAM = 29.69\%$$

3i) Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)

$$RBV = \left(\frac{VAM - V_v}{VAM} \right) * 100$$

$$RBV = \left(\frac{29.69 - 13.69}{29.69} \right) * 100$$

$$RBV = 53.90\%$$

j) Estabilidad y fluencia

La estabilidad y fluencia se determina después de realizar el ensayo en la prensa Marshall.

Tabla N°95: Estabilidad y fluencia lecturada C.A.85-100 con arena natural

Lectura dial

Identificación	Estabilidad (in)	Fluencia 1/100
1	19,00	8,00
2	21,00	8.50
3	20,00	7.80

Fuente: Elaboración propia

Se realiza con la corrección con la fórmula de calibración de la prensa Marshall:

$$\text{Estabilidad} = \text{Lectura (dial)} * \text{factor del aro} * 2.2046$$

Factor del aro = 11.19

Estabilidad corregida para C1

$$\text{Estabilidad} = 19 * 11.19 * 2.2046$$

$$\text{Estabilidad} = 468,70 \text{ Lb}$$

Resumen de la estabilidad corregida para las briquetas de identificación 1, 2,3

Tabla N°96: Estabilidad real C.A. 85-100 con arena natural

	lectura
Identificación	Real (Lb)
1	468.7
2	518.1
3	493.4

Fuente: Elaboración propia

Sacando la media

$$\text{Estabilidad}_{\text{media}} = \frac{C1 + C2 + C3}{3}$$

$$\text{Estabilidad}_{\text{media}} = \frac{468.7 \text{ Lb} + 518.1\text{Lb} + 493.4\text{Lb}}{3}$$

$$\text{Estabilidad}_{\text{media}} = 493,40 \text{ Lb}$$

Factor de corrección de la altura (mm).- El factor de corrección de la altura de la briqueta se lo realiza con la tabla de correcciones que se halla en los anexos.

Tabla N°97: Factor de corrección de la estabilidad C.A. 85-100 con arena natural

Identificación	Factor de corrección (altura)
1	0,799
2	0,796
3	0,799

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Factor}_{\text{media}} = \frac{0,799 + 0,796 + 0,799}{3}$$

$$\text{Factor}_{\text{media}} = 0,798$$

Estabilidad corregida para cada probeta.

$$\text{Estabilidad corregida} = 2730.1\text{Lb} * 0,798$$

$$\text{Estabilidad corregida} = 393,70 \text{ Lb}$$

3.6.5.2. Relación estabilidad fluencia

Para encontrar la relación estabilidad fluencia se usa siguiente ecuación.

$$\text{Relacion (est./fluen).} = \frac{\text{Estabilidad (Kg)}}{\text{Fluencia (cm)} * \frac{1}{100}}$$

$$\text{Relacion (est./fluen).} = \frac{2500.8 * 0.4536}{10.13 \text{ in} * \frac{1}{100} * 2.54}$$

$$\text{Relacion (est./flen).} = 4408.68\text{kg/cm}$$

Nota. - De igual manera se procede a realizar los mismos cálculos para los siguientes datos de estabilidad y fluencia de las demás briquetas.

Obtenido todos estos valores como se indican en la siguiente Tabla

3.6.5.3. Resultados del diseño Marshall con varios porcentajes de cemento asfáltico 85-100 con arena natural

Tabla N°98: Datos de diseño Marshall para el cemento asfáltico 85-100 con arena natural

Descripción	H(promedio) cm	% de asfalto	Peso seco gr.	Peso sumergido gr.	Peso SSS gr.	Estabilidad dial	Fluencia dial/(100)
b1	7,40	8,00	1197,10	602,60	1198,00	19,00	8,00
b2	7,42	8,00	1200,40	603,60	1200,60	21,00	8,50
b3	7,40	8,00	1195,20	602,00	1196,50	20,00	7,80
b4	7,34	8,50	1201,70	608,10	1202,60	26,00	9,00
b5	7,35	8,50	1199,20	606,00	1200,30	28,00	1,50
b6	7,36	8,50	1197,30	608,50	1198,80	26,00	9,50
b7	7,27	9,00	1191,50	606,00	1193,70	28,00	12,00
b8	7,30	9,00	1198,40	609,80	1199,70	30,00	13,00
b9	7,26	9,00	1192,50	609,00	1193,20	30,00	13,00
b10	7,32	9,50	1192,20	615,00	1193,70	35,00	17,00
b11	7,27	9,50	1190,00	615,00	1191,50	33,00	16,50
b12	7,28	9,50	1198,20	612,00	1199,20	30,00	16,00
b13	7,30	10,00	1224,40	633,30	1224,80	38,00	18,00
b14	7,24	10,00	1212,10	627,80	1212,70	45,00	17,00
b15	7,28	10,00	1200,00	622,00	1200,60	40,00	18,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°99: Resultados de los diferentes porcentajes de humedad del diseño Marshall para el cemento asfáltico 85-100 con arena natural

Descripción	% de Asfalto	Vacíos en la mezcla	Vacíos del agregado mineral (VAM)	Relación betún - vacíos	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia	Relación estabilidad fluencia ≥ 2500 (kg/cm)
b1	8,00	13,69	29,69	53,90	393,70	8,10	868,00
b2							
b3							
b4	8,50	12,56	29,66	57,67	529,60	9,67	978,05
b5							
b6							
b7	9,00	11,46	29,67	61,37	589,00	12,67	830,19
b8							
b9							
b10	9,50	9,89	29,31	66,26	655,20	16,50	709,14
b11							
b12							
b13	10,00	8,50	29,12	70,81	824,30	17,67	833,08
b14							
b15							

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar existe una diferencia gigantesca en los resultados obtenidos entre la arena natural y la arena triturada, lamentablemente la arena natural es muy mala para la construcción de la mezcla arena asfalto, ya que los resultados no cumplen en ninguna de sus propiedades de la mezcla exigidas en la norma IRAM-6845.

Por esta razón se desechará la arena natural y no se proseguirá haciendo el diseño de la mezcla arena asfalto, y solo se trabajará con la arena triturada

3.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Conociendo los valores de la estabilidad, vacíos de la mezcla, fluencia, la relación estabilidad fluencia, la relación betún vacíos y el vacío del agregado mineral. Se podrá hacer un tratamiento estadístico a estos valores para obtener los valores representativos de cada uno para su correspondiente evaluación.

3.7.1. Aplicando la estadística a los valores del porcentaje óptimos del cemento betunel Y betuflex con la arena triturada

Tabla N°100: Tratamiento estadístico a los porcentajes óptimos con cemento asfáltico 85-100 y arena triturada

Descripción	C.A. betunel 85-100					
	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia (1/100)	Vacíos en la mezcla (%)	Vacíos del agregado mineral (VAM) (%)	Relación betún - vacíos (%)	Relación estabilidad fluencia 2500-4000 (kg/cm)
1	1934,40	9,80	3,71	24,46	76,82	3524,99
2	1853,96	10,60	3,71	24,46	76,83	3123,45
3	1977,10	11,00	3,51	24,30	77,56	3209,77
4	1868,76	10,40	3,95	24,65	75,97	3208,93
5	1804,15	11,00	3,95	24,65	75,97	2929,00
6	1885,14	10,60	3,78	24,52	76,56	3175,97
7	1768,39	9,80	3,67	24,43	76,97	3222,48
8	1927,37	9,80	3,48	24,28	77,65	3512,20
9	1899,12	10,60	3,90	24,60	76,16	3199,52
10	1962,46	10,90	3,82	24,55	76,43	3215,24
11	1981,58	11,40	3,67	24,43	76,97	3104,17
12	1850,41	10,60	3,85	24,57	76,31	3117,46
13	1823,57	9,60	3,83	24,56	76,39	3392,28
14	1996,01	10,40	3,98	24,67	75,85	3427,43
15	1861,46	10,60	3,65	24,41	77,04	3136,08
16	1899,12	11,02	3,69	24,45	76,89	3076,57
17	1954,11	10,63	3,93	24,63	76,04	3282,90
18	1904,15	10,24	3,74	24,48	76,72	3322,01
19	1872,51	10,04	3,80	24,53	76,50	3330,87

20	1938,99	10,75	3,39	24,21	77,98	3221,71
21	1865,01	10,63	3,85	24,57	76,33	3133,22
22	1927,37	9,84	3,42	24,23	77,88	3497,03
23	1770,19	10,24	3,43	24,24	77,86	3088,30
24	1873,54	10,55	3,40	24,21	77,97	3171,03
25	1812,47	10,94	3,47	24,27	77,71	2957,32
26	1802,72	9,65	4,01	24,69	75,76	3337,61
27	1981,13	10,63	3,83	24,56	76,38	3328,29
28	1962,20	11,34	3,38	24,20	78,04	3090,47
29	2035,45	10,43	3,49	24,28	77,64	3484,07
30	1869,74	10,71	3,75	24,49	76,68	3118,07
Nro Datos	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
MEDIA	1895,42	10,49	3,70	24,45	76,86	3231,28
DESVIACION	69,04	0,48	0,20	0,16	0,72	157,30
MODA	1861,94	10,26	3,61	24,38	76,51	3154,99
M + Desv. (límite superior)	1964,45	10,97	3,90	24,61	77,58	3388,59
M + Desv. (límite inferior)	1826,38	10,01	3,50	24,30	76,15	3073,98
media eliminando datos extremos	1898,50	10,65	3,75	24,49	76,68	3214,61

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°101: Tratamiento estadístico a los porcentajes óptimos con cemento asfáltico 60-85 y arena triturada

Descripción	C.A. betuflex 60-85					
	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia (1/100)	Vacíos en la mezcla (%)	Vacíos del agregado mineral (VAM) (%)	Relación betún - vacíos (%)	Relación estabilidad fluencia 2500-4000 (kg/cm)
1	2580,07	14,17	3,87	24,89	76,45	3250,89
2	2638,40	14,96	3,79	24,83	76,74	3149,42
3	2624,22	13,78	3,44	24,55	77,99	3400,98
4	2712,76	14,96	3,70	24,76	77,05	3238,18
5	2730,91	14,37	3,41	24,53	78,09	3393,81

6	2595,54	12,99	3,65	24,72	77,23	3567,69
7	2569,55	13,19	3,83	24,86	76,59	3479,24
8	2644,92	13,58	3,73	24,78	76,94	3477,50
9	2603,11	14,17	3,97	24,97	76,12	3279,92
10	2559,51	14,76	4,02	25,01	75,93	3095,98
11	2435,06	14,96	3,86	24,88	76,50	2906,70
12	2510,96	13,39	3,53	24,63	77,66	3349,92
13	2804,72	13,19	3,72	24,78	76,97	3797,67
14	2809,79	12,60	3,80	24,83	76,71	3982,87
15	2716,90	13,78	3,79	24,83	76,75	3521,10
16	2597,81	13,78	3,74	24,79	76,91	3366,76
17	2562,24	14,57	3,61	24,69	77,38	3141,17
18	2631,31	14,09	3,46	24,57	77,92	3333,97
19	2615,46	14,76	3,96	24,96	76,14	3163,66
20	2695,25	13,98	3,53	24,62	77,68	3443,85
21	2624,22	13,39	3,99	24,98	76,05	3501,01
22	2549,20	13,35	4,00	25,00	75,98	3410,96
23	2551,83	13,82	3,95	24,95	76,18	3297,75
24	2680,96	14,21	3,95	24,95	76,18	3368,65
25	2629,31	15,00	3,87	24,89	76,46	3130,33
26	2454,86	14,65	3,76	24,81	76,83	2993,34
27	2551,30	12,60	3,80	24,83	76,71	3616,46
28	2683,09	15,35	3,75	24,79	76,89	3120,64
29	2561,25	15,16	3,46	24,57	77,93	3017,61
30	2585,32	14,41	3,57	24,66	77,51	3204,10
Nro Datos	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
MEDIA	2616,99	14,07	3,75	24,80	76,88	3333,40
DESVIACION	87,03	0,76	0,18	0,14	0,65	233,67
MODA	2574,78	13,70	3,66	24,73	76,57	3220,07
M + Desv. (límite superior)	2704,03	14,83	3,93	24,94	77,53	3567,08
M + Desv. (límite inferior)	2529,96	13,30	3,57	24,65	76,23	3099,73
media eliminando datos extremos	2606,08	13,98	3,76	24,79	76,87	3343,68

Fuente: Elaboración propia

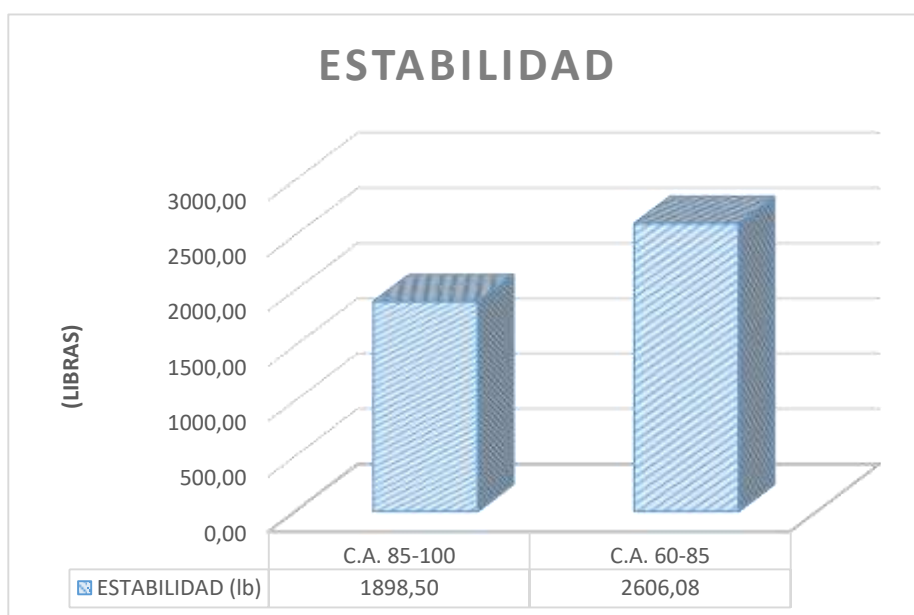
3.8. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ARENA ASFALTO OBTENIDAS CON EL PORCENTAJE ÓPTIMO. 9.34% PARA EL C.A.85-100 Y 9.47% PARA EL C.A.60-85

Para la evaluación y análisis de la mezcla se tomará en cuenta la norma IRAM-6845 que indica las especificaciones para el diseño de la mezcla arena-asfalto, así también se realizará el análisis comparativo con los valores dados por el Asphalt Institute para el diseño de las mezclas asfálticas convencionales.

Los criterios para la evaluación están basados en la tabla N°7, N°8 y N°9,

3.8.1. Evaluación de la estabilidad en función a la norma IRAM 6845 y el Asphalt Institute

Figura N°59: Evaluación de la estabilidad



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 102: Evaluación de la estabilidad

Estabilidad			
IRAM-6845	≥1800	lb	Parámetro
Cemento asfáltico betunel 85-100	1898,49	lb	Cumple
Cemento asfáltico betuflex 60-85	2606,08	lb	Cumple
Institute Asphalt	≥1800	lb	Parámetro
Cemento asfáltico betunel 85-100	1898,49	lb	Cumple
Cemento asfáltico betuflex 60-85	2606,08	lb	Cumple

Fuente: Elaboración propia

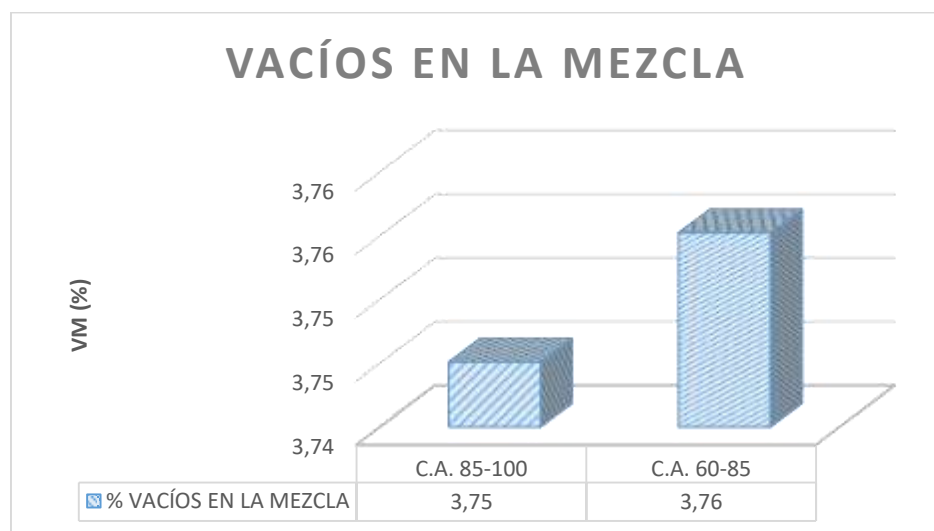
3.8.1.1. Análisis del resultado

Al observar los resultados obtenidos de estabilidad tanto para el cemento asfáltico 85-100 y el cemento asfáltico 60-85, se tiene valores bastante buenos, los cuales sobrepasan las 1800 lb, esto se debe a que cuenta con un elevado porcentaje de filler el cual fue de 10.4 %, favoreciendo para tener una buena estabilidad, otro factor determinante en esta propiedad fue el contar con arena triturada (proveniente de un material duro), la cual tiene bordes angulares permitiendo tener una mayor resistencia al momento de ser rotas en la prensa Marshall.

Se observa un incremento de estabilidad en el cemento asfáltico 60-85 de 2606.08 lb con respecto al C.A.85-100 de 1898.50 lb, a pesar de que ambos fueron trabajados con el mismo material, esta diferencia se debe a que el C.A.60-85 es un asfalto modificado que contiene polímeros y estos ayudan a aumentar la resistencia de la mezcla y es menos sensible a la temperatura y tiene mayor resistencia al envejecimiento.

3.8.2. Evaluación de vacíos en la mezcla en función a la norma IRAM 6845 y el Asphalt Institute

Figura N°60: Evaluación del porcentaje de vacíos de la mezcla



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°103: Evaluación del porcentaje vacíos de la mezcla

Vacíos en la mezcla			
IRAM-6845	2 a 4	%	Parámetro
Cemento asfáltico betunel 85-100	3,75	%	Cumple
Cemento asfáltico betuflex 60-85	3,76	%	Cumple
Institute Asphalt	3 a 5	%	Parámetro
Cemento asfáltico betunel 85-100	3,75	%	Cumple
Cemento asfáltico betuflex 60-85	3,76	%	Cumple

Fuente: Elaboración propia

3.8.2.1. Análisis del resultado

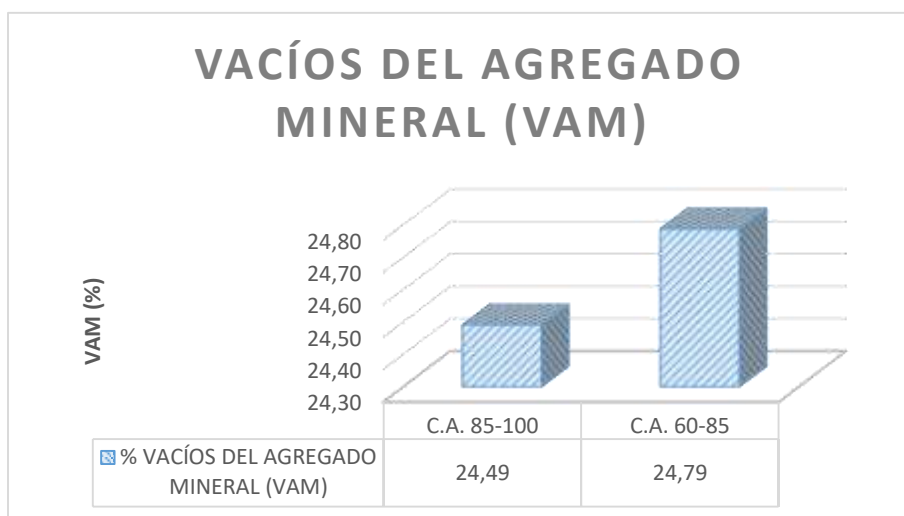
El porcentaje de vacíos en la mezcla es de 3.75% para el C.A 85-100 y 3.76 % para el C.A. 60-85, esto se debe a que el peso específico que tiene el material es alto, mientras mayor peso específico menor porcentaje de vacíos y por esta razón tiene una buena relación entre la densidad de los materiales con la densidad máxima teórica, estando más próxima a la densidad máxima que genera un porcentaje de vacío bajo. Otro factor

influyente es el porcentaje de asfalto mientras mayor sea éste, menor será el porcentaje de vacíos de la mezcla.

El porcentaje de vacíos de la mezcla con C.A.65-85 es un poco mayor que de la mezcla con C.A.85-100 esto se debe a que el peso específico del C.A.60-85 es de 1.002 kg/cm³ menor que del C.A.85-100 con un peso específico de 1.005 k/cm³.

3.8.3. Evaluación de los vacíos en el agregado mineral VAM en función a la norma IRAM 6845 y el Asphalt Institute

Figura N°61: Evaluación del porcentaje de vacíos del agregado mineral



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°104: Evaluación del porcentaje de vacíos del agregado mineral

Vacíos del agregado mineral (VAM)			
IRAM-6845	>12	%	Parámetro
Cemento asfáltico betunel 85-100	24,49	%	Cumple
Cemento asfáltico betuflex 60-85	24,79	%	Cumple
Institute Asphalt	>16	%	Parámetro
Cemento asfáltico betunel 85-100	24,49	%	Cumple
Cemento asfáltico betuflex 60-85	24,79	%	Cumple

Fuente: Elaboración propia

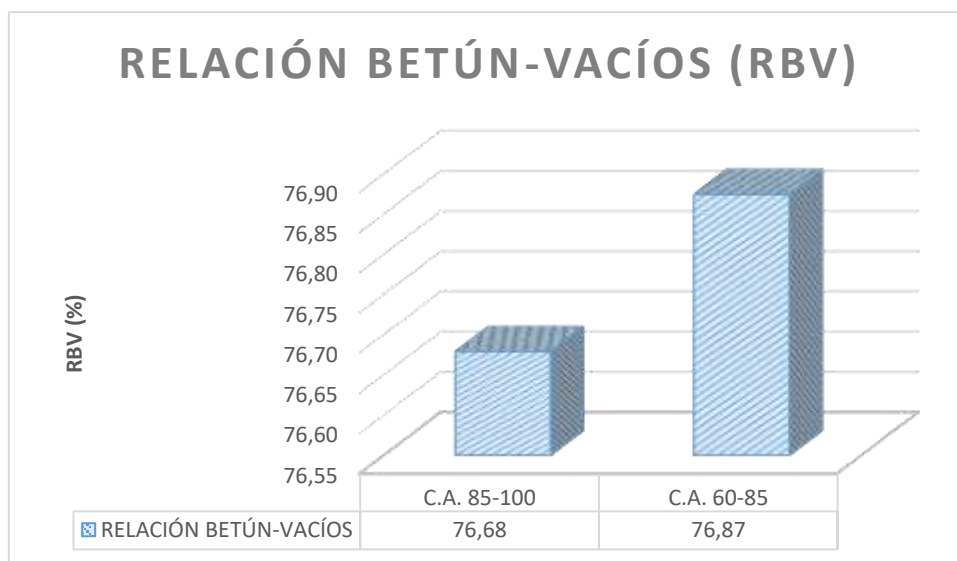
3.8.3.1. Análisis del resultado

Los valores obtenidos en el porcentaje de vacíos del agregado mineral son altos, esto se debe a que el porcentaje de cemento asfáltico es elevado, ya que a mayor cantidad de asfalto, mayor será el porcentaje de vacíos del agregado mineral. Otro factor que influyó para que se tengan estos valores, es la densidad del material mientras éste sea mayor, de igual forma lo será el porcentaje de vacíos del agregado mineral.

La diferencia que existe entre el VAM de la mezcla con C.A. 85-100 y la mezcla con C.A. 60-85 se debe a que el peso específico del C.A. 60-85 es menor al del C.A. 85-100, ya que si el peso específico del asfalto es mayor, menor será el VAM.

3.8.4. Evaluación de la relación betún vacíos RBV en función a la norma IRAM 6845 y el Asphalt Institute

Figura N°62: Evaluación de la relación betún - vacíos



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°105: Evaluación de la relación betún - vacíos

Relación betún-vacíos (RBV)			
IRAM-6845	68 a 78	%	Parámetro
Cemento asfáltico betunel 85-100	76,68	%	Cumple
Cemento asfáltico betuflex 60-85	76,87	%	Cumple
INstitute Asphalt	65 a 75	%	Parámetro
Cemento asfáltico betunel 85-100	76,68	%	No cumple
Cemento asfáltico betuflex 60-85	76,87	%	No cumple

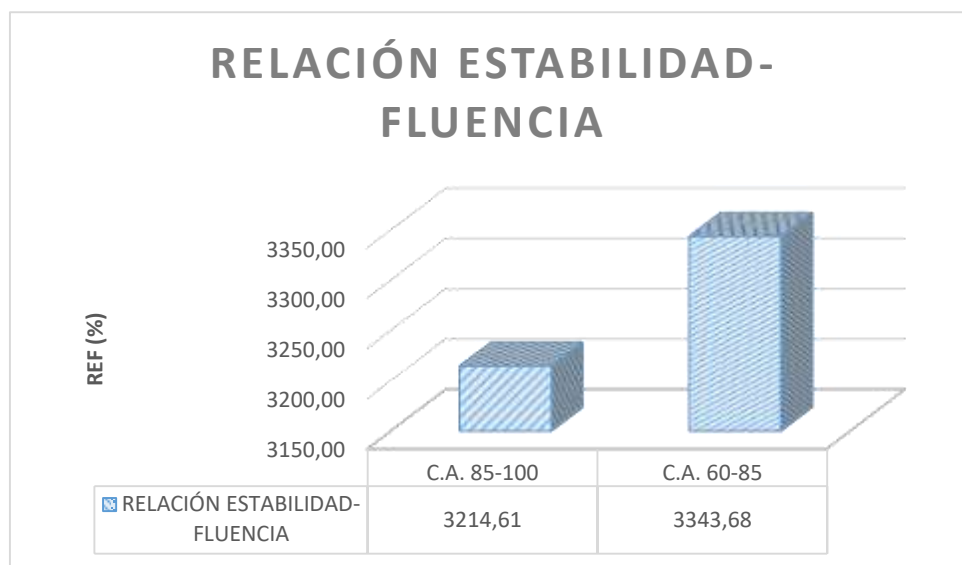
Fuente: Elaboración propia

3.8.4.1. Análisis del resultado

Los valores obtenidos de la relación betún vacíos, con los dos tipos de asfalto que se trabajó se debe a la relación directa que existe en el vacío de la mezcla y el vacío del agregado mineral, ya que cuando se tiene un alto VAM éste hace que el RBV sea mucho mayor, en este caso el VAM aumenta a medida que es mayor el porcentaje óptimo, mientras que el vacío de la mezcla hace que el RBV disminuya cuando éste sea mayor, pero este no es el caso ya que el porcentaje de vacíos de la mezcla es bajo porque se tiene un alto porcentaje de asfalto, los cuales hacen que se tenga un elevado RBV pero que está dentro de los parámetros exigidos por la norma IRAM, donde la diferencia de estos RBV entre nuestros asfaltos es el simple hecho de contar con pesos específicos un poco diferentes, lo cual refleja una diferencia de 0.02%.

3.8.5. Evaluación de la relación estabilidad-fluencia en función a la norma IRAM 6845 y el Asphalt Institute

Figura N°63: Evaluación de la relación estabilidad fluencia



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°106: Evaluación de la relación estabilidad-fluencia

Relación estabilidad-fluencia			
IRAM-6845	2500 a 4000	kg/cm	Parámetro
Cemento asfáltico betunel 85-100	3214,61	kg/cm	Cumple
Cemento asfáltico betuflex 60-85	3343,68	kg/cm	Cumple
Institute Asphalt	No exige		

Fuente de elaboración propia

3.8.5.1. Análisis del resultado

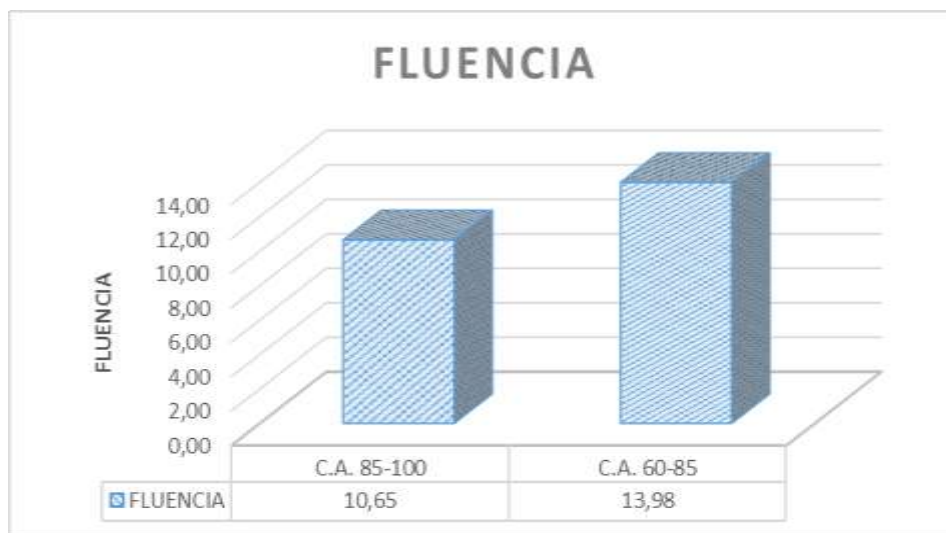
El valor obtenido se debe a la relación que existe entre la estabilidad y la fluencia, ya que si la fluencia es alta y la estabilidad baja la relación será baja, mientras que si la estabilidad es alta y la fluencia muy baja la relación será alta. por lo que para estar dentro del rango exigido tiene que a ver una relación buena entre ambos para cumplir con estos parámetros.

El valor de la estabilidad está relacionado con la cantidad de filler, en nuestra mezcla usamos un alto contenido del mismo por eso nuestra estabilidad es elevada, la fluencia depende del porcentaje de cemento asfáltico por lo que a mayor asfalto mayor será la fluencia. Y es por eso que la relación entre la estabilidad y la fluencia nos dan estos valores.

La diferencia existente entre la relación estabilidad fluencia, entre los diferentes tipos de asfalto se debe a que el asfalto betuflex 60-85 tiene mayor soporte, es más resistente a la deformación, tiene una reducida sensibilidad térmica.

3.8.6. Evaluación de la fluencia en función a la norma IRAM 6845 y el Asphalt Institute

Figura N°64: Evaluación de la fluencia



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°107: Evaluación de la fluencia

Fluencia		
IRAM-6845	No exige	
Institute Asphalt	8 a 14	Parámetro
Cemento asfáltico betunel 85-100	10,65	Cumple
Cemento asfáltico betuflex 60-85	13,98	Cumple

Fuente de elaboración propia

3.8.6.1. Análisis del resultado

Los valores de fluencia son directamente proporcionales a la cantidad de cemento asfáltico, a mayor cantidad de cemento asfáltico mayor será la fluencia.

3.9. APLICACIÓN DE LA MEZCLA ARENA-ASFALTO EN EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

3.9.1. EN EL MANTENIMIENTO RUTINARIO

3.9.1.1. Sellado de fisuras y grietas

Descripción

El sello de fisuras (aberturas iguales o menores a 3 mm). Rellenar las fisuras con material para impedir que se infiltre el agua, con el fin de prevenir su agrietamiento más severo como piel de cocodrilo.

- (mezcla arena-asfalto, no es apto para este tipo de mantenimiento)

3.9.1.2. Parchado superficial

Descripción

Consiste en reconstruir localmente la capa de rodadura en los pequeños deterioros que empiezan a formarse cuya desintegración puntual así lo requiera (deformaciones, agrietamientos, baches), y en general todos aquellos deterioros locales

El parchado superficial comprende y reemplazar áreas del pavimento que se encuentra deterioradas, siempre que afecten exclusivamente a la carpeta asfáltica, encontrándose en buenas conducciones la base granular y demás capas de suelos.

Materiales

Se utiliza mortero asfáltico en caliente (mezcla arena-asfalto), el método de dosificación y control del mortero asfáltico, será el método Marshall (IRAM-6845)

Procedimiento de ejecución con la mezcla arena-asfalto:

- Instalar señales de prevención y dispositivos de seguridad, así como contar con los bandereros y paleteros requeridos.
- Delimitar el área por remover, marcándola con pintura; darle forma rectangular o cuadrada comprendiendo toda la zona deteriorada hasta unos 0.30 m dentro del pavimento circundante en buen estado.
- Cortar por líneas que delimitan el área por remover dejando paredes verticales (de preferencia con sierra) remover la mezcla hasta la profundidad que se encuentre la mezcla sana, sin grietas. En los baches alcanzar como mínimo hasta el punto más profundo. Poner especial cuidado en no dañar ni soltar la base granular subyacente.
- Retirar los materiales sobrantes y transportarlos solo a botaderos autorizados donde deben colocarse en forma ordenada y cubrirse completamente con, a lo menos 0.3 m del suelo.

Las acciones de parchado pueden ser manual o de bacheo mecanizado.

Parchado manual

- Limpiar las paredes y el fondo de la zona removida mediante barrido comprimido, hasta eliminar todas las partículas sueltas y el polvo.
- Colocar el imprimante o liga mediante escobillo u otros procedimientos que permitan un cubrimiento uniforme.

- Antes de colocar la mezcla asfáltica (mezcla arena-asfalto), verificar que la imprimación haya penetrado al menos unos 10 mm en las bases granulares.
- Extender y nivelar la mezcla arena-asfalto mediante rastrillos y colocar la cantidad justa y necesaria para cubrir toda el área para rellenar.
- Compactar con el rodillo manual, el desnivel en los bordes no debe sobrepasar los 3 mm.

Parchado mecanizado

- Mediante una bachada mecanizada, especialmente diseñada para estos efectos, en forma secuencial limpiar el área con aire a presión. Aplicar el imprimante o riego de liga y mediante su proyección a presión, colocar la mezcla arena-asfalto con la cual se va rellenar.

3.9.1.3. Parchado profundo

Materiales

Se utiliza mortero asfáltico en caliente (mezcla arena-asfalto), el método de dosificación y control del mortero asfáltico, será el método Marshall (IRAM-6845)

Procedimiento:

- Marcar la zona a recuperar, marcando al menos unos 0.3 metros fuera del área dañada.
- El área a delimitar debe ser de forma rectangular, con dos de sus lados perpendicular al eje del camino.
- Posteriormente, deberá cortarse sobre la demarcación realizada, con un equipo de corte.
- En las paredes y fondo donde se realizó la remoción deberá limpiarse mediante un barrido.
- Cubrir la superficie con un ligante, usando escobillones u otro material que permita esparcirlo uniformemente.

- Verificar que la imprimación haya penetrado según lo especificado antes de esparcir la mezcla arena-asfalto.
- La mezcla de arena-asfalto se extenderá y nivelará mediante rastrillos, colocando la entidad adecuada para que sobresalga unos 6 mm sobre el pavimento circundante, en los extremos y coincidiendo con las líneas de corte de la zona.
- Se deberá compactar con un rodillo de neumático o liso de 3 a 5 t de peso. Alternativamente podrá utilizarse un rodillo manual, dependiendo del espesor de la capa por compactar.
- El desnivel máximo en la zona reparada y el pavimento que la rodea será de 3 mm

3.9.1.4. Tratamientos en zonas de exudación

Descripción

Se refiere a la eliminación del exceso de asfalto en la carretera que se presenta en partes de ella o en su totalidad del ancho.

- No es necesario la mezcla arena asfalto para este mantenimiento, ya que solo se usa arena para este tipo de mantenimiento.

3.9.1.5. Bacheo de bermas con material granular.

Descripción

La reparación de bermas granulares no revestidas en calzadas con pavimentos flexibles. Para lo cual se procede a recebar y a compactar.

- La mezcla arena asfalto no es apto para este tipo de mantenimiento, por qué se hace uso de grava y arena puro material granular.

3.9.1.6. Nivelación de bermas con material granular

Es la nivelación de las bermas granulares no revestidas en calzadas de pavimentos flexibles, Para lo cual se procede a recebar y a compactar.

- La mezcla arena asfalto no es apto para este tipo de mantenimiento, por qué se hace uso de grava y arena puro material granular.

3.9.2. ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN PERIÓDICA

3.9.2.1. Sellos asfálticos

Descripción

Consiste en recubrimiento sobre el pavimento flexible con un riego asfáltico, es la protección oportuna de pequeñas fisuras que generalmente son precursores de daños graves.

- La mezcla arena-asfalto no es apto para este mantenimiento.

3.9.2.2. Recapados asfálticos

Descripción

Consiste en el colocado de una sobre carpeta de mezcla asfáltica en caliente sobre el pavimento flexible existente.

El recapado tiene que realizarse cuando el pavimento flexible se encuentra en un estado regular.

Materiales

El material a usar ser la mezcla arena-asfalto en caliente. Diseñada con el método Marshall IRAN-6845

Procedimiento:

- Colocar señales y dispositivos de seguridad.
- Identificar las zonas a intervenir y proceder a delimitarlas.
- Preparar la superficie para aplicar el recapado asfáltico haciendo bacheo y sellos de fisuras y grietas, si es el caso.
- Verificar las condiciones climáticas, sin lluvias.

- Aplicar el riego de liga y permitir su curado.
- Ejecutar la colocación del racapado con la mezcla arena-asfalto con la entendedora de mezcla asfáltica en caliente o maquina pavimentadora y luego compactar la mezcla extendida con rodillo vibratorio.

3.9.2.3. Fresado de carpeta asfáltica

Descripción

El fresado en frio es un proceso por el cual un equipo provisto de un cilindro rotatorio, con dientes de especial dureza, remueve pavimentos de concreto asfáltico. La remoción de 1 a 3 cm de pavimento

Material a usar

Una vez realizado el fresado se puede utilizar la mezcla arena-asfalto, diseñado con el método Marshall IRAM-6845.

Procedimiento:

- Limpiar la superficie que será fresada y colocar todos los materiales de seguridad.
- Remover con la maquina la capa de pavimento flexible de 1 a 3 cm de espesor. A la volqueta que estará recogiendo el material extraído para transportarlo a su lugar de acopio.
- Limpiar el material sobrante de tal manera que la superficie quede lo más limpia posible.
- Realizar el recapado con la mezcla arena-asfalto.

3.9.2.4. Microfresado

Descripción

Se refiera al cepillado superficial de la capa asfáltica con el objetivo de corregir las irregularidades.

- Equipo de nivelación. (la mezcla arena-asfalto no es apto para su utilización en este tipo de mantenimiento)

3.9.2.5. Reconformación de la base granular en bermas

Descripción

Consiste en escarificar, conformar, nivelar y compactar la base granular existente, con adición de un nuevo material. El objetivo es eliminar huellas, deformaciones, ondulaciones, erosiones y material suelto en la capa base, obteniendo una capa de espesor uniforme y compactado.

- Se utiliza material que conforma la base de la carretera, por lo tanto, la mezcla arena-asfalto no es apto para su empleamiento en este tipo de mantenimiento.

3.9.2.6. Nivelación de bermas con mezclas asfálticas

Descripción

Restablecer el nivel de la berma de concreto asfáltico dañada o desgastada, para evitar la deformación de un escalón lateral peligroso para los usuarios y proteger el pavimento.

Material

El material a usar será la mezcla asfáltica arena-asfalto en caliente. Diseñada por el método Marshall IRAM-6845.

Procedimiento:

- Colocar señales preventivas reglamentarias. Donde la longitud de tramo a tratar no deberá ser mayor a los 1000 metros.
- Las partes dañadas serán demolidas usando en martillo neumático y otras herramientas manuales. El concreto asfaltico será removido hasta el nivel de la base.

- Se verificará el perfil transversal de la base y se realizarán correcciones.
- Luego se nivelará y compactará la base existente con 3 pasadas de rodillo.
- La superficie de la base compactada será luego límpida con escobas con el fin de eliminar el polvo y prepararla para recibir la imprimación.
- El mortero asfáltico (mezcla área-asfalto) será colocado de forma manual en la berma, se verificará pendiente transversal de la berma.
- La compactación deberá ser realizada con un mínimo de 10 pasadas. La densidad de la mezcla deberá ser mayor o igual al 98% de la densidad Marshall.
- Hacer limpieza general del sitio de trabajo.

3.10. ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN

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

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

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

Dosificación de la mezcla con cemento asfáltico Betunel 85-100:

Tabla N°108: Dosificación para la mezcla

Cálculo de la dosificación de la mezcla arena-asfalto	
Materiales	porcentaje %
arena triturada	90,66
cemento asfáltico 85-100	9,34

Fuente: Elaboración propia.

Composición de la mezcla:

Agregado= 90,66%

Cemento asfáltico= 9,34%

Peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones = 2244,25 kg/m³.

Tabla N°109: Dosificación para 1 m³

Dosificación para un metro cúbico				
Material	Peso (Kg)	peso específico (kg/m3)	Volumen (m3)	unidad
Arena mineral	2034,64	2680,00	0,76	m3
C.A. 85-100	209,61	1005,00		kg

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°110: Planilla de precio unitario para la mezcla arena-asfalto con C.A. 85-100

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO: CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO (MEZCLA ARENA-ASFALTO)						
ACTIVIDAD: COLOCADO DE CARPETA						
UNIDAD: m3						
CANTIDAD: 1,00						
TIPO DE CAMBIO Bs/\$us:						6.96
	A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
1	-	Diesel	lt	18,00	3,72	66,96
2	-	Arena clasificada	m3	0,71	145,00	102,95
3	-	Cemento asfáltico 85-100	kg	209,61	10,29	2.156,89

Fuente: Elaboración propia.

Dosificación de la mezcla con cemento asfáltico Betuflex 60-85:

Tabla N°111: Dosificación para la mezcla

cálculo de la dosificación de la mezcla arena-asfalto	
materiales	porcentaje %
arena triturada	90,53
cemento asfáltico 85-100	9,47

Fuente: Elaboración propia.

Composición de la mezcla:

Agregado= 90,53%

Cemento asfáltico= 9,47%

Peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones= 2239,22 kg/m³.

Tabla N°112: Dosificación para 1 m³

Dosificación para un metro cúbico				
Material	Peso (Kg)	peso específico (kg/m3)	Volumen (m3)	unidad
Arena mineral	2027,17	2680	0,76	m3
C.A. 85-100	212,05	1002		kg

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°113: Planilla de precio unitario para la mezcla arena-asfalto con C.A.60-85

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO: CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO (MEZCLA ARENA-ASFALTO)						
ACTIVIDAD: COLOCADO DE CARPETA						
UNIDAD: m3						
CANTIDAD: 1,00						
TIPO DE CAMBIO Bs/\$us:						6.96
	A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
1	-	Diesel	lt	18,00	3,72	66,96
2	-	Arena clasificada	m3	0,71	145,00	102,95

Fuente: Elaboración propia.

3.11. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USAR LA MEZCLA ARENA-ASFALTO EN CALIENTE

3.11.1. Desventajas

- Elevado costo para su elaboración, por el alto contenido de cemento asfáltico.
- En pavimentos flexibles de tráfico pesado no es conveniente usar la mezcla arena-asfalto por ser propenso a la deformación permanente.

3.11.2. Ventajas

- Una mayor facilidad de emplearlo en el trabajo.
- Bajo porcentaje de vacíos, haciendo de los lugares donde se emplee esta mezcla sea más impermeable que los lugares donde se usa la mezcla convencional.
- Un cavado fino sin necesidad de hacer otros cavados en la superficial.
- Solo se requiere de arena y asfalto para su elaboración sin la necesidad del uso de grava.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se pudo estudiar la mezcla arena asfalto, con materiales que son propios de nuestra región, al trabajar con dos tipos de arenas, una arena natural y la otra arena triturada se pudo observar que, en el momento de elaborar una mezcla asfáltica de este tipo, es un factor muy determinante la procedencia del mismo, ya que al trabajar con una arena natural esta es muy blanda como lo demuestra el ensayo desgaste de los ángeles, dando un desgaste del 41.16%, por otra parte las partículas de arena tiene los bordes desgastados y lisos, estos son factores por lo cual la mezcla elaborada con este tipo de arena no pudo cumplir con ninguna de las propiedades exigidas en la norma IRAM-6845 para un diseño Marshall, por lo que no se pudo evaluar esta mezcla con este tipo de arena, a pesar de cumplir con algunas exigencias en su caracterización como cumplir con el rango del equivalente de arena de 58.18 % mayor al 50% y entrar en la faja granulométrica especificada para la mezcla arena-asfalto.

Mientras que, con la arena triturada, no solo cumple con las especificaciones de la caracterización exigida en la norma, sino que también se pudo diseñar la mezcla arena-asfalto observando sus propiedades para su posterior evaluación y cumpliendo con las exigencias en la norma IRAM-6845, utilizando dos tipos de asfalto los cuales fueron el cemento asfáltico BETUNEL y el cemento asfáltico BETUFLEX los cuales son usados en nuestro medio.

- La diferencia más notable entre las propiedades de los dos tipos de cemento asfálticos con los que se trabajó el betunel 85-100 Y betuflex 60-85, es la estabilidad, en la cual el cemento modificado con polímeros (60-85) tiene una estabilidad de 2606.08 lb y en el cemento asfáltico convencional (85-100) se tiene 1898.49 lb, ambas superan las 1800lb exigidas por la norma tanto para la mezcla arena asfalto como para las mezclas convencionales.

- En el ensayo Marshall la fluencia nos arrojó valores altos de 10.65 para C.A. 85-100 Y 13.98 para C.A. 60-85. A pesar de no contar con parámetros de fluencia para este tipo de mezcla podríamos decir que estos son buenos, ya que en la relación estabilidad-fluencia estas dieron dentro del rango normado por la norma IRAM-6845 de 2000kg/cm – 4000kg/cm los cuales fueron, 3214.61 kg/cm para C.A.85-10 y 3343.68 kg/cm C.A.60-85 y está dentro de los rangos de fluencia exigida para las mezclas asfálticas convencionales por el Institute Aspalth.
- Los otros parámetros de diseño de la mezcla no sufrieron grandes cambios en cuanto a la utilización de un cemento asfáltico a otro, la variación es mínima, por lo cual no existe un mejoramiento notable al utilizar un cemento asfáltico con respecto al otro.

Vacíos en la mezcla		
Cemento asfáltico betunel 85-100	3,75	%
Cemento asfáltico betuflex 60-85	3,76	%
Vacíos del agregado mineral		
Cemento asfáltico betunel 85-100	24,49	%
Cemento asfáltico betuflex 60-85	24,79	%
Relación betún -vacíos		
Cemento asfáltico betunel 85-100	76,68	%
Cemento asfáltico betuflex 60-85	76,87	%

- Lo más notable en este tipo de mezcla es la cantidad de cemento asfáltico que se necesita para su elaboración, con un porcentaje óptimo de 9.34% para C.A. 85-100 y 9.47% para C.A. 60-85, por lo que esto incidiría en un costo elevado en caso de requerir grandes cantidades de esta mezcla mientras que en las mezclas convencionales el porcentaje de cemento asfáltico oscila entre 4.5% y 6 %.

- El costo de la mezcla arena asfalto es mucho mas elevado ya que el costo de ejecución por m³ es de 3239 bs con el C.A. betunel 85-100 y 4096 bs para el C.A. betuflex 60-85, mientras que el costo para la ejecución de una mezcla convencional oscila entre lo 2700 bs el m³ ejecutable, existiendo una gran diferencia entre los precios de la mezcla convencional y la propuesta.
- La mezcla arena-asfalto es una mezcla con baja permeabilidad ya que cuenta con pocos vacíos en su estructura, y al no contar con material grueso tiene un acabado mucho más fino sin necesidad de hacer acabados en su superficie, esta mezcla tiende a deformarse permanentemente por la elevada fluencia que tienen, por lo cual es preferible usarla en pavimentos diseñados para trafico liviano.
- Se pudo realizar un análisis de los tipos de mantenimientos tanto rutinarios como periódicos de los pavimentos flexibles en los cuales se podría aplicar la mezcla arena-asfalto, ya que cuenta con buenas propiedades y características, este tipo de mezcla se puede utilizar en todos los mantenimientos donde se empleen mezclas asfálticas en caliente.
- Si bien la mayoría de los mantenimientos se pueden realizar con la mezcla arena-asfalto, no todos son viables para su ejecución en nuestro medio, estimando el gran costo que esto implicaría, por lo cual sería viable si se realiza el mantenimiento en pavimentos flexibles que no soliciten grandes cantidades de mezcla asfáltica y aprovechando su baja permeabilidad de la mezcla, se considera adecuado para realizar los siguientes mantenimientos:

Dentro del mantenimiento r

utinario se puede realizar mantenimientos de:

- Parchado superficial (deformaciones, agrietamientos, baches)

Dentro del mantenimiento periódico se puede realizar los mantenimientos de:

- Recapado asfáltico
- Nivelación de bermas con mezcla asfáltica.

4.2. RECOMENDACIONES

- Uno de los principales problemas que se presentan en el diseño de una mezcla es conseguir un buen material que cumplan con buenas características, por lo que no se debe trabajar con arenas de procedencia natural, ya que como se demostró en el estudio, no cumple con las especificaciones exigidas para el diseño de la mezcla arena asfalto, se recomienda trabajar con arena triturada en su preferencia de roca dura para mejorar aún más las propiedades de la mezcla.
- Tomar en cuenta la temperatura a momento de realizar el diseño, cumpliendo con la temperatura de compactación adecuada, evitando así el recalentamiento de la mezcla.
- Al momento de golpear con el martillo compactador, se recomienda realizarlos a una velocidad constante manteniendolo siempre perpendicular al suelo evitando inclinaciones, ya que estas fallas harán que den datos erróneos.
- En cuanto a la utilización de cemento asfáltico, es conveniente usar el C.A.85-100 ya que cumple de manera satisfactoria con las especificaciones de la norma IRAM-6845, en cuanto al C.A.60-85 brinda una mayor estabilidad a la mezcla, pero la dificultad de conseguir este material y el costo más elevado que implica, lo hacen desfavorable a la hora de querer trabajar con este cemento asfáltico.
- La mezcla Arena-Asfalto, a pesar de contar con una buena estabilidad, tiene una fluencia elevada por lo que es más propenso a las deformaciones permanentes, por esta razón se recomienda evitar la utilización la mezcla arena-asfalto en mantenimiento de pavimentos flexibles de tráfico pesado.
- Como es una mezcla que carece de agregado grueso, tiene menos vacíos que una mezcla convencional haciéndola más impermeable, por lo que se recomienda realizar el mantenimiento con este tipo de mezcla en lugares donde se circula mucha agua en tiempo de lluvia.