

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Las necesidades y exigencias de las ciudades modernas, han procurado que las técnicas actuales en la construcción de caminos cumplan con las demandas de los usuarios, hoy en día los productos asfálticos han tenido gran desarrollo y se cuenta con varios tipos de asfaltos.

Las mezclas asfálticas son materiales compuestos por áridos, filler y ligantes asfálticos, mezclados en distintas proporciones. Este material ha sido considerado por mucho tiempo como uno de los materiales más importantes utilizados en las capas superiores de los pavimentos flexibles. Esto se debe principalmente a las propiedades funcionales y estructurales que posee este material, que permite por una parte, obtener un buen nivel de confort y seguridad en la conducción a los usuarios, mientras que por otra, puede resistir las sollicitaciones del tráfico y del medio ambiente, obteniéndose un buen nivel de durabilidad acorde al periodo de diseño considerado para la estructura de pavimento.

Se entiende por durabilidad de una mezcla asfáltica la propiedad relacionada con la capacidad del material o de sus materiales constituyentes para resistir los agentes medioambientales, tales como el efecto del agua, el envejecimiento y las variaciones térmicas; simultáneamente a las cargas originadas por el tráfico, sin presentar deterioros significativos en un periodo de tiempo considerado.

Aunque existen diferentes tipos de pavimentos flexibles con distintas propiedades que sirven a diversos propósitos (basados principalmente en el nivel de tráfico, clima, características del suelo de fundación, entre otros), todas las mezclas asfálticas utilizadas en estas estructuras deben tratar de maximizar las siguientes cualidades: la resistencia a la deformación, a la fisuración, al daño por humedad y ser durables en el tiempo. Sin embargo, independiente de la eficiencia con las cuales son diseñadas y construidas las mezclas asfálticas, éstas van a estar sometidas al efecto combinado de

solicitaciones medioambientales y altas cargas de tráfico que tenderán a producirles un daño acumulado, con un grado de severidad creciente en el tiempo.

En el departamento de Tarija y más específicamente en la ciudad de Tarija debido a que en nuestro país no se produce cemento asfáltico y dada las cercanías geográficas con los países de Perú, Argentina, Chile y Brasil, se opta por utilizar cemento asfáltico producido en estos países vecinos, como material para ser utilizado en mezclas asfálticas, recapamientos, etc. y en todo tipo de trabajos en los que el cemento asfáltico es un material necesario.

En los distintos proyectos de pavimentado en el departamento de Tarija se utilizan distintos tipos de cemento asfáltico por parte de las instituciones y las empresas privadas y entre estos está el cemento asfáltico “PETROPERÚ 85/100” y sólo se tiene por referencia o se toma como parámetro el aspecto económico y no se hace un estudio técnico de los cementos asfálticos utilizados y sobre todo de su comportamiento con los áridos extraídos del valle central de Tarija, es decir, que no se hace un análisis técnico adecuado para ver si el cemento asfáltico elegido o a elegir es el mejor para las características de cada determinado proyecto.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El aporte del presente trabajo una vez alcanzado el objetivo será el determinar las características del cemento asfáltico “PETROPERÚ 85/100” y su comportamiento en mezclas asfálticas con áridos del medio y así poder determinar si el uso de dicho cemento asfáltico en el medio se justifica, si es el más óptimo y se identificara alguna falencia plantear una solución a la misma.

Con esto tendremos un parámetro técnico para evaluar las características del cemento asfáltico “PETROPERÚ 85/100” y apreciaremos el rendimiento real del mismo como ligante en mezclas asfálticas realizadas con los áridos extraídos del medio local.

Para esto se realizará el diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando el Método de Marshall, esto se hará para tres granulometrías distintas donde se va a variar la dosificación de los agregados y se utilizará como ligante el cemento asfáltico en estudio y los resultados se van a contrastar con otro asfalto de similares características que también se emplea en nuestro medio.

1.3 DISEÑO TEORICO

1.3.1 Planteamiento del problema

1.3.1.1 Situación problemática

El nivel de servicio y el periodo de diseño de una carretera o una vía urbana no siempre se condicen y no son los esperados, esto esta principalmente ligado a la durabilidad que comprende todas las características que conducen a la larga vida. Ellas son: resistencia del asfalto a endurecerse durante la operación de mezcla, resistencia al efecto abrasivo del tránsito, resistencia del pavimento a la acción destructiva del aire, agua y a los cambios de temperatura. El término también implica flexibilidad suficiente para resistir roturas bajo las aplicaciones de carga y sus repeticiones.

En los trabajos de asfaltados realizados por las distintas instituciones y empresas privadas donde se usó cemento asfáltico Petroperú 85/100 como ligante en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, se han presentado problemas y se los ha atribuido directamente al cemento asfáltico y se ha optado por dejar de utilizarlo, sin hacer un estudio técnico adecuado para identificar las posibles causas y plantear las posibles soluciones para los mismos, eliminando así una opción que se tiene a la hora de elegir el cemento asfáltico que puede ser factible y favorable técnica y económicamente.

Son muchos los factores que pueden afectar a la calidad, rendimiento y la vida útil de una mezcla asfáltica en el futuro pavimento, los materiales las cantidades, proporciones y calidad de los mismos; los métodos constructivos; los factores climáticos a la hora

de la elaboración de la mezcla y la colocación de la misma; las condiciones del paquete estructural y/o la superficie a pavimentar; el diseño adecuado a las características propias de cada proyecto. Por todo esto me parece que no es adecuado atribuir las fallas a un solo elemento, en este caso el cemento asfáltico utilizado como ligante.

1.3.1.2 Determinación del problema

¿De qué manera y cuanto influyen las características del cemento asfáltico Petroperú 85/100 en el diseño, la elaboración y la conformación de una carpeta asfáltica elaborados con áridos del medio local y a su vez como afectan o influyen las mismas en la vida útil de las mismas?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Analizar las características del cemento asfáltico “PETROPERÚ 85/100” y su comportamiento como ligante en mezclas asfálticas en caliente con áridos extraídos del valle central de Tarija, determinando sus características mecánicas y volumétricas para poder establecer cómo y cuánto influyen dichas características en la vida útil de una carpeta asfáltica.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar los métodos y ensayos de diseño y medición de las propiedades mecánicas de mezcla asfáltica caliente.
- Realizar la caracterización de los materiales, agregados pétreos y del cemento asfáltico.
- Diseñar las mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall haciendo variar las cantidades de los materiales tanto cemento asfáltico y agregados pétreos.
- Comparar mediante Marshall el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica caliente convencional y la mezcla asfáltica modificada en Estabilidad y Fluencia.
- Realizar las conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos del trabajo realizado.

1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

1.5.1 Hipótesis

Si se experimenta con los mismos agregados haciendo variar la granulometría y utilizando dos cementos asfálticos como ligante previo análisis de las características de los mismos, entonces se podrá elaborar briquetas y someterlas a ensayos Marshall para poder obtener valores de estabilidad y fluencia, para analizar su comportamiento mecánico y volumétrico.

1.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

1.6.1. Variable independiente

Granulometría de los agregados y dos cementos asfálticos de igual clasificación.

1.6.2. Variable dependiente

Características del Cemento Asfáltico, Estabilidad y Fluencia.

1.6.3. Conceptualización y operacionalización de las variables

Cuadro N° 1.1 Conceptualización de variable independiente

Variable independiente	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Granulometría de los agregados, Cemento asfáltico	Se pretende hacer una comparación de las propiedades mecánicas y volumétricas del ensayo Marshall y los resultados	Dos cementos asfálticos de iguales características, con distintas granulometrías	Porcentaje que pasa	Realizando la dosificación en laboratorio

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 1.2 Operacionalidad de variable dependiente

Variable dependiente	Operacionalización		
	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Comportamiento mecánico y volumétrico de las mezclas asfálticas en caliente modificando el ligante.	Estabilidad	(libras)	Especificaciones del método Marshall
	Fluencia	(1/100) plg.	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 1.3 Operacionalidad de variable dependiente

Variable dependiente	Operacionalización		
	Dimensión	Indicador	Valor/Acción

Características del C.A.	Densidad	(gr/cm ³)	Especificaciones norma AASHTO
	Viscosidad		
	Índice de Penetración	(mm)	
	Punto de Inflamación	(°C)	
	Adherencia	(%)	
	Película delgada	(%)	
	Ductilidad	(cm)	
	Punto de ablandamiento	(°C)	

Fuente: Elaboración propia

1.7. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Identificación del tipo del diseño de Investigación

Investigación causal

1.7.2. Unidad de estudio o muestreo

Mezclas asfálticas en caliente por norma AASHTO, será mezclas asfálticas calientes cerradas, de granulometrías continuas.

1.7.3. Muestreo:

Población

Agregado para una mezcla asfáltica convencional en caliente y dos cementos asfálticos como ligante.

Cuadro N° 1.4 Nivel de confianza

Nivel de Confianza	Valor de la Confianza (z)
50	0,57

80	1,28
85	1,44
90	1,64
95	1,96

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 1.5 Tamaño de población y muestra

	Ensayos	Ni	Pi	qi	Pi*qi	Ni*Pi*qi	fi	ni
Caracterización de los Agregados	Granulometría	7	0,5	0,5	0,25	1,75	0,0226	3
	Densidad	4	0,5	0,5	0,25	1	0,0129	3
	Desgaste de los Ángeles	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0064	2
	Caras fracturadas	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,0032	1
	Equivalente de arena	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0097	2
	Durabilidad en sulfatos	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,0032	1
	Caracterización de los Asfaltos	Penetración	4	0,5	0,5	0,25	1	0,0129
Ductilidad		6	0,5	0,5	0,25	1,5	0,0193	3
Densidad		2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0064	2
Película delgada		4	0,5	0,5	0,25	1	0,0129	3
Punto de ablandamiento		2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0064	2
Punto de inflamación		2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0064	2
Viscosidad		2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0064	2
Diseño Marshall	Estabilidad	270	0,5	0,5	0,25	67,5	0,8710	210
	Fluencia							
	Sumatoria	310				77,5	1,00	238

Fuente: Elaboración propia

$$n_i = \frac{\sum_{i=0}^i N_i * P_i * q_i}{N * D + \frac{1}{N} * \sum_{i=0}^i N_i * P_i * q_i}$$

- Para el finito conocido

N = Población total

σ^2 = Varianza = 0,05

- Para el infinito desconocido

Valor de nivel de confianza (Z) = 1,96

Nivel de confianza = 95%

Probabilidad de que ocurra (P_i) = 0,5

Probabilidad de que no ocurra (q_i) = 0,5

$n_{total} = 270$ Tamaño de muestra

$$D = \frac{\sigma^2}{Z^2}$$

$$D = \frac{0,05^2}{1,96^2}$$

$$D = 0,00065$$

1.7.4. Resultados de cantidad de ensayos

Para la realización del diseño Marshall se tiene 15 briquetas para cada diseño, al ser 6 diseños se tiene (90) briquetas, para la verificación del diseño ya con el porcentaje óptimo del Cemento asfalto se elaborará 30 briquetas y por 6 diseños (180) briquetas.

Cuadro N° 1.6 Resumen de ensayos a realizar

Ensayos	Cantidad
Granulometría	8
Densidad	5
Desgaste de los Ángeles	2
Caras Fracturadas	2
Equivalente de Arena	3
Durabilidad en Sulfatos	2
Penetración	4
Ductilidad	6
Densidad	2
Película delgada	4
Punto de ablandamiento	2
Punto de inflamación	2
Viscosidad	2
Marshall	270

Fuente: Elaboración propia

1.7.5. Descripción de equipos e instrumentos

Para la caracterización de los agregados

Para los agregados de aportación:

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

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

Juego de Tamices: El juego de tamices debe seguir la norma ASTM E-11, lo cual contiene los tamices 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", No. 4, No. 10, No. 40, No. 200, tapa y fondo.

Para la caracterización del cemento asfáltico

Para el cemento asfáltico de aportación:

Penetrómetro de asfalto: Que sirve para determinar la penetración del cemento asfáltico.

Viscosímetro del instituto de asfalto y el baño de viscosímetro Saybolt: Con los cuales se determina la viscosidad del betún.

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

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

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

Para la dosificación y diseño de briquetas

Moldes de compactación Marshall: En estos moldes se vaciará la mezcla bituminosa, creando briquetas con distintos porcentajes de betún.

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

Para los ensayos de resistencia técnica

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

Cabezal de Rotura Marshall. - Este cabezal junto con el marco multiplex, permite realizarlos ensayos de estabilidad y fluencia para las briquetas en análisis.

1.7.6. Preparación previa

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

Junto con lo anterior debe ir un cronograma de actividades para que permita el fácil desarrollo de las actividades o acciones a realizar.

1.8. SELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MUESTREO

Es el Muestreo Estratificado

1.9. FACTIBILIDAD RECURSOS INSUMOS Y MEDIOS UTILIZADOS

Para analizar las características del cemento asfáltico Petroperú y su comportamiento en mezclas asfálticas cerradas en caliente; se debe realizar varios tipos de ensayos, que si son factibles dentro del laboratorio de suelos y asfaltos, pueden realizarse ya que se cuenta con los medios necesarios.

1.10 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS

1.10.1. Listado de actividades a realizar

Caracterización del cemento asfáltico

Verificar las características del cemento asfáltico Petroperú 85/100 y Stratura 85/100 con los ensayos contemplados por la norma ASTM y AASHTO

Densidad

Viscosidad

Índice de Penetración

Punto de Inflamación

Adherencia

Película delgada

Ductilidad

Punto de ablandamiento

Estos ensayos se realizarán para el cemento asfáltico en estudio y para otro para poder hacer una comparación.

Una vez identificadas las características se hará un análisis de la incidencia de las mismas en la elaboración de la mezcla asfáltica, es decir identificar en que incide cada una de las características en la mezcla asfáltica.

Caracterización del agregado pétreo:

Identificar un banco de materiales pétreos, en este caso se recurrirá a agregados utilizados para por el SEDECA para el asfaltado del tramo Tolomosa-Churquis que está siendo ejecutado por esta institución. Dichos agregados serán sometidos a los ensayos establecidos por la norma ASTM y AASHTO para la elaboración de una mezcla asfáltica.

Granulometría agregado Grueso

Granulometría arena (fino)

Granulometría agregado combinado

Densidad real, la densidad neta y absorción árido grueso

Densidad real, la densidad neta y absorción árido fino

Laminaridad

Prueba de desgaste de los Ángeles

Equivalente de arena

Durabilidad

Límites

Diseño y elaboración de mezcla asfáltica

Con el cemento asfáltico en estudio PETROPERÚ 85/100 y con el que se utilizará para la comparación (Stratura 85/100) se diseñará una mezcla asfáltica para tener un “ideal teórico” para contrastar estos resultados con el de una evaluación que se realizará a un asfaltado ya realizado que se identificará previamente. Asimismo, se podrá comparar los resultados obtenidos entre los dos “ideales teóricos”

La metodología utilizada para la elaboración de las mezclas asfálticas será el método de diseño de MARSHALL que está establecida en la norma ASTM y AASHTO.

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

El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclar es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que

saber qué significa cada una de estas propiedades, cómo es evaluada, y qué representa en términos de rendimiento del pavimento. Asimismo vamos a identificar como y cuanto inciden las características del cemento asfáltico en cada una de las propiedades de la mezcla asfáltica.

Pruebas a las mezclas asfálticas

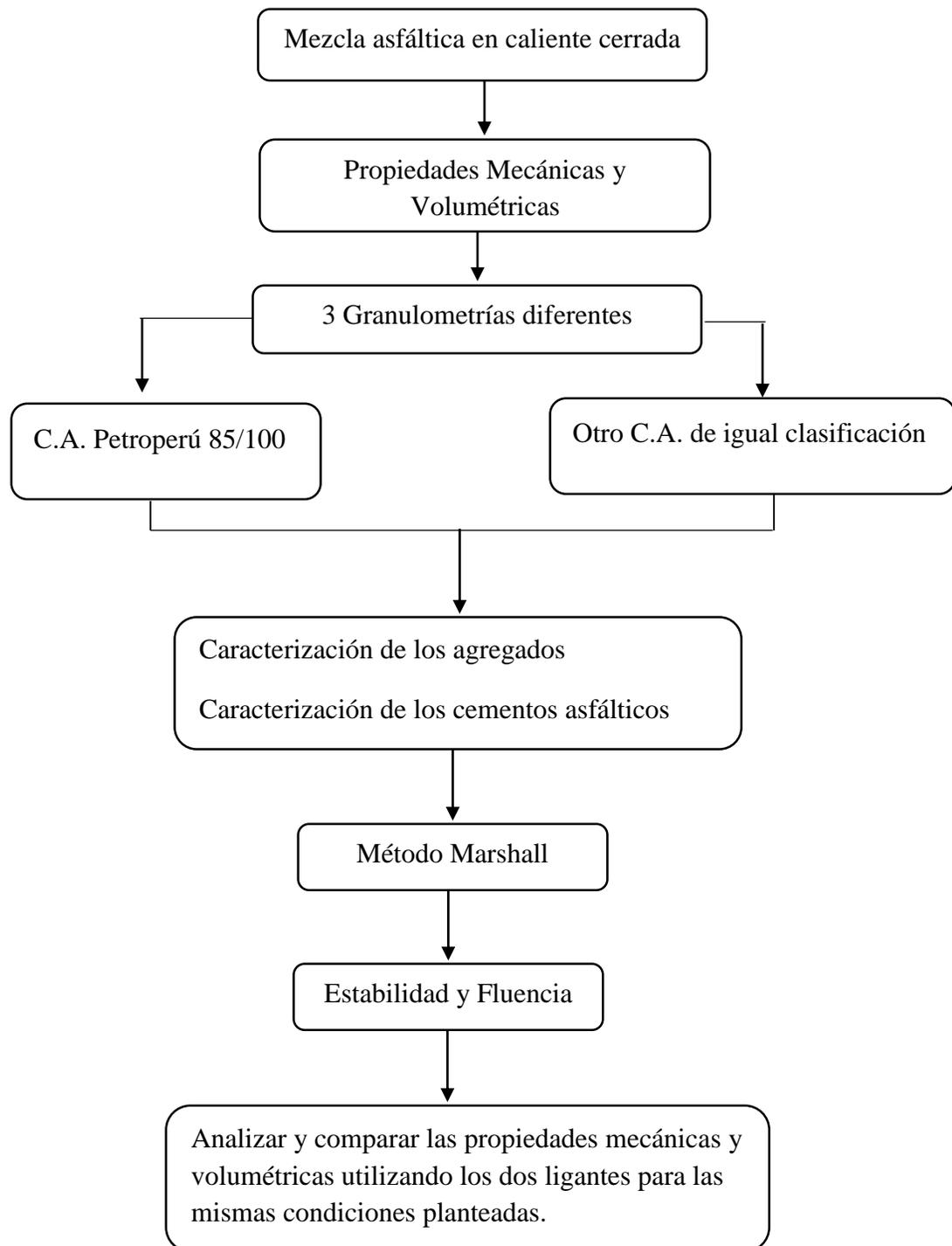
- Pruebas de Volumetría
- Pruebas Mecánicas

Estas pruebas que están establecidas en la metodología de diseño de MARSHALL serán realizadas a los dos diseños establecidos como “ideales teóricos”

Una vez realizadas estas pruebas y concluido el diseño de las mezclas asfálticas estaremos en condiciones de determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico para los dos ideales teóricos y a su vez podremos realizar una comparación entre los mismos.

1.11. Esquema de actividades en función a la perspectiva.

Figura N°1.1 Esquema de actividades



Fuente: Elaboración propia

1.11.1. Productos esperados con el procedimiento de la perspectiva

Los productos esperados en correspondencia a la perspectiva, con el procedimiento de la perspectiva sobre comparar las propiedades mecánicas y volumétricas de dos mezclas asfálticas en caliente empleando dos ligantes de igual clasificación son:

Hacer un análisis comparativo de la estabilidad y fluencia que presente una mezcla asfáltica caliente con ligante Petroperú y otra mezcla asfáltica utilizando otro ligante de igual clasificación.

Con la obtención de la resistencia y elasticidad que presentan las mezclas asfálticas en caliente elaborados con los dos ligantes, se podrá comparar ambas mezclas asfálticas en caliente y así poder o no considerar la influencia de las características del cemento asfáltico Petroperú 85/100 en la elaboración de una mezcla asfáltica.

1.11.2. Resultados esperados

Los resultados esperados al comparar las mezclas asfálticas en caliente elaborados con los dos ligantes, es que en ambos casos cumplir con las especificaciones de la metodología y obtener resultados similares para ambos tipos de ligante y así poder determinar si el uso del cemento asfáltico Petroperú como ligante en una mezcla asfáltica cerrada en caliente es adecuado y correcto y cuanto influyen las características del mismo en la vida útil de la mezcla.

1.12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- **Variables independientes**

Mezcla asfáltica normal (X1)

Ligante C.A. Petroperú

Mezcla asfáltica modificada (X2)

Otro Ligante de Igual clasificación

- **Variables dependientes**

Estabilidad (Y1)

Fluencia (Y2)

1.12.1 Selección de programas a utilizar

El programa para realizar la estadística será Statgraphics.

1.12.2. Estadística descriptiva

Variables dependientes:

Y1=Estabilidad

Y2= Fluencia

- Analizar los datos por variable
- Graficar frecuencias y/o histogramas
- Calcular las Medias

Media: Es la media aritmética (promedio) de los valores de una variable. Suma de los valores divididos por el tamaño de la muestra, es muy sensible a los valores extremos.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^i X1 = \frac{X1 + X2 + \dots + Xn}{n}$$

Mediana: Es un conjunto de datos ordenados de mayor a menor, la mediana corresponde al dato central, aquel que deja un 50% de la información abajo y el otro 50% es mayor. Es un valor que divide las observaciones en dos grupos con el mismo número de individuos.

Moda: Es el valor o valores donde la distribución de frecuencias alcanza un máximo.

Calcular las Medias de Dispersión

Desviación estándar: Es la raíz cuadrada de la varianza, es la más usada de las medidas de dispersión.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{Para población}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad \text{Para muestras}$$

\bar{X} : Se trata de la media seleccionada, se debe seleccionar la que tenga menor dispersión.

1.12.3. Estadística inferencial para comprobar la hipótesis formulada

Se debe hacer una relación entre las variables.

$$X1 \rightarrow Y1$$

$$X2 \rightarrow Y1 \}$$

$$X2 \rightarrow Y2$$

- Tabulación ordenada de los datos.
- Graficar y relacionar con las variables independientes.
- Describir y explicar las relaciones funcionales entre las variables.

1.13. ALCANCE DEL ESTUDIO

El trabajo busca aportar criterios técnicos basados en ensayos y pruebas de laboratorio que nos permitan evaluar las características del cemento asfáltico “PETROPERÚ 85/100” y su comportamiento en mezclas asfálticas utilizando áridos del medio local.

Se comenzará estudiando las características de la mezcla asfáltica analizando las características físico-mecánicas de árido y el ligante por separado. También se estudiarán las características de las mezclas asfálticas hechas con el tipo de ligante en estudio.

Es importante que se conozca algunas propiedades de las mezclas y su caracterización las cuales nos proporcionan información sobre el comportamiento del agregado y el ligante en las mismas. La influencia de la adherencia es la que determina la durabilidad de las mezclas asfálticas, bajo la necesidad de conocer algunos de estos factores que inciden en la misma, estudiándose el porcentaje de vacíos en la mezcla, contenido de ligante, consistencia de la mezcla y el contenido de agregado, etc.

Posteriormente se realizará un análisis de los resultados obtenidos con los cementos asfálticos en estudio, verificando sus características y su comportamiento en mezclas asfálticas con áridos del medio local, para luego discutir sobre su interpretación, análisis y se hará una comparación entre estos.

Al concluir el estudio, podremos evaluar las características de cemento asfáltico “PETROPERÚ 85/100” y sobre todo lo más importante evaluar su comportamiento cuando se usa como ligante en mezclas asfálticas con áridos extraídos de medio local.

2. MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1. GENERALIDADES

Hacia 1850 algunas calles de Londres se pavimentaron utilizando unas mezclas de áridos con alquitrán realizadas in situ. En torno a 1870, se empezaron a aplicar en Estados Unidos mezclas fabricadas a partir de rocas asfálticas y de asfaltos naturales, si bien estos materiales ya habían sido empleados en 1810 en algunas pavimentaciones en Burdeos y en Lyon. También hacia 1870, como consecuencia del desarrollo de la industria del petróleo, se comenzaron a emplear los betunes de destilación, un subproducto de dicha industria. En la última década de siglo XIX, el norteamericano Richardson sentó las bases de la tecnología de las mezclas bituminosas para pavimentación. Sin embargo, su producción industrializada no surgió hasta después de la Primera Guerra Mundial. El siguiente hito del desarrollo tecnológico de estos materiales hay que situarlos en la Segunda Guerra Mundial, propiciado principalmente por las necesidades de construcción acelerada de aeródromos militares.

Las mezclas bituminosas (o asfálticas), que también reciben usualmente la denominación de aglomerados, están formados por una combinación de áridos y un liante hidrocarbonado, de manera que aquellos queden cubiertos por una película continua de éste. Se fabrican de forma mecánica en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. Actualmente se emplean no sólo en los pavimentos de carreteras y de calles, sino también en otro tipo de infraestructuras con tráfico: aeropuertos, superficies industriales, pistas deportivas. Se emplean también a menudo en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesado intensos.

Para fabricar las mezclas bituminosas, los áridos se clasifican en unas fracciones uniformes, a partir de las cuales se compone la granulometría elegida. Se suele considerar por separado el polvo mineral (fracción que pasa el tamiz de 0.075mm). Los ligantes intervienen en las mezclas en proporciones diferentes según el tipo de formulación: entre el 3 y 10 por 100 sobre la masa de los áridos (en volumen, la proporción se sitúa entre el 8 y el 25 por 100, aproximadamente). En principio,

cualquier ligante hidrocarbonado podría emplearse para la fabricación de las mezclas bituminosas, pero los más usuales son los betunes asfálticos de penetración inmediata (40/50, 60/70 y 85/100) y las emulsiones bituminosas de roturas medias y lentas; cada vez se emplean más los ligantes modificados con polímeros.

En las capas de rodadura, las mezclas bituminosas presentan el inconveniente de una durabilidad sensiblemente inferior a la vida útil del firme. Ello es debido al envejecimiento del ligante, pero ocasionan también a una inadecuada formulación de la mezcla. Asimismo, como consecuencia de la naturaleza del ligante, la rigidez de una mezcla bituminosa varía apreciablemente con la temperatura, lo que también es un inconveniente.

2.1.1. Mezclas asfálticas en la construcción de firmes

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por esta.

Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de un firme:

1. La función resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
2. La finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del firme, para que resulten seguras y confortables. A estas capas superiores se le denomina pavimento.

2.1.2. Funcionalidad de las mezclas asfálticas en los firmes

Las mezclas asfálticas como ya hemos visto anteriormente sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los firmes.

Como material simplemente estructural se pueden caracterizar de varias formas. La evaluación de parte de sus propiedades por la cohesión y el rozamiento interno es comúnmente utilizada; o por un módulo de rigidez longitudinal y un módulo de transversal, o incluso por un valor de estabilidad y de deformación. Como en otros materiales hay que considerar también, la resistencia a la rotura, las leyes de fatiga y las deformaciones plásticas.

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, temperatura y duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la geología del material.

Las cualidades funcionales del firme residen fundamentalmente en su superficie. De su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción dependen, aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios como:

1. La adherencia del neumático al firme.
2. Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
3. El desgaste de los neumáticos.
4. El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
5. La comodidad y estabilidad en marcha.
6. Las cargas dinámicas del tráfico.
7. La resistencia a la rodadura (consumo de carburante).
8. El envejecimiento de los vehículos.

9. Las propiedades ópticas.

Estos aspectos funcionales del firme están principalmente asociados con la textura y la regularidad superficial del pavimento.

Actualmente la geología de las mezclas está bien estudiada tanto desde el punto de vista experimental como teórico, con una consecuencia práctica inmediata: la mejor adaptación de las fórmulas de trabajo y de los materiales a las condiciones reales de cada pavimento. Por ejemplo, son fácilmente asequibles estos ajustes, según la región climática o las condiciones de la velocidad de los vehículos, en los métodos de diseño de pavimentos.

Como resumen, se puede decir que en una mezcla asfáltica, en general, hay que optimizar las siguientes propiedades:

Estabilidad

Durabilidad

Resistencia a la Fatiga

Si la mezcla se usa como capa de rodadura hay que añadir las siguientes propiedades:

Resistencia al deslizamiento

Regularidad

Permeabilidad adecuada

Sonoridad

Color

Cuadro No. 2.1 Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas.

Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas
--

<p>Seguridad Resistencia al deslizamiento Regularidad transversal Visibilidad (marcas viales)</p>
<p>Comodidad Regularidad longitudinal Regularidad transversal Visibilidad Ruido</p>
<p>Durabilidad Capacidad de soporte Resistencia a la desintegración superficial</p>
<p>Medio ambiente Ruido Capacidad de ser reciclado</p>
<p>Trabajabilidad</p>

Fuente: RUIZ R. “La Calidad y la Seguridad en las Infraestructuras”

Cuadro 2.2 Propiedades técnicas de las mezclas asfálticas.

Textura Superficial
Conductividad Hidráulica
Absorción de ruido
Propiedades mecánicas (con relación al tráfico) Resistencia a la fisuración por la fatiga Resistencia a las deformaciones plásticas permanentes Módulo de rigidez Resistencia a la pérdida de partículas
Durabilidad (en relación con el clima) Resistencia a lavado por el agua Resistencia a la fisuración térmica Resistencia a la fisuración por reflexión Resistencia al envejecimiento
Trabajabilidad Compactabilidad Resistencia a la segregación agregado grueso/fino Resistencia a la segregación agregado/ligante

Fuente: RUIZ R. “La Calidad y la Seguridad en las Infraestructuras”

2.1.3. Definición de Mezcla Asfáltica

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonado, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de éste. Se fabrican en centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra allí se extienden y se compactan.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados intensos.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5 % de polvo mineral (filler) y otro 5 % de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

2.1.4. Clasificación de las mezclas asfálticas

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

a) Por fracciones de agregado pétreo empleado

Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.

Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.

Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.

Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

b) Por la temperatura de puesta en obra

Mezclas asfálticas en Caliente: se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante,

se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la del ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

Mezclas asfálticas en frío: el ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

c) Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

Mezclas cerradas o densas: la proporción de vacíos no supera el 6 %.

Mezclas semi-cerradas o semi-densas: la proporción de vacíos está entre el 6 % y el 12 %.

Mezclas abiertas: la proporción de vacíos supera el 12 %.

Mezclas porosas o drenantes: la proporción de vacíos supera el 20 %.

d) Por el Tamaño máximo del agregado pétreo

Mezclas Gruesas: donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10mm. También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

e) Por la Estructura del agregado pétreo

Mezclas con esqueleto mineral: poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno e los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos

asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.

Mezclas sin esqueleto mineral: no poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

f) Por la Granulometría

Mezclas Continuas: una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.

Mezclas Discontinuas: una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.

Cuadro No 2.3 Clasificaciones de las mezclas asfálticas.

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones de árido empleadas	Masilla Mortero Hormigón Macadam
Temperatura de puesta en obra	En Frío En Caliente
Huecos en la mezcla (h)	Cerradas ($h < 6\%$) Semicerradas ($6\% < h < 12\%$) Abiertas ($h > 12\%$) Porosas ($h > 20\%$)
Tamaño máximo del agregado (t máx.)	Gruesas (t máx. $> 10\text{mm.}$) Finas (t máx. $< 10\text{mm.}$)
Estructura del árido	Con esqueleto mineral Sin esqueleto mineral
Granulometría	Continuas Discontinuas

Fuente: RUIZ R. “La Calidad y la Seguridad en las Infraestructuras”

2.1.5. Tipología de las Mezclas Asfálticas

2.1.5.1. Mezcla asfáltica en caliente

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% en volumen de agregados pétreos.

2.1.5.2. Mezcla asfáltica en frío.

Son mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el

cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión en la mezcla.

2.1.5.3. Mezcla porosa o drenante.

Se emplean en capas de rodadura, principalmente en vías de circulación rápida, se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que varían entre el 4.5% y 5% de la masa de agregados pétreos, con asfaltos normales, se aplican en vías secundarias, vías urbanas o en capas base bajo los pavimentos de hormigón.

2.1.5.4. Micro aglomerado.

Son mezclas con un tamaño máximo de agregado pétreo limitado inferior a 10 mm. Lo que permite aplicarlas en capas de pequeño espesor. Tanto los microaglomerados en frío (se suele llamar así a las lechadas asfálticas más gruesas) como los microaglomerados en caliente son por su pequeño espesor (que es inferior a 3 cm.) tratamientos superficiales con una gran variedad de aplicaciones.

Hay micro aglomerados con texturas rugosas hechas con agregados pétreos de gran calidad y asfaltos modificados, para las vías de alta velocidad de circulación.

2.1.5.5. Masillas.

Son unas mezclas con elevada proporción de polvo mineral y de ligante, de manera de que si hay agregado grueso, se halla disperso en la masilla formada por aquellos, este tipo de mezcla no trabaja por rozamiento interno y su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla.

Las proporciones de asfalto son altas debido a la gran superficie específica de la materia mineral. Dada la sensibilidad a los cambios de temperatura que puede tener una estructura de este tipo, es necesario rigidizar la masilla y disminuir su

susceptibilidad térmica mediante el empleo de asfaltos duros, cuidando la calidad del polvo mineral y mejorando en ligante con adición de fibras.

2.1.5.6. Mezclas de alto módulo

Su proceso de elaboración es en caliente, citando específicamente las mezclas de alto módulo para capas de base, se fabrican con asfaltos muy duros. A veces modificados, con contenidos asfálticos próximos al 6% de la masa de los agregados pétreos, la proporción de polvo mineral también es alta, entre el 8% y 10%. Son mezclas con un elevado módulo de elasticidad, del orden de los 13,000 Mpa. A 20 grados centígrados y una resistencia a la fatiga relativamente elevada. Se utilizan en capas de espesores de entre 8 y 10 cm. Tanto para rehabilitaciones como para la construcción de firmes nuevos, con tráfico pesado de intensidad media o alta. Su principal ventaja frente a las bases de grava-cemento es la ausencia de agrietamiento debido a la retracción o como las mezclas convencionales en gran espesor la ventaja es una mayor capacidad de absorción de tensiones y en general una mayor resistencia a la fatiga, permitiendo ahorrar espesor.

2.2. MATERIALES BÁSICOS

2.2.1. Agregados Pétreos

Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin la adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos.

2.2.1.1. Tipos de agregados pétreos

El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

a) Agregados Naturales.

Son aquellos que se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final.

b) Agregados de trituración.

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales canterables sean adecuadas.

c) Agregados artificiales.

Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

2.2.1.2. Propiedades de los agregados pétreos

Las propiedades de los agregados se pueden conceptuar bajo dos puntos de vista: uno como elementos aislados, o individuales, y otro como conjunto.

2.2.1.2.1. Propiedades individuales

Los agregados como elementos aislados tienen propiedades físicas macroscópicas: dimensión, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie, porosidad, permeabilidad, dureza superficial, módulo elástico, conductividad térmica, dilatación, etc. Asimismo, presentan unas propiedades químicas macroscópicas: solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, etc.

2.2.1.2.2. Propiedades de conjunto

Las propiedades de conjunto de los agregados pétreos son sus características como un todo.

La distribución de la redondez o desgaste de los agregados es una propiedad de gran interés, por cuanto va a influir sobre el rozamiento entre los elementos del agregado.

2.2.1.3. Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño

2.2.1.3.1. Agregado grueso

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz #4.

Características y propiedades deseables de los agregados gruesos para su utilización en las mezclas asfálticas.

Granulometría.

La granulometría es la característica física principal y fundamental de todo conjunto de partículas porque influye de forma muy importante en la resistencia mecánica del conjunto (esqueleto mineral). Normalmente se utilizan granulometrías sensiblemente continuas, a fin de conseguir la máxima capacidad del conjunto, aunque también se emplean granulometrías discontinuas en el caso de algunas mezclas asfálticas. Para encajar una granulometría dentro de algún Huso normalizado se parte de fracciones uniformes que se mezclan en las proporciones adecuadas. Los análisis granulométricos se realizan por tamizado; el procedimiento es análogo al que se emplea para suelos.

El tamaño máximo de los agregados viene normalmente limitado por consideraciones relativas al espesor de la capa extendida, trabajabilidad, segregación, etc. por otra parte la influencia de las partículas finas obliga normalmente a limitar su porcentaje y plasticidad.

En las mezclas asfálticas tiene una especial importancia la fracción de tamaño inferior a $63\mu\text{m}$, llamada, como se ha indicado, polvo mineral o filler, pues algunas características relevantes de la mezcla dependen del mástico formado por la unión del polvo mineral y del ligante asfáltico.

Rozamiento interno

La resistencia a la deformación o capacidad de soporte de una capa de firme depende esencialmente del rozamiento interno del esqueleto mineral y, en su caso, de la cohesión que proporciona el eventual ligante o conglomerante. El rozamiento interno aumenta con partículas angulosas y de textura superficial áspera como por ejemplo los agregados triturados. También influye de forma importante la granulometría del agregado y el porcentaje de huecos del material compactado. A mayores densidades corresponden generalmente mayores resistencias mecánicas, por lo que la compactación es un factor de primer orden.

Angulosidad del agregado grueso

La angulosidad del agregado grueso beneficia al esqueleto mineral debido al rozamiento interno que se genera entre las partículas, esto contribuye a que las partículas gruesas permanezcan en su lugar cuando el pavimento entre en funcionamiento y no se produzcan desplazamientos. El empleo de agregados triturados trae consigo el aumento angulosidad de las partículas. La mayoría de las normativas establecen un mínimo de angulosidad del agregado grueso, dependiendo de las condiciones de tráfico al que va a estar expuesto el pavimento.

Forma del agregado grueso

Las exigencias de forma del agregado grueso varían ligeramente, con un mismo tráfico, para las mezclas asfálticas. Lo ideal es que las partículas presenten formas cuboides, evitando o restringiendo las formas planas, alargadas y en forma de lajas, ya que como hemos dicho antes, este tipo de forma es muy susceptible a quebrarse bajo condiciones de carga de tráfico, lo que modifica las granulometrías y las propiedades iniciales de las mezclas.

Existen restricciones en las normativas de materiales para pavimentos donde se restringe el uso de las partículas con estas formas no deseadas, por medio de los índices de lajas y de agujas de las distintas fracciones de árido grueso.

Resistencia a la fragmentación de los agregados gruesos

Los agregados pétreos deben cumplir con un cierto mínimo de resistencia a la fragmentación o desgaste, lo que da una orientación del comportamiento que tendrá dicho agregado dentro de la mezcla asfáltica al entrar en servicio el pavimento.

Resistencia al pulimiento del agregado grueso para las capas de rodadura

En el ensayo de pulimiento acelerado, determina el grado de pulimiento del agregado o el coeficiente de pulido acelerado con el mismo péndulo de fricción con el que se mide el coeficiente de rozamiento en una superficie de rodadura. El coeficiente de pulido acelerado depende principalmente de la naturaleza petrográfica de la roca de origen, fue diseñado como un medio para predecir la susceptibilidad de una piedra al pulido cuando se la utiliza como ya hemos dicho en la capa de rodadura de un pavimento flexible.

Limpieza del agregado grueso

El agregado grueso deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. El contenido de impurezas del agregado grueso, según las normativas deberá ser mínimo, algo aproximado al cinco por mil (0,5%) en masa. Aunque se podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración y otros, y realizando una nueva comprobación.

La exigencia anterior podrá cuestionarse considerando que en las plantas asfálticas modernas existen poderosos sistemas para extraer el polvo e impurezas del agredo. Sin embargo, en una secuencia lógica de exigencias de

calidad y prevenciones, la limpieza inicial del agregado está totalmente justificada.

Adhesividad del agregado grueso

El agregado grueso tiene un comportamiento específico a la adhesividad y la resistencia al desplazamiento. Se preconiza la comprobación de la adhesividad agregado – ligante mediante una evaluación global de la resistencia conservada en los ensayos de inmersión – compresión, o de pérdida por abrasión en el ensayo Cántabro. Estos criterios se refieren obviamente a las propiedades de las mezclas terminadas más que a la caracterización inicial de los materiales simples: agregados y ligantes.

En cualquier circunstancia se comprobará la adhesividad agregado – ligante mediante la caracterización de la acción del agua. Se enmarcan unos parámetros mínimos en los valores de inmersión – compresión según el tipo de mezcla asfáltica a utilizar. Se podrá mejorar la adhesividad entre el árido y el ligante asfáltico mediante activantes o cualquier otro producto sancionado por la experiencia.

2.2.1.3.2. Agregado Fino

Según el sistema de clasificación de suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa por el tamiz #4 y queda retenido el tamiz #200.

Características y propiedades deseables de los agregados finos para su utilización en mezclas asfálticas

Procedencia del agregado fino

El agregado fino deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad, o en parte de yacimientos naturales. Existen limitaciones en la proporción de agregado fino no triturado a emplear en mezclas. Regularmente se emplea arena natural en la elaboración de mezclas asfálticas que van a ser empleadas en pavimentos con baja intensidad de tráfico y a bajos niveles de cargas, se deberá señalar la proporción máxima de arena natural no triturada, a emplear en la mezcla, la cual regularmente no será superior al 10% de la masa total del agregado combinado y sin que supere el porcentaje de agregado fino triturado empleado en la mezcla, la limitación de la cantidad de arena rodada o no triturada que puede incorporarse a la mezcla, se hace por temor a una disminución de la rigidez final de ésta. Hay autores y administraciones que considera que una proporción del 10% puede mejorar al tiempo la manejabilidad, la compacidad e incluso la estabilidad de la mezcla.

Limpieza del agregado fino.

El agregado fino deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga y otras materia extrañas, para evitar que se presenten comportamientos extraños del material dentro de la mezcla, tales como reacciones químicas, pérdida de estabilidad en la mezcla, abundamientos, entre otros.

Resistencia a la fragmentación del agregado fino

El material que se triture para obtener agregado fino deberá cumplir las condiciones exigidas al agregado grueso sobre el coeficiente de desgaste de Los Ángeles.

Se recomienda utilizar agregado fino de otra naturaleza, que mejore alguna característica, especialmente la adhesividad, pero en cualquier caso procederá de agregado grueso con coeficiente de desgaste de Los Ángeles inferior a 25 para capas de rodadura e intermedias y a 30 para capas de base.

Adhesividad del agregado fino

Respecto a los fenómenos de adhesividad agregado fino-ligante, hay que tener en cuenta que las reacciones químicas y químico-físicas en las partículas de menor tamaño son más complejas. Su mayor superficie específica, facilidad para acumular humedad y gran heterogeneidad de su naturaleza determinan una mayor sensibilidad a toda clase de transformaciones químicas, fenómenos polares y de adhesividad, absorción, etc.

2.2.1.3.3. Polvo mineral (Filler)

Según el sistema de clasificación de suelos SUCS, se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #200.

El filler o polvo mineral de aportación es un producto comercial de naturaleza pulverulenta. (Cemento normalmente o cenizas volantes de central térmica) o polvo en general calizo, especialmente preparado para utilizarlo en mástico para mezclas asfálticas. Cuando se trata de un producto comercial, se garantiza perfectamente su control y se conocen sus propiedades tanto físicas como químicas y su futuro comportamiento en la mezcla.

Características deseables o de mayor interés acerca del polvo mineral (filler)

Las características que más suelen interesar de un polvo mineral son:

Finura

Al ocupar parcialmente los espacios libres dejados por la estructura granular compactada y conformada por las partículas mayores, reduce el volumen de vacíos de la mezcla evitando un aumento pronunciado de la cantidad de ligante asfáltico.

El polvo mineral consigue cumplir con su función rellenadora, dependiendo del volumen de vacíos existente una vez que se haya compactado la estructura granular y en función de la granulometría y de las partículas de mayor tamaño.

La densidad aparente del polvo mineral en Tolueno es una medida relativa del grado de finura del polvo, cualidad muy importante para las características finales de las mezclas. La densidad aparente del polvo mineral, en algunas normas aparece comprendida entre cinco y ocho decigramos por centímetro cúbico (0,5 a 0,8 g/cm³).

Modificación del comportamiento Reológico

El empleo del polvo mineral, incrementa- la magnitud de la resistencia a la deformación de la mezcla, sin modificar la naturaleza viscosa del ligante, originando como consecuencia un aumento de la resistencia al corte de las mezclas asfálticas. - Acción estabilizante frente al agua. Se incrementa la durabilidad de las mezclas asfálticas frente a la acción del agua debido a que se reduce parcialmente la porosidad de la estructura granular evitando el acceso del agua al interior, y por otro lado debido a que algunos polvos minerales presentan una mayor afinidad con el ligante asfáltico, mejoran la resistencia a la acción de desplazamiento que ejerce el agua sobre el ligante asfáltico.

Procedencia del polvo mineral

El polvo mineral podrá proceder de los agregados, separándose de ellos por medio de los ciclones de la central de fabricación, o aportarse a la mezcla por separado de aquéllos como un producto comercial o especialmente preparado.

Propiedades del polvo mineral como componente de las mezclas asfálticas.

En la interface filler-asfalto y en el comportamiento de la mezcla asfáltica, tienen que

ver las propiedades físicas y químicas tanto como las características geométricas, propiedades de superficie, absorción, adhesión, etc. La irregularidad geométrica (forma, angulosidad y textura de superficie), es uno de los aspectos más importantes en el papel del filler dentro de la mezcla. La irregularidad geométrica afecta directamente el contenido óptimo de asfalto en la mezcla, a las características de interface del mástico y a su comportamiento reológico. Todos estos aspectos influyen directamente en el comportamiento estructural y mecánico de las mezclas.

2.2.1.4 Ensayos para caracterizar los agregados pétreos

a) Esqueleto Mineral

Análisis granulométrico

Por medio de este ensayo podemos determinar la distribución de tamaños de las partículas, el cual consiste en hacer pasar una cierta cantidad de muestra de agregado por una serie de tamices normalizados, en América los tamices ASTM, en un orden sucesivo de mayor a menor abertura del tamiz, quedando retenida parte de la muestra en cada tamiz.

b) Agregados gruesos

Estudio petrográfico

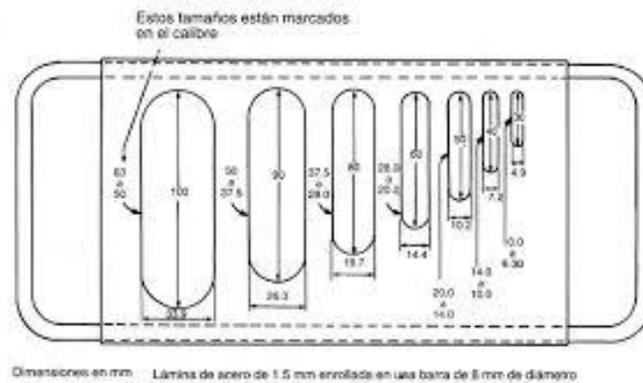
En este ensayo se determina la composición mineralógica y las características de la naturaleza de los agregados pétreos, haciendo primero una descripción macroscópica del agregado, analizando su aspecto y determinando las características físicas como homogeneidad, dureza y tenacidad, enseguida se lleva a cabo el estudio propiamente petrográfico, mediante un microscopio polarizante que permite identificar los constituyentes minerales del agregado por su color, forma, exfoliación y relieve, por último se determina el tamaño de los cristales y su posición. La muestra es una sección delgada de agregado de un espesor uniforme

aproximado a 30μ . Este estudio permite identificar los tamaños de grano, el grado de alteración del agregado y la presencia de componentes no deseables.

Índice de lajas y agujas

La forma de las partículas de agregado grueso, afecta al esqueleto mineral, las formas pueden ser redondeadas, cúbicas, lajas o agujas, siendo estas dos últimas peligrosas, porque durante el proceso de compactación o por las tensiones del tráfico, se pueden romper y eso varía su contenido en la granulometría. Se definen los índices de lajas y agujas como los porcentajes en peso, respecto a la muestra total, de las partículas que son, respectivamente, lajas o agujas. Los métodos utilizados para la determinación de dichos índices de forma se basan generalmente en la medida directa de las dimensiones de las partículas. Los ensayos se realizan por calibres de ranuras para determinar el índice de lajas y los calibres de las agujas para sacar el índice *de agujas*. Se hace pasar el retenido de cada tamiz por estos calibres y se expresa como resultado. El índice de lajas es el cociente entre lo que pasa por el calibre de ranuras y el total de muestra.

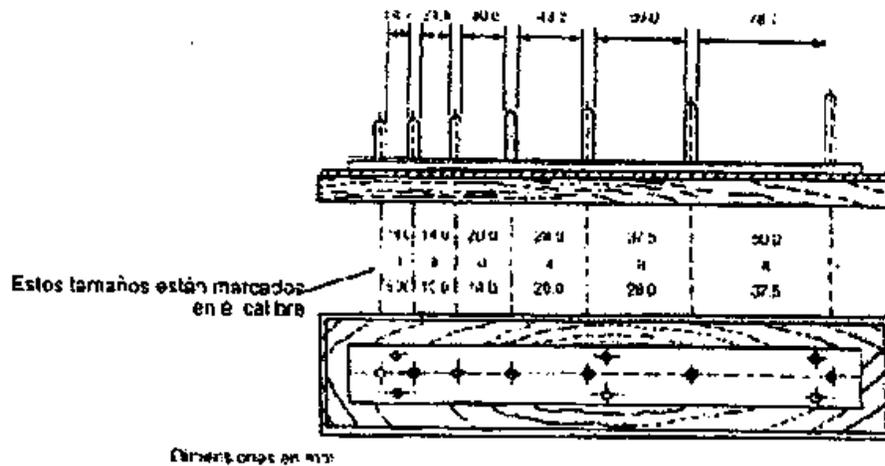
Figura No. 2.1 Calibre para la determinación del índice de lajas



Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

El índice de agujas es el cociente entre lo que retiene en el calibre de agujas y el total de la muestra.

Figura No. 2.2 Calibre para la Determinación del Índice de Agujas



Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

Forma y Caras de Fractura

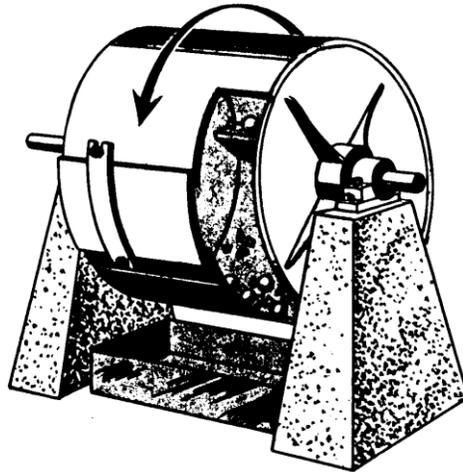
La forma de las partículas de mayor o menor angulosidad influye en la resistencia del esqueleto mineral. Para realizar este ensayo se determina el porcentaje de partículas con dos o más caras de fractura.

Ensayo de Desgaste de los Ángeles

Este ensayo caracteriza la resistencia que presentan los agregados al desgaste. La Máquina de los Ángeles consiste en un cilindro hueco de acero, con sus extremos cerrados y una abertura para introducir los áridos, que puede girar en posición horizontal. Se introducen en el cilindro unas bolas de acero como la carga abrasiva y se hace girar un determinado número de vueltas. Luego se separa la parte de la muestra que pasa por el tamiz 1.7mm ASTM. Se determina el coeficiente de desgaste de los ángeles que es la diferencia entre el peso original de la muestra y el peso después del ensayo expresada en porcentaje del peso inicial.

Si el desgaste es mayor de 50%, se asume que el agregado es de mala calidad, si el desgaste es menor de 20%, el agregado es excelente.

Figura No. 2.3 Máquina de los Ángeles.



Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

Se puede decir que coeficientes Los Ángeles superiores a 50, corresponden a agregados de muy mala calidad, no aptos para construcción de capas de firme. Por el contrario, coeficientes inferiores a 20 corresponden a áridos excelentes, con resistencia al desgaste suficiente para cualquier posible aplicación y, en particular, para capas de rodadura bituminosas, que hayan de soportar tráfico pesado.

Ensayo de Friabilidad

Este tipo de ensayo proporciona una medida relativa de la resistencia del agregado a la trituración o la degradación bajo cargas. Se toma una muestra de agregado con

un peso determinado y una granulometría dada, se dispone en un cilindro de acero en el que se encaja un pistón que se mueve a velocidad constante y ejerce una presión que varía según la muestra.

Ensayo de Péndulo de Micción

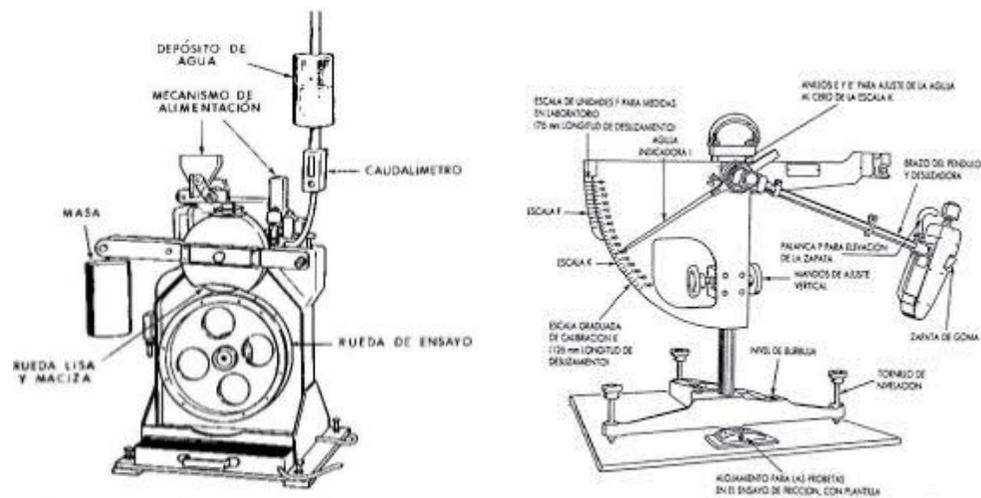
La máquina de pulido acelerado simula la acción de una rueda llena de polvo sobre las muestras de agregado pétreo colocadas sobre una lámina de resina de poliéster y montadas en moldes normalizados sobre una pista rotatoria. El pulido de las muestras se mide posteriormente utilizando un péndulo de fricción normalizado.

Primero se introducen los agregados a analizar en una probeta de mortero hidráulico y se someten a ciclos de pulido mediante abrasivos introducidos en húmedo entre las probetas colocadas periféricamente en una rueda de ensayo (máquina de pulimento acelerado), durante tres horas en arena silíceo normalizada y 3 horas con palo de esmeril.

El grado de pulimento conseguido para cada muestra se mide mediante el ensayo de fricción con un péndulo, calculando la pérdida de energía del mismo por un ángulo suplementario de oscilación. Los valores habituales del coeficiente de rozamiento oscilan entre 0.40 y 0.50.

Figura 2.4 Máquina de pulimento
Acelerado

Figura 2.5 Péndulo de Fricción



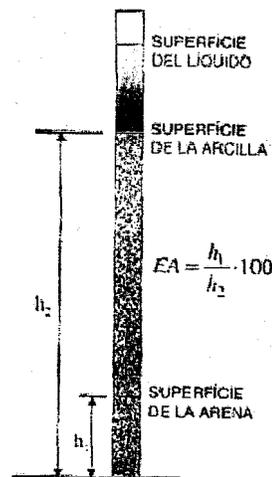
Fuente: Manual del Instituto del Asfalto Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

c) Agregados Finos

Equivalente de Arena

Con este ensayo podemos evaluar la limpieza y plasticidad de los agregados finos. El ensayo consiste en introducir una muestra de agregado en una probeta que contiene una solución floculante, se mezcla el agregado con la solución y se añade agua, dejando reposar el conjunto durante 20 minutos. Después de este tiempo se puede observar el agregado limpio en la parte inferior, en la zona intermedia las partículas contaminantes en suspensión y en la superficie el líquido relativamente limpio. Con la relación de alturas de estas zonas se determina el equivalente de arena. Se define como agregado muy contaminado el que tiene un Equivalente de Arena menor de 20 y como agregado muy limpio el que tiene un equivalente de arena mayor que 50.

Figura No. 2.6 Equivalente de Arena



Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

Resultados de equivalentes de arena inferiores a 20 corresponden a agregados muy contaminados por partículas nocivas que, en general, no deben utilizarse en capas de firme; por el contrario, valores superiores a 50 reflejan un grado de limpieza suficiente para la mayor parte de las aplicaciones.

Coefficiente de Limpieza: consiste en comparar dos granulometrías de "una misma muestra de agregados, antes y después de un lavado y secado del material. Las distorsiones entre las dos curvas no deben superar unos determinados valores.

Límites de Atterberg: el índice de plasticidad es la diferencia entre los límites líquido y plástico obtenidos mediante dos ensayos, que consisten en determinar el porcentaje de humedad existente en la muestra a partir del cual ésta cambia de estado, pasando del fluido al semisólido para el primer caso y del semisólido al sólido en el segundo caso. El ensayo para determinar el límite líquido se realiza mediante la cuchara de Casagrande y el ensayo del límite plástico se realiza fabricando unos cilindros de 3mm de diámetro.

d) Polvo Mineral (Filler)

Emulsibilidad

Es una medida de la afinidad del filler hacia los ligantes asfálticos, para verificar que no sean desplazados por el agua. El método de ensayo permite cuantificar esta propiedad mediante el concepto denominado coeficiente de emulsibilidad, que se define en las condiciones de ensayo, como la máxima cantidad de ligante asfáltico que se puede dispersar en forma de emulsión directa (ligante en agua) en un gramo de polvo mineral, sin que se produzca la inversión de la emulsión (agua en ligante). Una proporción mayor de ligante lleva a la coagulación de éste, como consecuencia de la referida inversión, separándose, entonces, en agua del sistema.

Densidad aparente en tolueno

Da una idea de la finura del filler que debe limitarse para evitar problemas en la envuelta con el ligante. El método consiste en medir el volumen ocupado por una cantidad especificada de la muestra de polvo mineral, cuando se sedimenta el tolueno. La densidad aparente determinada en estas condiciones, es una medida relativa del grado de finura del polvo mineral. Valores de la densidad aparente en tolueno entre 0.5 y 0.8 gr/cm³ corresponden a una actividad media adecuada para su utilización en mezclas asfálticas.

2.2.2. ASFALTO

2.2.2.1. Antecedentes

El término asfalto, se deriva del vocablo acadio asphatu o asphallo, que significa dividirse, resquebrajarse. Posteriormente, fue adoptado por los griegos como adjetivo cuyo significado es estable, seguro y al verbo estabilizar o asegurar. De, donde se supone que el primer uso del asfalto en las civilizaciones antiguas es que fue utilizado en forma de cemento, para asegurar o unir objetos. Del griego pasó al latín, después al francés (asphalte) y finalmente al inglés (asphalt).

Desde la antigüedad hasta hoy en día, el asfalto ha sido utilizado como cemento para ligar, cubrir o impermeabilizar objetos. Es un material muy versátil, se puede decir que es el material de ingeniería más antiguo utilizado por el hombre.

A principios del siglo XIX el descubrimiento del asfalto refinado por medio de la destilación del petróleo crudo y el auge de la industria automovilística, dio lugar al aumento en el consumo de este. Fue utilizado como material para pavimentar caminos y otras aplicaciones.

Cuadro No 2.4. Historia del asfalto.

AÑO	USO
6000 a.C.	En Sumeria, se utilizaba en la industria de navegación. La torre de Babel es una de las tantas construcciones en donde se utilizó como mortero.
3200-2600 a.C.	Utilizado por los egipcios para impermeabilizar.
2600-540 a.C.	Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del asfalto en Mesopotamia y el Valle del Indo como aglomerante para albañilería construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanque y depósitos de agua.
300 a.C.	Se emplea ampliamente en Egipto para embalsamientos.
1802 d.C.	En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos puentes y aceras.
1838 d.C.	En Filadelfia se emplea roca. asfáltica importada en la construcción de aceras.
1870 d.C.	Construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey por el profesor E.J. DeSmedt, químico belga.
1876 d.C.	Construcción del primer pavimento de tipo Sheet asphalt en Washington D.C. con asfalto del lago importado.
1902 d.C.	En Estados Unidos se obtienen de la destilación del petróleo aproximadamente 120,000 barriles a1 año.

Fuente: Conferencia: Esquema Actual Futuro de Producción de Asfaltos en PEMEX Refinación.

2.2.2.2 Definición

El asfalto se define como una mezcla de hidrocarburos, derivado del petróleo naturalmente o por destilación.

2.2.2.3 Producción del asfalto

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

Destilación por vacío

Extracción con solventes

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

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

2.2.2.4 Composición química del asfalto

Está constituido por tres grupos básicos: asfaltenos, resinas y aceites (aromáticos y saturados). Los asfaltos sometidos a temperaturas típicas de trabajo son un sistema disperso, ya que las partículas de la fase dispersa son las miscelas, en las cuales el núcleo o agregado es el asfalteno.

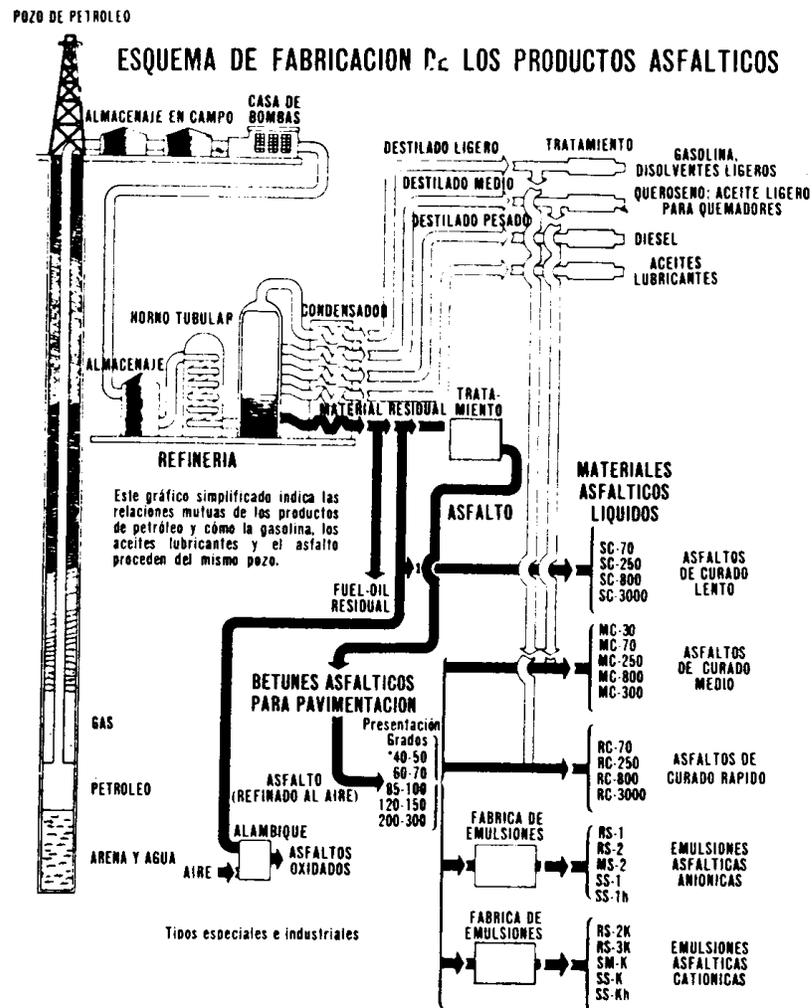
En los asfaltenos se concentran todos los metales contenidos en el crudo: Ni, V, Fe, Co, Mn, en una proporción apreciable el oxígeno, el azufre y el nitrógeno. El 80-85% de los asfaltenos son átomos de carbono, la relación C: H se encuentra entre 0.8 y 0.87. Los asfaltenos son producto de la condensación de las resinas.

Cuadro No. 2.5. Composición química del asfalto.

Elemento	Concentración
Carbono	82-88 %
Hidrógeno	8-11 %
Azufre	0-6 %
Oxígeno	0-1,5 %
Nitrógeno	0-1 %

Fuente: Conferencia: Introducción a la Química del Asfalto por: Ing. Germán Garzón.

Figura No.2.7 Proceso de refinación del petróleo para obtención de asfalto.



Fuente: Manual del Instituto del Asfalto.

2.2.2.5 Propiedades físicas del asfalto de pavimentación

Las propiedades físicas de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos son:

2.2.2.5.1 Durabilidad

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto debido a que el comportamiento del pavimento es afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

2.2.2.5.2 Adhesión y cohesión

La adhesión se refiere a la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

Cohesión por otro lado, es la capacidad del asfalto de mantener firmes las partículas del agregado en el pavimento terminado.

2.2.2.5.3 Susceptibilidad a la temperatura

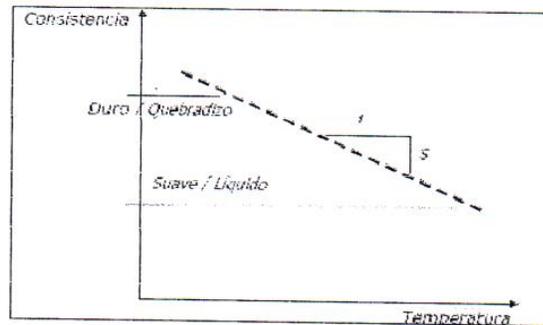
El asfalto es un material termoplástico, se vuelve más viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Esta característica es conocida como susceptibilidad a la temperatura.

La susceptibilidad térmica varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si estos tienen el mismo grado de consistencia.

Su importancia radica en que el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas para que pueda cubrir las partículas del agregado durante el mezclado y así permitir que éstas se desplacen unas con respecto de otras durante la compactación.

Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperatura ambiente normal para mantener unidas las partículas del agregado.

Figura No. 2.8 Comportamiento del asfalto
(Consistencia vs. Temperatura)



Fuente: Manual del Instituto del Asfalto.

La gráfica muestra como el asfalto cambia de consistencia conforme cambia de temperatura, a este cambio se le conoce como susceptibilidad térmica y es la pendiente de la recta (S).

2.2.2.5.4 Endurecimiento y envejecimiento

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas, mientras está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado, esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa.

No todos endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para determinar

sus características de envejecimiento y así ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez más las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene en el pavimento terminado, una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas del agregado.

2.2.2.5.5 Pureza

El cemento asfáltico está constituido en su mayor parte por bitumen, el cual es por definición un material totalmente soluble en bisulfuro de carbono. Aproximadamente el 99.5% de los asfaltos refinados son solubles en bisulfuro de carbono y si contienen impurezas éstas son inertes.

Normalmente el cemento asfáltico carece de agua, ya que ésta fue pérdida durante el proceso de refinación. Cuando no pierde toda el agua se vuelve espumoso al ser calentado a temperaturas superiores a 100°C (212°F). La pureza de un cemento asfáltico está definida por su carencia de humedad, así como de cualquier impureza.

2.2.2.6 Clasificación de los asfaltos de pavimentación

De acuerdo a la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), los asfaltos de pavimentación se clasifican en tres grupos generales:

2.2.2.6.1. Cementos asfálticos

Se dividen bajo tres diferentes sistemas, cada uno abarca diferentes grados con distintos rangos de consistencia.

a) Caracterización por penetración: se aplica la norma ASTM D-946 (Clasificación Estándar por Grado de Penetración para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación). Ésta abarca los siguientes grados de penetración:

40-50

60-70

85-100

120-150

200-300

Este método se efectúa dejando penetrar una aguja dentro de una muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que penetra la aguja en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200- 300 indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas de 200 a 300 décimas de milímetro. Ésta es una indicación de un asfalto "blando", un grado 40-50 es indicación de un asfalto "duro".

b) Caracterización por viscosidad: se aplica la norma ASTM D-3381 (Clasificación Estándar por Grado de Viscosidad para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación) clasifica los asfaltos en base a su viscosidad absoluta a 60°C. El poise (P) es la unidad normal de medida. Dependiendo de esta, los asfaltos se clasifican en:

AC- 5 (500 ± 100): Utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para riego de impregnación, riego de liga, en estabilizaciones y en mezclas asfálticas en caliente.

AC-10 (1000 ± 200): Utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para carpetas y morteros de mezcla en frío.

AC- 20 (2000 ± 400): Utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones asfálticas usadas en morteros y carpetas de mezclas en frío.

AC- 30 (3000 ± 600): Utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones para carpetas y mezclas en frío.

c) Caracterización por comportamiento: Este sistema fue elaborado por el Instituto de Asfalto de Estados Unidos y propuesto en el programa SHRP (Strategic Highway Research Program), aunque también está incluido en la norma ASTM D – 6373. (Especificación Estándar por Grado de Comportamiento) incluye el conocimiento de las temperaturas máximas y mínimas del pavimento en función de la temperatura del aire y la latitud geográfica. La ventaja de este sistema es que predice como se va a comportar el asfalto al envejecer. Se puede envejecer el asfalto a corto y largo plazo, posteriormente se mide su viscosidad.

2.2.2.6.2 Asfaltos rebajados

Conocidos como asfaltos diluidos, son cementos asfálticos que han sido mezclados con solventes de petróleo.

Existen tres clases:

a) Asfalto de curado rápido (RC): Asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente tipo nafta o gasolina de alta volatilidad.

b) Asfalto de curado medio (MC): asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente como la kerosina de media volatilidad.

c) Asfalto de curado lento (SC): asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y aceites pesados de baja volatilidad.

2.2.2.6.3 Asfaltos emulsificados

Es una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de un agente emulsionante. Es un sistema heterogéneo que normalmente contiene dos fases in-miscibles (asfalto y agua), en donde el agua forma la fase continua de la emulsión y pequeños glóbulos de asfalto forman la fase discontinua. La emulsión de asfalto puede ser:

a) Emulsión aniónica: los glóbulos de asfalto están cargados negativamente.

b) Emulsión catiónica: los glóbulos de asfalto están cargados positivamente.

2.2.2.7 Especificaciones sobre cementos asfálticos

En Bolivia, la Administradora Boliviana de Carreteras "ABC" es la entidad encargada de velar porque se cumplan las especificaciones sobre asfaltos de pavimentación, incluidas en el libro Manual de Ensayo de Suelos y Materiales * Asfaltos. Éstas se basan en las normas de la *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* y de la *American Society for Testing and Materials (ASTM)*.

2.2.2.7.1 Normas

Cuadro No. 2.6. Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos.

Ensayo	AASHTO	ASTM
Viscosidad	T-201 T-202	D - 2170 D-2171
Penetración	T-49	D-5
Punto de inflamación	T-48	D-92
Prueba de película delgada en horno	T-179	D - 1754
Prueba giratoria de película delgada en horno	T-240	D - 2872
Ductilidad	T-51	D - 113
Solubilidad	T-44	D - 2042
Peso específico	T-228	D - 70
Punto de ablandamiento	T-533	D - 36 95

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla
Asfáltica en Caliente, Condensado por: Dina Avellán.

2.2.2.7.2 Ensayos

Viscosidad ASTM D 2171: Las especificaciones de los trabajos de pavimentación indican valores de viscosidad a temperaturas de 60°C (140 °F), son utilizadas para clasificar el cemento asfáltico, representan la viscosidad de éste a la temperatura más alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio.

La viscosidad a 135°C (275°F) corresponde aproximadamente, a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación. El conocer la consistencia de un asfalto dado a estas dos temperaturas, ayuda a determinar si es apropiado o no para el pavimento que se está diseñando. El poise (P) es la unidad normal de medida.

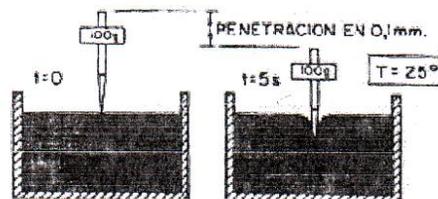
Figura No. 2.9. Determinación de la Viscosidad Relativa. Figura No. 2.10. Viscosímetro Capilar



Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

Penetración ASTM D 5 (Penetración de materiales bituminosos): el ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba está incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean utilizados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C (77°F). Es aplicable a materiales con viscosidades dentro de un rango de 0.0036 a 20,000 Pascales por segundo (Pa* s), equivalentes a 0.036 a 200,000 P.

Figura No. 2.11. Ensayo de Penetración.



Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

Punto de inflamación ASTM D 92 (Punto de inflamación para materiales bituminosos): Es la temperatura más baja a la cual se separan los materiales volátiles de la muestra y crean un destello en presencia de una llama abierta. Es importante hacer notar que punto de inflamación no es lo mismo que punto de combustión (temperatura más baja a la cual el cemento asfáltico se inflama y se quema).

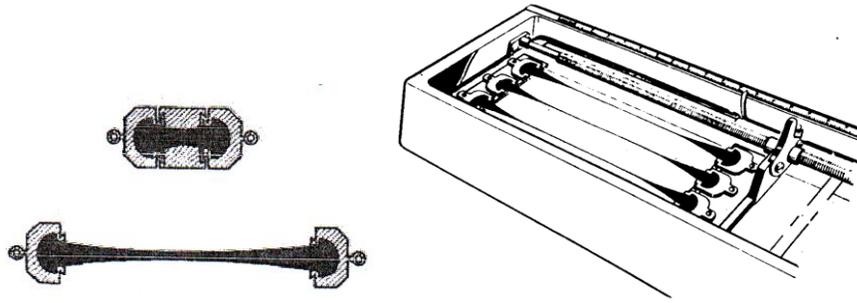
Se determina para identificar la temperatura máxima a la cual éste puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame. El aparato utilizado con este fin es llamado Copa Abierta de Cleveland.

Prueba de película delgada en horno (TFO) ASTM D 1754 (Efectos de calor y aire en materiales asfálticos) y Prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFO)

ASTM D 2872 (Efectos de calor y aire en un á película en movimiento de asfalto): son procedimientos que exponen una muestra de cemento asfáltico, a condiciones que se aproximan a las que se dan durante las operaciones en las plantas de mezclado en caliente. Las pruebas de viscosidad y penetración efectuadas sobre las muestras obtenidas después de los ensayos de TFO o RTFO, son usadas para medir el endurecimiento anticipado del material durante la construcción y servicio del pavimento.

Ductilidad ASTM D 113 (Ductilidad de materiales bituminosos): es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. Se obtiene mediante una prueba de extensión, donde una probeta de cemento asfáltico es extendida o estirada a una velocidad y a una temperatura específica, hasta que el hilo de cemento asfáltico se rompa. La longitud del hilo en el momento del corte se mide en centímetros y se denomina ductilidad. Las condiciones establecidas para la realización de este ensayo son: una temperatura de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y a una velocidad de 5 cm. / min.

Figura No. 2.12. Ensayo de Ductilidad.



Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

Solubilidad ASTM D 2042 (Solubilidad de asfaltos en tricloroetileno):

Este ensayo es utilizado para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente (tricloroetileno) donde se disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas como sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos no se disuelven sino que se depositan en forma de partículas.

Estas impurezas insolubles son luego filtradas fuera de la solución y medidas como un porcentaje de la muestra original.

Peso específico ASTM D 70 (Densidad de materiales bituminosos semisólidos):

es la proporción de la masa de cualquier volumen de material a la masa de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada. El peso específico es determinado generalmente usando el método del picnómetro. Los resultados para el asfalto, como para el agua, se expresan normalmente en términos de peso específico a una temperatura dada. Esto se debe a que éste varía con la expansión y la contracción del cemento asfáltico a diferentes temperaturas.

Existen dos razones importantes por las que se debe conocer el peso específico del cemento asfáltico usado:

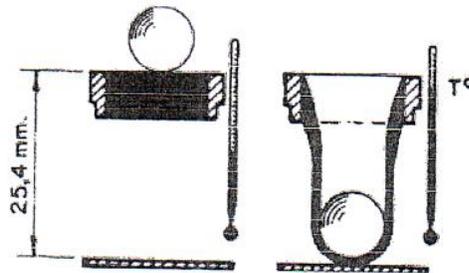
El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando se enfría. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será

mayor a altas temperaturas. Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura- volumen.

El peso específico de un asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado.

Punto de ablandamiento ASTM D 3695 (Anillo y bola): Proporciona una relación de la dureza del asfalto (duro o blando). Para realizar este ensayo, una pelotita de acero es colocada en el centro de un anillo de acero, el cual es sumergido en un baño de agua o de glicerina. Se utiliza agua cuando el asfalto posee un punto de ablandamiento menor a 80°C y la glicerina es utilizada cuando el punto de ablandamiento es mayor a 80°C . La temperatura del baño debe estar controlada y aumentar a una tasa de 5°C por minuto. En el momento en que la pelotita toca la base (25mm por debajo del anillo) la temperatura es tomada y este, es el punto de ablandamiento del asfalto.

Figura N° 2.13 Ensayo de Punto de Reblandecimiento (Anillo y Bola).



Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

2.3 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

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

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

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

En esta parte del capítulo se podrán conocer los diversos métodos para la creación y diseño de mezclas asfálticas los cuales son: Marshall, Hveen y Superpave, vamos a resaltar y desarrollar el método Marshall que es de interés particular para este trabajo.

Uno de los métodos de diseño de mezclas más usados en la actualidad es el Método **Marshall**. Esta técnica de diseño fue desarrollada por Bruce Marshall siendo US Army Corps of Engeineers quien depuró y adicionó ciertos aspectos a las propuestas de Marshall al punto de que el ensayo fue normalizado como ASTM D1559. El método Marshall es un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de su estabilidad, fluencia, densidad y vacíos.

Una de las virtudes del método Marshall es la importancia que se asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico. Este análisis garantiza que las

importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla estén dentro de rangos adecuados para asegurar una mezcla durable. Desafortunadamente una de sus grandes desventajas es el método de compactación de laboratorio por impacto el cual no simula la densificación de la mezcla que ocurre bajo tránsito en un pavimento real.

En 1987, el SHRP (Strategic Highway Research Program) comenzó el desarrollo de un nuevo sistema para especificación de materiales asfálticos. El producto final de programa de investigación sobre asfaltos de SHRP es un nuevo sistema conocido como **SUPERPAVE** (Superior Performing Asphalt Pavement). El software de Superpave es un programa de computación que auxilia a los ingenieros en la selección de materiales asfálticos y el diseño de la mezcla. No obstante, Superpave es más que un programa de computación. Fundamentalmente, representa un sistema más avanzado de especificación de los materiales componentes, diseño de mezclas asfálticas y su análisis, y la predicción del performance de los pavimentos, incluyendo equipos de ensayo, métodos de ensayo y criterios.

El sistema Superpave proporciona un medio completo y muy amplio para diseñar mezclas con base en los requerimientos específicos de comportamiento definidos por el tránsito, el clima y la sección estructural del pavimento en una cierta localización. Se facilita con este sistema, la selección y combinación de asfalto agregado y, de ser necesario, de un aditivo, para alcanzar el nivel requerido de comportamiento en el pavimento. El sistema es aplicable tanto para mezclas densas en caliente vírgenes o recicladas.

El método **Hveen** también implica análisis de densidad, estabilidad y la resistencia de la mezcla al hinchamiento por la presencia de agua. El método Hveen tiene dos ventajas concretas el método de compactación por amasado y el parámetro de resistencia, estabilidad. La desventaja del procedimiento Hveen es que el equipo de

ensayo, en particular el compactador por amasado y el estabilómetro de Hveen, es algo más caro que el equipamiento del Marshall y no muy portable. Además, algunas propiedades volumétricas relacionadas con la durabilidad de la mezcla no son rutinariamente determinadas en el método, tomando en cuenta también que el método de selección del contenido de asfalto es demasiado subjetivo y podría resultar en una no durable mezcla con poco asfalto.

2.3.1 Método de diseño Marshall

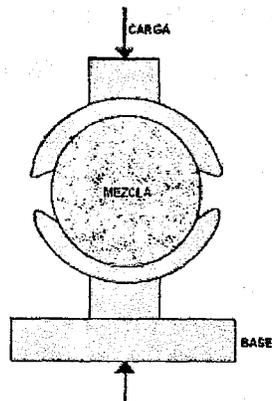
El concepto del método Marshall para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrollo un criterio de diseño de mezclas.

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38 mm (1.5"). Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 1/2") y 102 mm (4") de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

- Una vez fijada una granulometría de los áridos y el tipo delirante, se fabrican las probetas con diferentes contenidos de ligante dentro de unos intervalos sancionados por la experiencia (al menos, cuatro probetas por cada contenido): por ejemplo, 3,5; 4; 4,5; 5 y 5,5 por 100 sobre la masa de los áridos. A continuación se procede a su comparación en un molde mediante la denominada maza Marshall, de características normalizadas, aplicando unos golpes en cada una de las dos caras planas de la probeta y cuyo número (generalmente, 50 o 75 por cara) depende de las características del tráfico.
- Desmoldadas las probetas tras su enfriamiento, se determina su densidad aparente con una balanza hidrostática. Este dato, junto con los pesos específicos del conjunto de los áridos y del ligante. Permite el cálculo de las proporciones de los huecos de la mezcla (porosidad) y de los huecos en árido (suma de la porosidad y del volumen relativo ocupado por el ligante).
- Después de mantener las probetas en agua o en una estufa el tiempo necesario para que la mezcla alcance una temperatura de 60°C, se ensayan hasta la rotura de la manera ya descrita. Se define como estabilidad Marshall la carga de rotura (kN) y como deformación de Marshall el acortamiento perimetral (mm.) hasta el momento de la rotura.

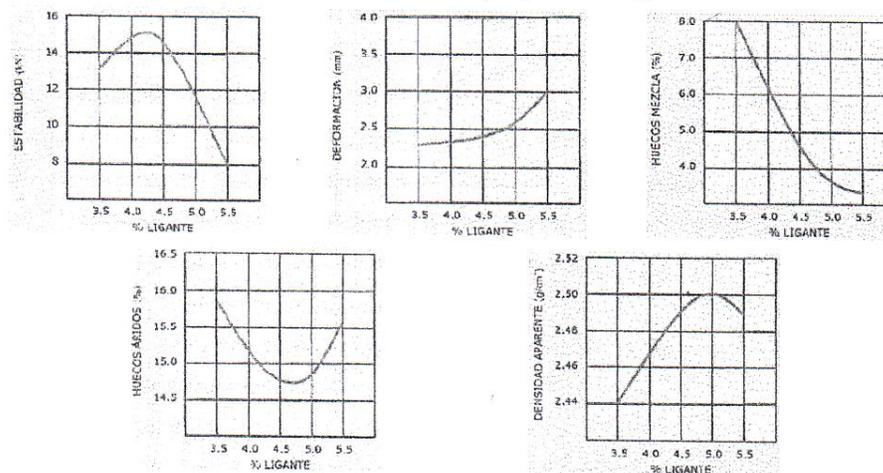
Figura No 2.14. Esquema del ensayo Marshall.



Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

Los parámetros con los que se trabaja en el método Marshall son los que se has citado: la densidad, la estabilidad, la deformación, la proporción de huecos de la mezcla y la proporción de huecos en los áridos. Su variación con el contenido del ligante (expresado normalmente en proporción sobre la masa seca de los áridos) se representa en unas gráficas como las del ejemplo de la Fig. 2.15.

Figura 2.15. Gráficas resultado del Ensayo Marshall



Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

Los criterios para la selección del *contenido óptimo de ligante* a partir de

estos resultados varían según los países. Por ejemplo, en España lo habitual es el siguiente proceso.

- Se comprueba que toda la curva de los huecos en áridos está por encima de un valor especificado (tanto mayor cuanto menor sea el tamaño máximo del árido). En caso contrario, no es aceptable adoptar un contenido de ligante correspondiente a la rama ascendente de la mezcla, sino que hay que introducir modificaciones en la granulometría adoptada.
- Se analiza que contenidos de ligantes permiten obtener una proporción de huecos en mezcla dentro de un rango especificado.
- Dentro de la horquilla de contenidos de ligante establecida según el criterio anterior, se procura que la razón entre las masas del polvo mineral y del ligante se sitúe lo más próxima posible a un valor especificado (este valor depende de la capa para la que se vaya a emplear la mezcla y de las temperaturas estivales en la zona de aplicación y va de 0.9 a 1.3).
- Se comprueba que la estabilidad y la deformación correspondiente al contenido de betún seleccionado están dentro de unos rangos especificados. Si es así ese contenido se puede considerar óptimo.

Los resultados del ensayo Marshall, realizado sobre la mezcla a su salida de la central de fabricación y correspondiente al contenido de ligante finalmente empleado, se utilizan como patrón de control de obra, especialmente la densidad. De esta forma, suelen exigirse unas densidades de los 95% de densidad Marshall correspondiente a ese contenido para los tráficos pesados poco intensos y del 97.098 % para los intensos; se comprueba, además, que el resto de los parámetros Marshall están próximos a los obtenidos en el laboratorio. Hay que tener en cuenta que si en obra se alcanzan unas densidades menores que las indicadas, la acción del tráfico podría producir unas compactaciones diferenciales que se traducirán en irregularidades superficiales.

La experiencia ha demostrado la conveniencia, e incluso la necesidad en muchos casos, de completar la información que proporciona el ensayo Marshall con otros ensayos, cuyos resultados puedan servir eventualmente para modificar el contenido óptimo del ligante inicialmente seleccionado. Por un lado, se emplean unos ensayos que permiten evaluar el efecto de la acción del agua sobre la cohesión de la mezcla: se suelen utilizar para este fin unos ensayos denominados de *inmersión-compresión* con lo que se compara la resistencia (por ejemplo, a compresión simple) de unas probetas que han estado sumergidas en agua (a una temperatura y durante un tiempo especificado) con la que alcanzan otras probetas iguales que no se han sumergido.

Por otro lado, para tráficos pesados intensos son necesario unos ensayos con los que se puedan evaluar, más específicamente que con el Marshall, la resistencia a las deformaciones plásticas; para este fin, en España se utiliza la máquina giratoria y sobre todo la *ensayo de pista de laboratorio (Wheel Tracking Test)*.

2.4. LOS PROBLEMAS QUE SE DEBEN EVITAR EN LAS CARPETAS ASFÁLTICAS

Las carpetas asfálticas están sujetas a problemas relacionados al tráfico y a la intemperie. Como son capas que están en contacto directo con los neumáticos de los vehículos, sufren la exigencia de elevadas tensiones verticales y tangenciales, además de la gran tracción en la base de la de rodamiento. Como estas están directamente en contacto con el aire, la lluvia, el viento, el sol y la nieve, sufren directamente los efectos de las condiciones climáticas; alteraciones de temperatura durante el día y la noche, gradientes térmicos en el tope y la base de la capa de revestimiento, radiaciones ultravioletas, roce superficial del viento y la arena en regiones de dunas, o áridas, oxidación y envejecimiento del asfalto por el aire y el agua, endurecimiento y retracción por las bajas temperaturas, etc.

Los problemas más comunes de las carpetas asfálticas son:

Rajaduras o agrietamiento.

Ahuellamiento.

Desprendimiento o fragmentación.

2.4.1. Agrietamiento

El fenómeno de agrietamiento es muy complejo y depende de muchos factores que se deben tener en cuenta en un proyecto.

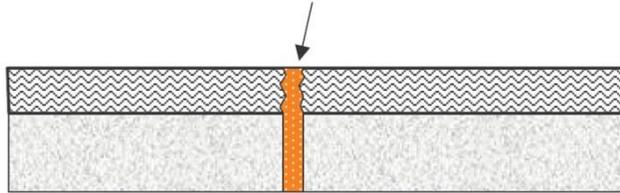
El agrietamiento puede ser resultante de *reflexión* de grietas antiguas de la capa de rodadura, surgiendo en los mismos lugares donde ya estaba la grieta antigua, en la capa de rodadura nueva.

Este fenómeno deriva de la rigidez elevada en la capa de rodadura nueva, que por falta de buena flexibilidad y elasticidad, se rompe en los puntos de apoyo ya debilitados del sustrato, o sea, en los lugares donde hay grietas de la capa antigua. La Figura No. 2.16 demuestra esquemáticamente las grietas de reflexión en las capas de rodadura y la Figura No. 2.17 muestra un lugar de grietas de reflexión en carpeta asfáltica construida sobre placas de hormigón de cemento portland.

Una de las soluciones para retardar la aparición de grietas de reflexión es el uso de una capa intermedia para retardación de reflexión (SAMI) combinada con el uso de capa de rodadura más flexible y más elástica. Actualmente, se ha empleado capas de rodadura flexible y elásticas, con distribución granulométrica discontinua para dificultar aún más la aparición de grietas de reflexión.

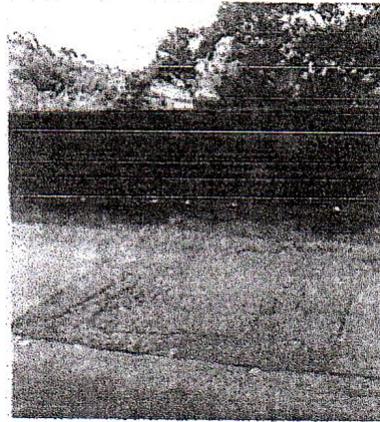
Figura No. 2.16 Problemas de agrietamiento por reflexión de grietas

Los sucesivos ciclos de dilatación /contracción provocan la fatiga de la capa de asfalto generando grietas reflexivas



Fuente: Manual completo de diseño de Pavimentos (UMSS)

Figura No. 2.17 Grietas por reflexión- capa de rodadura sobre placa de hormigón de cemento

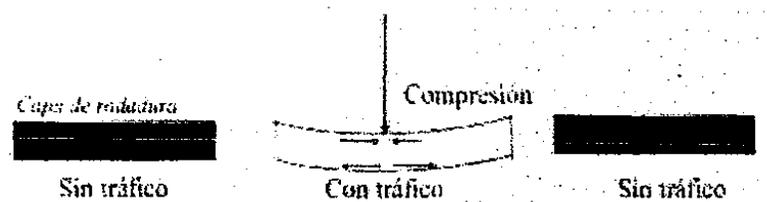


Fuente: Manual completo de diseño de Pavimentos (UMSS)

Otra forma común de apareamiento de grietas es aquella por *repetición de carga o fatiga*. Este problema deriva de las exigencias de flexión a la capa de rodadura, siendo esta capa inducida a la tracción en la fibra inferior de la capa, y compresión en la parte superior. Figura No.2.18 ilustra las tensiones resultantes de la acción del tráfico, la Figura No.2.19 esquematiza el surgimiento de grietas por ruptura a la tracción por fatiga (repetición de carga) y la Figura No. 2.20 muestra una carpeta asfáltica con muchas grietas por fatiga, en niveles muy avanzados de agrietamiento.

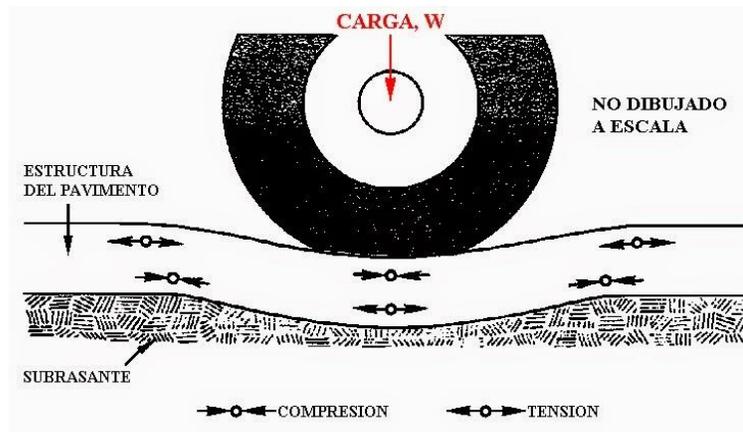
La fatiga resulta de una repetición de tensiones de tracción, de menor magnitud que la resistencia a la ruptura, pero que provoca un efecto acumulativo de daño estructural hasta el momento que aparecen micro fisuras y éstas aumentan sus dimensiones, formando las grietas. Para aumentar la resistencia a la fatiga, se debe reducir la magnitud de las tensiones de tracción que a su vez se puede obtener haciendo la capa más flexible y más resistente a los estiramientos de tracción (más elástica) o aumentando la espesura de la capa.

Figura No. 2.18 Tensiones en la carpeta asfáltica debido al tránsito



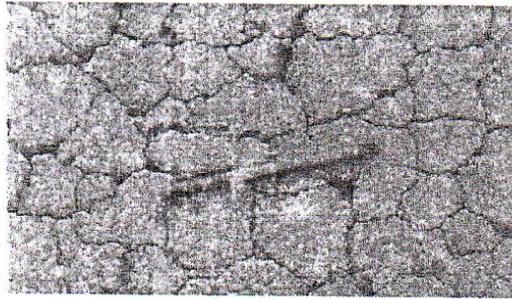
Fuente: Manual completo de diseño de Pavimentos (UMSS)

Figura No. 2.19 Grietas en la carpeta asfáltica debido a la repetición de cargas de tránsito



Fuente: Manual completo de diseño de Pavimentos (UMSS)

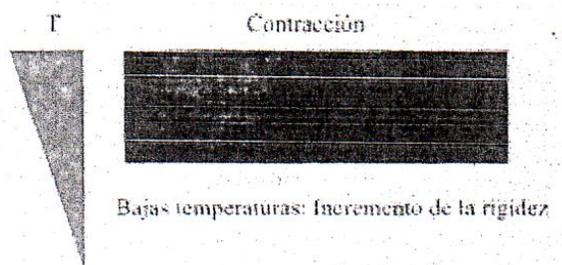
Figura No. 2.20 Grietas por fatiga- repetición de carga de tráfico



Fuente: Manual completo de diseño de Pavimentos (UMSS)

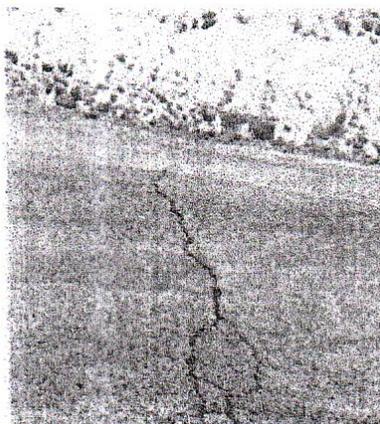
Otro factor que lleva al agrietamiento son las bajas temperaturas, que provocan la retracción de la capeta asfáltica y que genera endurecimiento y reducción volumétrica. Además, hay un *gradiente térmico*, elevado en la superficie y que reduce con la profundidad, alterando el comportamiento de la capa. Durante el día y la noche, la superficie cambia más de temperatura que el material que está en la base de la carpeta asfáltica. Esos factores asociados pueden provocar el apareamiento de grietas rápidamente o a lo largo del tiempo, pues las carpetas asfálticas sufren la repetición de los ciclos de temperatura, llevando igualmente a un efecto de fatiga. Figura No. 2.21 esquemáticamente la acción de la retracción térmica y la Figura No. 2.22 una rajadura de retracción térmica en una región de bajas temperaturas. Para reducir la propensión al agrietamiento por retracción térmica se debe dejar la capa menos susceptible al endurecimiento por la baja temperatura (disminuir su susceptibilidad térmica) y hacerla más elástica para soportar las dilataciones y las contracciones sucesivas.

Figura No. 2.21 Grietas por retracción térmica



Fuente: Manual completo de diseño de pavimentos (UMSS)

Figura No. 2.22 Grietas por retracción térmica



Fuente: Manual completo de diseño de pavimentos (UMSS)

Las grietas también pueden aparecer por envejecimiento de las carpeta asfáltica, por acción del aire y del agua, que ocasionan la pérdida de los volátiles del asfalto, volviéndolo más rígido y más propenso al agrietamiento. A gran altura el envejecimiento es muy acelerado debido a la acción conjunta de la radiación ultravioleta. La Figura N° 2.23 muestra esquemáticamente las grietas formadas por envejecimiento debido a la acción climática. Para reducir efectos de envejecimiento, se debe promover mayor flexibilidad y elasticidad de la capa y menor pérdida de volátiles por los rayos ultravioletas.

Figura No. 2.23 Grietas por envejecimiento debido a la acción climática



Fuente: Manual completo de diseño de Pavimentos (UMSS)

Las mezclas asfálticas deben satisfacer los requisitos del proyecto para ser resistentes a los efectos mencionados y ofrecer durabilidad a lo largo de los años, para evitar mantenimientos recurrentes, o con poco espacio de tiempo entre ellos.

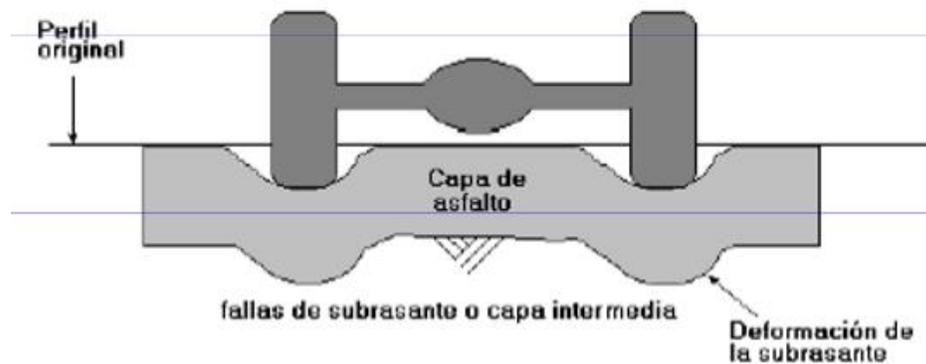
2.4.2 Ahuellamiento:

El fenómeno de *ahuellamiento* es el resultado de varios efectos, que actúan conjuntamente o no. El ahuellamiento puede ocurrir por consolidación (densificación) de las capas subyacentes, sea por problemas de subdimensionamiento estructural, como por falta de compactación eficiente de las capas, o también por problemas de drenaje. El ahuellamiento por fluencia ocurre debido a problemas de la carpeta asfáltica, sea por dosificación incorrecta, sea por la repetición de la carga canalizada de tráfico. La Figura N° 2.24 muestra los efectos en la superficie de la deformación permanente resultante de los problemas combinados de la subrasante y mal drenaje. La Figura N° 2.25 (a) muestra los problemas de deformación permanente en surcos de rueda por problemas de fluencia y elevada carga, y la Figura N° 2.25 (b) problemas de deslizamiento de masa asfáltica también por problemas de las mezclas asfálticas. Los deslizamientos pueden ocurrir también con frecuencia en curvas cerradas.

Los problemas por consolidación se deben solucionar con el uso de sistemas de drenaje eficiente, un buen cálculo estructural, la selección de materiales compatibles con el requerimiento de carga y compactación eficiente. Los problemas debidos al

proyecto de la mezcla asfáltica pueden solucionarse con una dosificación bien realizada (granulometría y tenor de asfalto) y por la introducción de asfaltos más duros (combinada con mayor espesura) o más elásticos que soporten el requerimiento con una recuperación elástica eficiente.

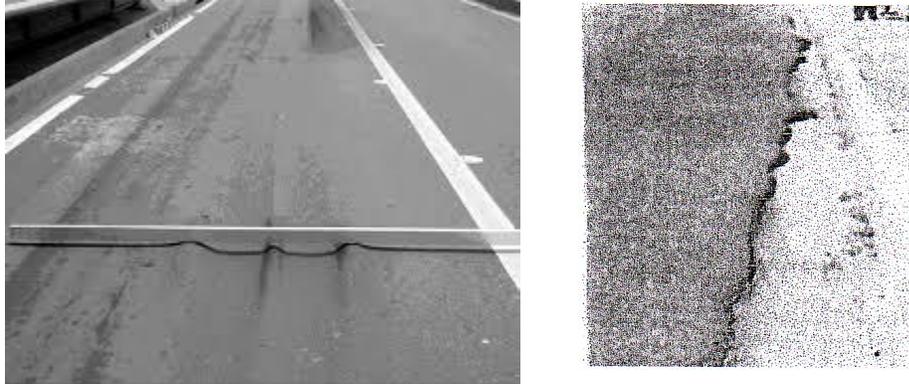
Figura No. 2.24 Ahuellamiento por problemas de drenaje y fatiga de resistencia del subrasante



Fuente: Manual completo de diseño de Pavimentos (UMSS)

Los problemas de solidificación o elección incorrecta de granulometría, tipo y tenor de ligante, pueden llevar también a problemas de corrugación de las carpetas asfálticas, principalmente en lugares de grandes subidas o declives, y en curvas acentuadas. Otro problema relacionado a los ligantes es la dosificación, y la exudación, que por surgimiento de ligante asfáltico excesivo en la superficie hace que el pavimento sea muy cerrado, aumentando la propensión a hundimientos y pérdida de adherencia con el pavimento mojado.

Figura No. 2.25(a) Ahuellamiento **Figura No. 2.25 (b)** Deslizamiento en masa



Fuente: Manual completo de diseño de pavimentos (UMSS)

2.4.3 Desprendimiento

El fenómeno del desprendimiento resulta de varios efectos, actuando conjuntamente o no. Uno de los más importantes es una adhesividad deficiente entre el asfalto e agregado, que con el tiempo pueden soltarse de la superficie causando el desprendimiento de agregados o del mastiche asfáltico. La Figura muestra un problema de adhesividad entre asfalto y agregado. Estos problemas pueden generar además de la pérdida de agregados, agrietamiento precoz, o pérdida de cohesión y aparición de surcos de rueda. Para solucionar o minimizar los problemas de adhesividad, se debe intentar mejorar la adhesividad por la introducción de productos que ayuden a que el contacto sea más efectivo, o buscar ligantes que adhieran mejor a los agregados.

Figura No. 2.26 Desprendimiento por problemas de adhesividad asfalto/agregado



Fuente: Manual completo de diseño de Pavimentos (UMSS)

2.5 CONTROL DE MEZCLAS

En el control de calidad de las mezclas bituminosas se pueden distinguir cuatro fases:

- Control de componentes
- Control de proceso de fabricación
- Control de prueba en obra
- Control de capa terminada

En la primera fase hay que realizar unos ensayos, tanto en su origen como en los acopios (que deben estar hechos en una proporción elevada antes del comienzo de las obras), para garantizar que los materiales básicos cumplen lo especificado. En la central de fabricación se debe controlar, en primer lugar, el buen funcionamiento de sus diversos elementos, poniendo especial atención en la calibración de los sistemas de dosificación, y en las centrales de fabricación de mezclas en caliente también los indicadores de temperaturas. Asimismo, requieren especial vigilancia

en dichas centrales el funcionamiento de los ciclones y las emisiones de la chimenea.

Sobre la mezcla fabricada se deben realizar periódicamente unos controles del contenido de ligante y de la granulometría de los áridos, realizando ensayos de extracción. Con una frecuencia menor, hay que fabricar probetas y comprobar que se satisfacen las características mecánicas y de contenido de huecos que fueron fijadas en el proceso de dosificación.

En la puesta en obra es fundamental, si se trata de una mezcla bituminosa en caliente, controlar las temperaturas del material y que el proceso en su conjunto, empezando por la preparación de la superficie existente, se ajusta a lo especificado, a las indicaciones del ingeniero director de las obras y las normas de buena práctica. Hay que atender también a las condiciones meteorológicas, de manera que se debe suspender la extensión de la mezcla si la temperatura ambiente es inferior a 5°C o si hay una lluvia apreciable. En el caso de las mezclas en caliente, un viento intenso constituye también un factor negativo.

Al salir la mezcla de la central de fabricación se deben tomar unas muestras con las que se elaboran unas probetas cuya densidad se toma como referencia para el control de la compactación. Terminada ésta, hay que comprobar que se ha alcanzado la densidad específica (proporción mínima de esa densidad de referencia). Los métodos de control de densidad que tiene un mayor rendimiento son los basados en las técnicas nucleares, similares a las que se utilizan para el control de la compactación de los suelos. Aunque con ellos no se obtiene una medida precisa de la densidad de la capa, proporcionan unos valores relativos suficientemente significativos no sólo del grado de compactación, sino también de la homogeneidad de la capa. Al final de la jornada hay que extraer testigos con sonda rotativa, sirve también como comprobación de los espesores y para poder contrastar en el laboratorio las características mecánicas de la mezcla.

Finalmente, ha de controlarse la regularidad de la superficie terminada comprobando si se ajusta a los planos del proyecto y las exigencias de las especificaciones.

Para conseguir que el pavimento tenga una buena regularidad final, que ha de adaptarse a las velocidades de circulación, es imprescindible que desde la explanada se hayan ido consiguiendo una buena regularidad en todas las capas. En todo caso, debe considerarse que la falta de regularidad en una capa se suele deber a alteraciones en el ritmo de extensión y en el paso de los compactadores. En las capas de rodadura, el control de calidad termina con la medida de la macro textura y de la resistencia al deslizamiento.

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN:

3.1. INTRODUCCIÓN

Criterios: Con base en la Normativa del Departamento Nacional de Infraestructura de Transporte “DNIT”, Brasil para Pavimentos Flexibles-Concreto Asfáltico-Especificaciones de Servicio, se utilizó el uso granulométrico para mezclas asfálticas en caliente Densa 19 mm, para la elaboración de las probetas de los ensayos Marshall.

El objetivo de los ensayos Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para un determinado tipo de mezcla asfáltica, en este caso, se consideraron las especificaciones técnicas de la Normativa de Departamento Nacional de Infraestructura de transporte de Brasil “DNIT”, donde se indican los intervalos permisibles de las propiedades fundamentales para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente como ser: la Densidad, la Estabilidad, la Deformación, el contenido de Vacíos en la Mezcla y el contenido de vacíos en el Agregado mineral.

El criterio elegido para obtener el contenido óptimo de asfalto en la mezcla, se basó fundamentalmente en su contenido de huecos en la mezcla, ya que su cantidad, afecta directamente en el comportamiento de un pavimento ante las deformaciones plásticas permanentes.

Los ensayos de caracterización de los agregados fueron realizados en el laboratorio de Suelos y Hormigones de la Carrera de Ingeniería Civil de la UAJMS, Laboratorio de suelos, hormigones y asfaltos de la Consultora S.H.A

Los ensayos de caracterización del cemento Asfáltico Petroperú 85/100 y el cemento asfáltico Stratura 85/100 fueron realizados en el laboratorio de Asfaltos de la Carrera de Ingeniería Civil de la UAJMS; Laboratorio de suelos, hormigones y asfaltos de la Consultora S.H.A

El estudio se realizó utilizando un método de diseño: el Método Marshall, siguiendo tres parámetros fundamentales: caracterización de los materiales, elaboración de probetas asfálticas y pruebas a la mezcla asfáltica.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

En esta etapa se llevaron a cabo pruebas en los materiales utilizados, como son el agregado mineral (pétreo), ligante asfáltico C.A. Petroperú 85/100 y C.A. Stratura 85/100

3.2.1 Agregado Mineral (Identificación)

El agregado mineral en estudio proviene del banco de materiales de la planta de agregados de “Charaja” del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA) está compuesto de roca triturada. Dicha planta se encuentra ubicada en la localidad de Charaja, Provincia Avilés del Departamento de Tarija y tiene las siguientes coordenadas de ubicación $21^{\circ}78,18858'S$; $64^{\circ}79,3151'O$

Figura 3.1: Planta de Áridos del SEDECA Charaja



Fuente: Elaboración propia

3.2.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO MINERAL (PÉTREO)

3.2.1.1. Método Para Tamizar Y Determinar La Granulometría (ASTM E 40 AASHTO T27-99)

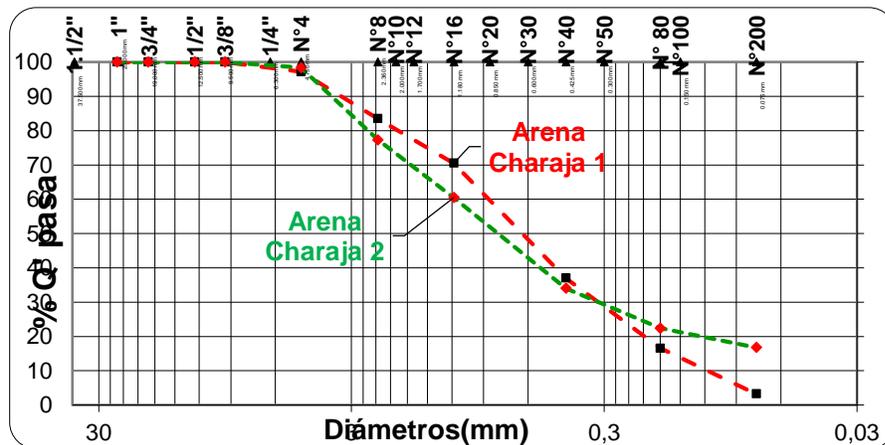
Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

La metodología Marshall utiliza una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en el eje de las ordenadas se encuentra el porcentaje de material que pasa cierta malla o tamiz y en el eje de las abscisas las aberturas de las mallas o tamices en mm.

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica densa, está en función de dos parámetros: El tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control o Faja (superior e inferior), Las líneas de control son puntos de paso obligatorio para la curva granulométrica. La Cuadro N°4.1 presenta los tamaños máximos nominales más utilizados así como sus líneas de control según el DNIT

Cuadro N° 3.1: Requisitos de granulometría del material pétreo (DNIT)

Serie ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerancias Fijas de Proyecto
2"	50,80	100	-	-	-
1 ½"	37,50	95-100	100	-	± 7
1"	25,00	75-100	95-100	-	± 7
¾"	19,00	60-90	80-100	100	± 7
½"	12,50	-	-	80-100	± 7
3/8"	9,50	35-65	45-80	70-90	± 7
N° 4	4,75	25-50	28-60	44-72	± 5
N° 10	2,00	20-40	20-45	22-50	± 5
N° 40	0,425	10-30	10-32	8-26	± 5

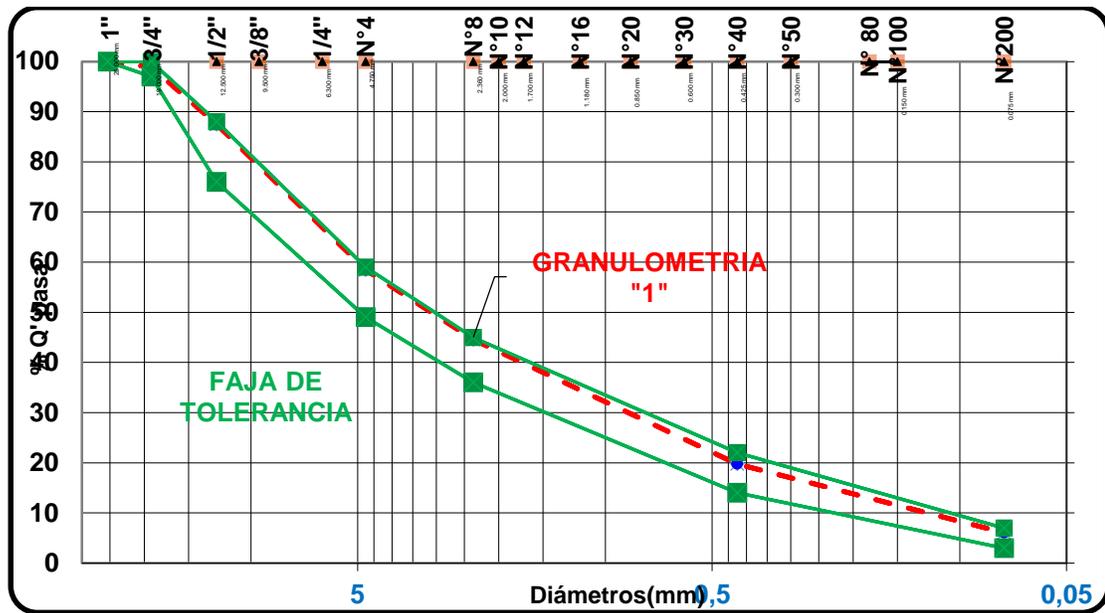


Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.3. Granulometría Agregado Combinado

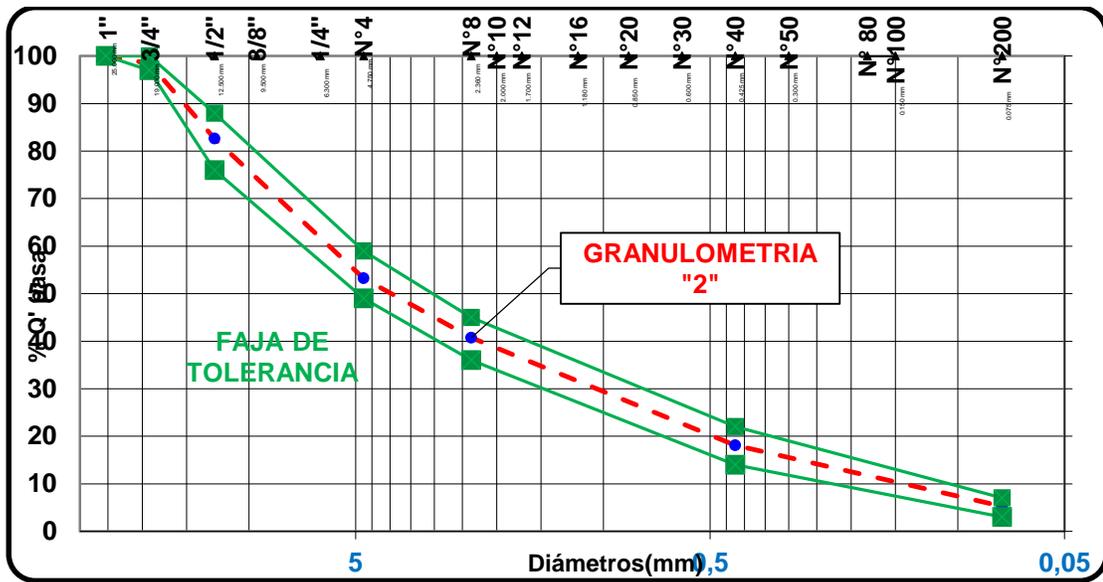
Corresponde la granulometría del agregado combinado, que será utilizado para elaboración de la mezcla asfáltica, dicha granulometría deberá entrar en una faja establecida por la norma. En este estudio se propone la combinación de los agregados en distintas proporciones esto para poder evaluar el comportamiento del ligante en diferentes condiciones de granulometría.

Figura 3.4 Curva granulométrica del agregado combinado (1) y fajas de tolerancia



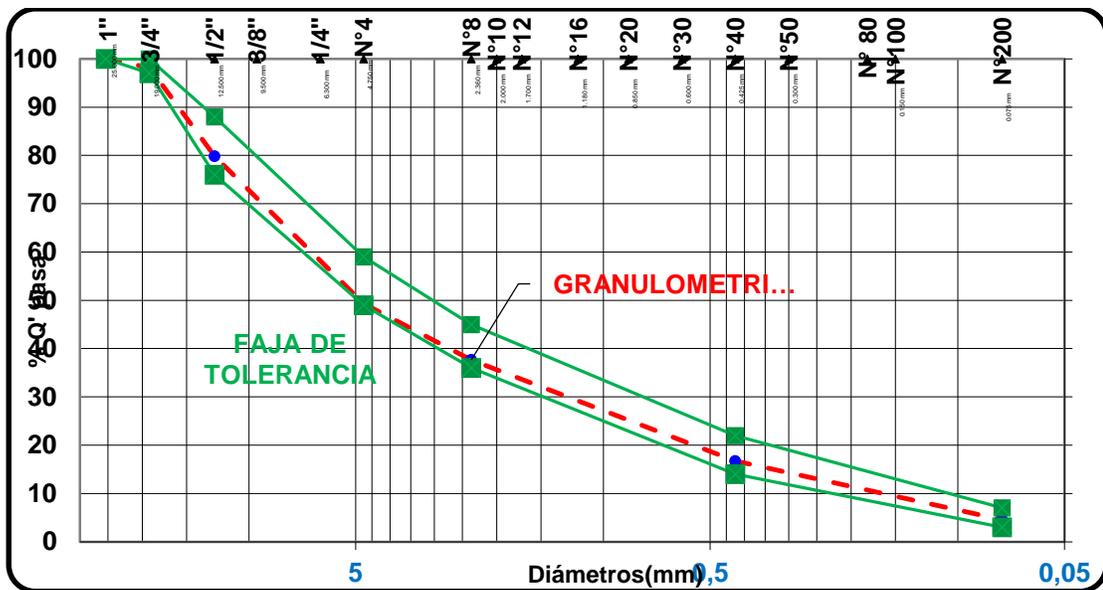
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.5 Curva granulométrica del agregado combinado (2) y fajas de tolerancia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6 Curva granulométrica del agregado combinado (3) y fajas de tolerancia



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.4. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS GRUESOS (ASTM E

127 AASHTO T85-91) Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos. Es aplicable a los áridos gruesos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

Cuadro 3.2 Densidades del agregado grueso

“G” Densidad Aparente	2,689 gr/cm ³
“Gb” Densidad Bulk	2,598 gr/cm ³
“Gbs” Densidad Bulk Sup. Sat. Seca	2,632 gr/cm ³
% de Absorción	1,30

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.5. MÉTODO PAR DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS FINOS (ASTM E 128 AASHTO T84-00) Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Es aplicable a los áridos finos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

Cuadro N° 3.3 Densidades del agregado fino (mezcla “1”)

“G” Densidad Aparente	2,674 gr/cm ³
“Gb” Densidad Bulk	2,670 gr/cm ³
“Gbs” Densidad Bulk Sup. Sat. Seca	2,703 gr/cm ³

% de Absorción	1,24
----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 3.4: Densidades del agregado fino (mezcla “2”)

“G” Densidad Aparente	2,670 gr/cm ³
“Gb” Densidad Bulk	2,674 gr/cm ³
“Gbs” Densidad Bulk Sup. Sat. Seca	2,701 gr/cm ³
% de Absorción	1,02

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 3.5: Densidades del agregado fino (mezcla “3”)

“G” Densidad Aparente	2,669 gr/cm ³
“Gb” Densidad Bulk	2,674 gr/cm ³
“Gbs” Densidad Bulk Sup. Sat. Seca	2,694 gr/cm ³
% de Absorción	0,76

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.6. ENSAYO DE RESISTENCIA A LOS SULFATOS (AASHTO T104 y ASTM C88).

El ensayo de resistencia a los sulfatos da una indicación de la resistencia de los áridos finos y gruesos a los agentes atmosféricos. El ensayo se realiza con áridos que no han dado buen resultado durante su empleo. Mide la resistencia de los áridos a la disgregación por soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio.

Cuadro 3.6: Pérdida en % de los agregados en sulfato de sodio

Material	% de Perdida
Agregado Grueso	0,93
Agregado Fino	2,04
Pérdida Total	2,97

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.7. MÉTODO PARA DETERMINAR LA CUBICIDAD DE LAS PARTÍCULAS

Este método establece el procedimiento para determinar el contenido porcentual de partículas chancadas, rodadas y lajeadas de la fracción de un árido retenida en el tamiz 4,75 mm (N° 4).

Es aplicable a todos aquellos suelos granulares y áridos que se emplean en la construcción de las diferentes capas que conforman un pavimento, cuando las especificaciones de obra así lo estipulen.

Definiciones:

Chancado: partícula pétreo que tiene dos o más caras fracturadas y que por ello posee al menos una arista.

Arista: línea que resulta de la intersección de dos superficies fracturadas. (No se considerarán como chancado a aquellas partículas que aun teniendo dos o más caras fracturadas, presenten sus cantos redondeados.)

Canto Rodado (Rodadora): partícula pétreo que no posee aristas.

Laja: partícula pétreo en que la razón o cociente entre las dimensiones máxima y mínima, referida a un prisma rectangular circunscrito, es mayor que 5.

Cuadro N° 3.7 Cubicidad de partículas gravilla (3/8")

Determinaciones	Muestra (%)
Material Triturado	87,8
Material Natural (redondeado)	5,96
Material Laminar	5,08
Material Chatas y Alargadas	1,1

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 3.8 Cubicidad de partículas grava (3/4")

Determinaciones	Muestra (%)
Material Triturado	82,29
Material Natural (redondeado)	11,42
Material Laminar	4,99
Material chatas y alargadas	1,29

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.8. MÉTODO PARA DETERMINAR EL DESGASTE MEDIANTE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM E 131 AASHTO T96-99)

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,36 mm, de densidad neta entre 2.000 y 3.000 Kg/m³, mediante la máquina de Los Ángeles.

Cuadro 3.9: Grados de ensaye (definidos por sus rangos de tamaño, en mm)

Tamaño de Partículas	1	2	3	4	5	6	7
	(80-40)	(50-25)	(40-20)	(40-10)	(20-10)	(10-5)	(5-2,5)
	Tamaño de las fracciones (g)						
75 – 63	2.500 ± 50						

63- 50	2.500 ± 50						
50 -37,5	5.000 ± 50	5.000 ± 25					
37,5 – 25		5.000 ± 50	5.000 ± 25	1.250 ± 10			
25 – 19			5.000 ± 25	1.250 ± 25			
19 - 12,5				1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5 – 9,5				1.250 ± 25	2.500 ± 10		
9,5 - 6,3						2.500 ± 10	
6,3 – 4,75						2.500 ± 10	
4,75 - 2,36							5.000 ± 10
Masa inicial de	10.000 ±100	10.000±75	10.000± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas							
- numero	12		12	11	8	6	
	5-00 ± 25		5.000 ± 25	4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15	
Numero de	1.000		500				

Fuente: Manuales Técnicos para el diseño de carreteras de la A.B.C.

Cuadro 3.10 Resultados prueba de desgaste en la Máquina de Los Ángeles

Gradación	Carga Abrasiva con (N° de Esferas)	% de desgaste
B	11	21,5
C	8	20,96
	Especificación	< 40%

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.9. MÉTODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D2419 AASHTO T176-00)

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

Cuadro N° 3.11 Resultado del ensayo de equivalente de arena

Equivalente de Arena	51 %
Especificaciones	> 50 %

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS PETROPERÚ 85/100 Y STRTATURA 85/100

3.2.2.1. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD (ASTMD71-94 AASHTO T229-97)

Aunque normalmente no se especifica, es deseable conocer el peso específico del betún asfáltico que se emplea. Este conocimiento es útil para hacer las correcciones de volumen cuando éste se mide a temperaturas elevadas. Se emplea como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada.

Cuadro N° 3.12 Densidades de los C.A. en estudio

Descripción	Densidad	Especificación
C.A. Petroperú 85/100	1,017 gr/cm ³	-
C.A. Stratura 85/100	1,008 gr/cm ³	-

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2. VISCOSIDAD

La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas a las que se emplean durante su aplicación. La viscosidad o consistencia del betún asfáltico se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol o en el ensayo de viscosidad cinemática.

Cuadro 3.13 Temperaturas óptimas de mezclado y compactación

Descripción	T. Óptima de mezclado (°C)	T. Óptima de compactación (°C)
C.A. Stratura 85/100	154 - 165	130 - 140
C.A. Petroperú 85/100	150 – 155	130 - 138

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.3. MÉTODO DE ENSAYE DE PENETRACIÓN (ASTM D 5 AASHTO T49-97)

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en

una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25 °C, que la aguja está cargada con 100 g y que la carga se aplica durante 5 s. La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima de milímetro. Es evidente que cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración.

Cuadro 3.14 Resultados del ensayo de Penetración de los C.A. en estudio

Descripción	Penetración (mm)	Especificación
C.A. Petroperú 85/100	92,0	85-100
C.A. Stratura 85/100	95,3	85-100

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.4. MÉTODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON EL APARATO DE ANILLO Y BOLA (ASTM D 36 AASHTO T53-96)

Punto de Ablandamiento: es la menor temperatura a la que una muestra, suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas, es forzada a caer 25 mm por el peso de una bola de acero especificada, cuando la muestra se calienta mediante incrementos a una velocidad prescrita, en un baño de agua o de glicerina. Este método describe un procedimiento para determinar el punto de

ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola. En general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia gradual e imperceptiblemente, de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, de manera de comparar resultados.

Cuadro N° 3.15 Resultados ensayo de punto de ablandamiento

Descripción	Punto de Ablandamiento (°C)	Especificación
C.A. Petroperú 85/100	42	42
C.A. Stratura 85/100	44	42

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.5. MÉTODO PARA DETERMINAR LOS PUNTOS DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND (ASTM D1310-01 AASHTO T79-96)

El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a la que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

Cuadro N° 3.16 Resultados ensayo de punto de inflamación

Descripción	Punto inflamación (°C)	Especificación
C.A. Petroperú 85/100	245	Mínimo 232 °C
C.A. Stratura 85/100	263	Mínimo 232 °C

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.6. MÉTODO ESTÁTICO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA ÁRIDO –LIGANTE ASFÁLTICO (ASTM D1664)

Este método describe el cubrimiento y el procedimiento de inmersión estática a fin de determinar la adherencia del par ligante asfáltico - árido en presencia de agua. El procedimiento se aplica a materiales bituminosos cortados, semisólidos y emulsiones asfálticas.

Cuadro N° 3.17 Resultados ensayo de adherencia Árido-Ligante

Descripción	Especificación	Observación
C.A. Petroperú 85/100	> 95 %	OK
C.A. Stratura 85/100	> 95 %	OK

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.7. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DUCTILIDAD (ASTM D 113 AASHTO T51-00)

La ductilidad es una característica de los betunes asfálticos importante en muchas aplicaciones. La presencia o ausencia de ductilidad, sin embargo, tiene usualmente mayor importancia que el grado de ductilidad existente. Los betunes asfálticos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica. Por otra parte, los betunes asfálticos con una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura. En algunas aplicaciones, como las mezclas para pavimentación, tienen gran importancia la ductilidad y el poder aglomerante, mientras en otras, como la inyección bajo losas de hormigón y en el relleno de grietas, la propiedad más esencial es una baja susceptibilidad a los cambios de temperatura.

Cuadro N° 3.18 Resultados ensayo de ductilidad

Descripción	Ductilidad (cm)	Especificación
C.A. Petroperú 85/100	120	Mínimo 100 cm.
C.A. Stratura 85/100	145	Mínimo 100 cm.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.8. MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA (ASTM D1754 AASHTO T179-05)

Este método describe un ensaye para determinar el efecto del calor y aire sobre materiales asfálticos semisólidos. Los efectos de este tratamiento son determinados para la medida de las propiedades asfálticas antes y después del ensaye (AASHTO T179-94).

Este método indica la susceptibilidad aproximada de la dureza o pérdida de la ductilidad del cemento asfáltico, durante el mezclado en una mezcladora a una temperatura cercana a los 150°C. Si esta temperatura es apreciablemente menor que

150°C, el endurecimiento en el mezclador y el cambio en la ductilidad, deben ser menores que el cambio en el horno; si se usa una mayor temperatura de mezclado, cambios mayores pueden ocurrir en la dureza y ductilidad.

Cuadro N° 3.19 Pérdida de masa por calentamiento

Descripción	Pérdida de masa (%)	Especificación
C.A. Petroperú 85/100	0,27	Máximo 1
C.A. Stratura 85/100	0,10	Máximo 1

Fuente: Elaboración propia.

Haciendo un análisis de los resultados obtenidos en las Cuadros 4.16 se puede observar que existe una mayor pérdida de masa por calentamiento para el C.A. Petroperú, esta pérdida nos traerá como consecuencias cambios en la dureza y la ductilidad del cemento asfáltico.

Cuadro N° 3.20 Penetración después de la pérdida de masa por calentamiento

Descripción	Penetración (mm)	Especificación
C.A. Petroperú 85/100	57,0	Mínimo 47% de la PEN original.
C.A. Stratura 85/100	63,3	Mínimo 47% de la PEN original.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 3.21 Ductilidad después de la pérdida de masa por calentamiento

Descripción	Ductilidad (cm)	Especificación (cm)
C.A. Petroperú 85/100	95	Mínimo 75
C.A. Stratura 85/100	112	Mínimo 75

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados de los Cuadros 3.20 y 3.21 podemos concluir que como consecuencia de la pérdida de masa al término del ensayo, se observan cambios significativos en la dureza y la ductilidad del C.A. Petroperú, esto viene asociado a que las temperaturas óptimas de trabajo son inferiores a las del ensayo, por eso los cambios en las propiedades del mismo son significativas.

CAPITULO IV

CÁLCULOS, DISEÑOS Y PRUEBAS:

4.1. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Después de haber realizado las pruebas correspondientes al material granular y verificar que cumple con las especificaciones mínimas, se procedió a separarlo por tamaños, el tamaño máximo nominal del agregado fue de 19 mm (3/4") que es un tamaño común en mezclas asfálticas.

4.1.1. Granulometría

La metodología Marshall utiliza una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en el eje de las ordenadas se encuentra el porcentaje de material que pasa cierta malla o tamiz y en el eje de las abscisas las aberturas de las mallas o tamices en mm. La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control o faja (superior e inferior), Las líneas de control son puntos de paso obligatorio para la curva granulométrica. El Cuadro N°4.1 presenta los tamaños máximos nominales más utilizados así como sus líneas de control según el DNIT.

En el presente estudio se propone trabajar con tres distintas granulometrías, es decir, vamos a hacer una combinación de los agregados grueso y fino en diferentes proporciones para así poder evaluar el comportamiento de los ligantes utilizados en

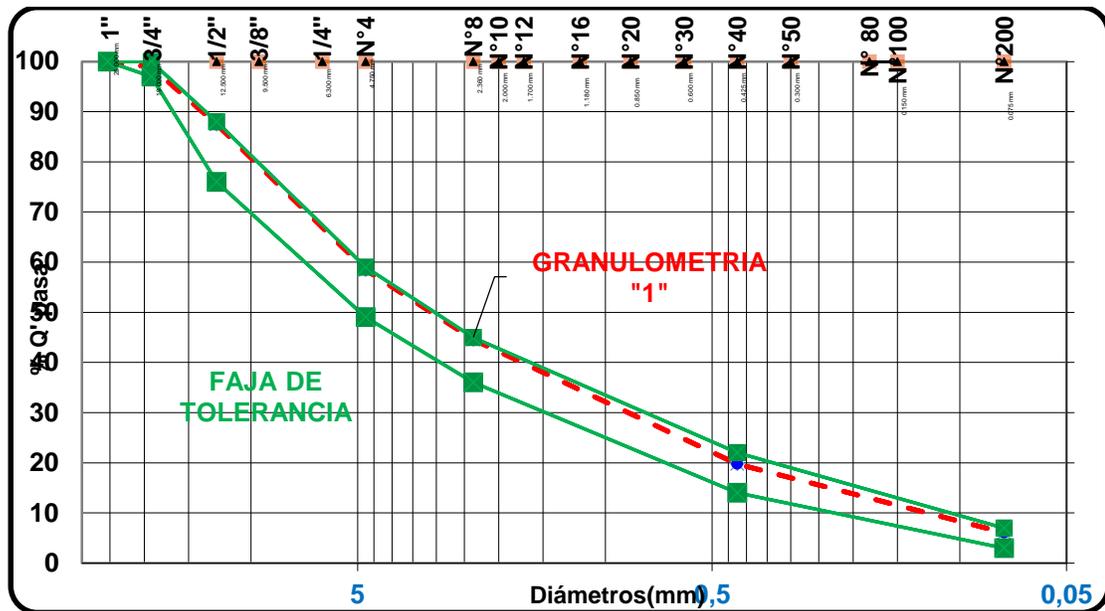
diferentes condiciones de granulometría, cuidando siempre de mantenernos siempre dentro de los límites de tolerancia que nos da la faja C de las normas del DNIT.

Cuadro N° 4.1 Granulometría “1”y faja utilizada

Tamiz ASTM	Tamiz (mm)	% Pasa	Limite Inferior	Limite Superior
¾”	19,00	98,9	97	100
½”	12,50	87,5	76	88
3/8”	9,50	83,2	70	82
N° 4	4,75	58,5	49	59
N° 10	2,00	43	36	45
N° 40	0,425	19,8	14	22
N° 80	0,18	13,2	8	16
N° 200	0,075	6,1	3	7

Fuente: Elaboración Propia (Faja C normas DNIT)

Figura N°4.1 Curva granulométrica del agregado Combinado “1” y faja de tolerancia



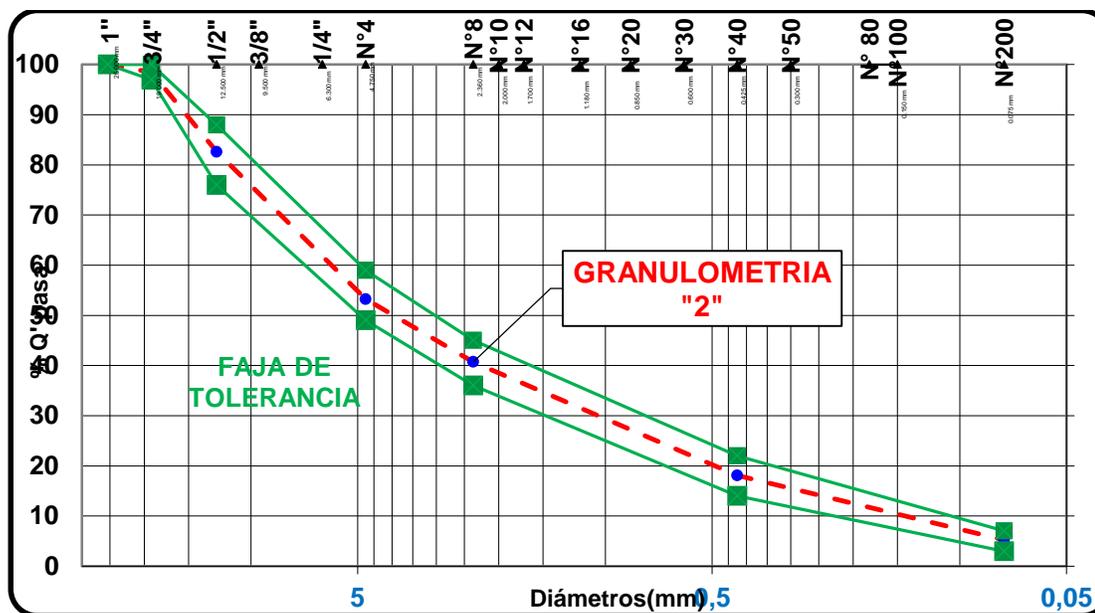
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.2 Granulometría "2" y faja utilizada

Tamiz ASTM	Tamiz (mm)	% Pasa	Limite Inferior	Limite Superior
3/4"	19	98,5	97	100
1/2"	12,5	82,6	76	88
3/8"	9,5	76,7	70	82
N° 4	4,75	53,2	49	59
N° 10	2	38	36	45
N° 40	0,425	18,1	14	22
N° 80	0,18	12,1	8	16
N° 200	0,075	5,2	3	7

Fuente: Elaboración Propia (Faja C normas DNIT)

Figura N°4.2 Curva granulométrica del agregado combinado "2" y faja de tolerancia



Fuente: Elaboración propia.

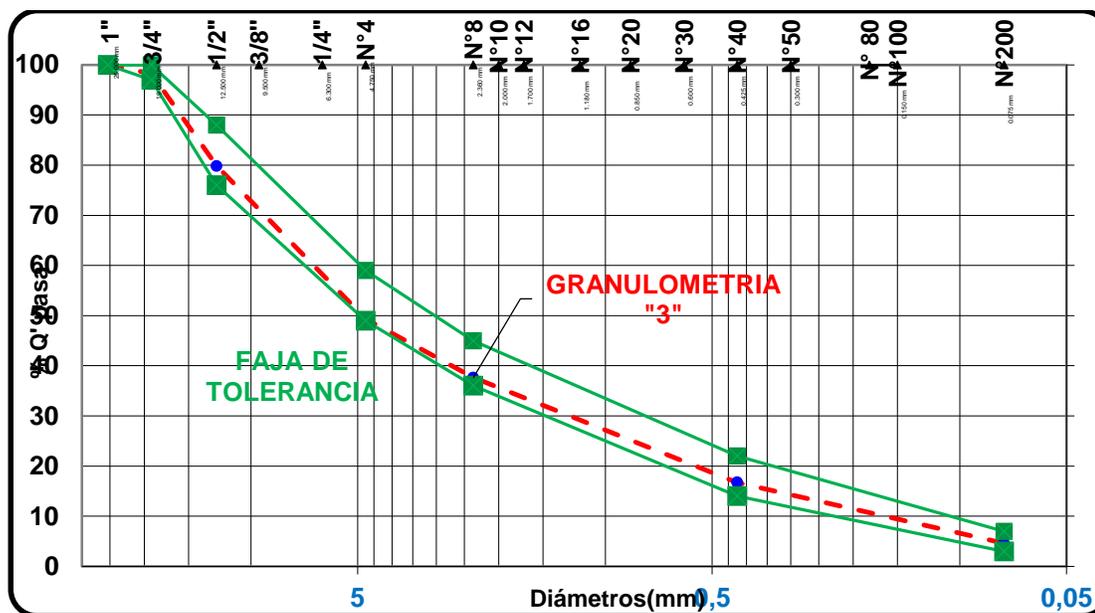
Cuadro N° 4.3 Granulometría "3" y faja utilizada

Tamiz ASTM	Tamiz (mm)	% Pasa	Limite Inferior	Limite Superior
3/4"	19,00	98,2	97	100
1/2"	12,50	79,8	76	88
3/8"	9,50	73	70	82
N° 4	4,75	49,3	49	59

N° 10	2,00	36	36	45
N° 40	0,425	16,7	14	22
N° 80	0,18	11,2	8	16
N° 200	0,075	4,6	3	7

Fuente: Elaboración Propia (Faja C normas DNIT)

Figura N°4.3 Curva granulométrica del agregado combinado "3" y fajas de tolerancia



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Parámetros de la mezcla asfáltica

Los parámetros de la mezcla utilizados se seleccionaron de acuerdo con la Normativa de DNIT, la cual establece un tamaño máximo nominal del agregado de 19 mm. Un porcentaje de asfalto de 4,5 - 9 % para el método de Marshall.

4.1.2.1. Dosificación

El método Marshall utiliza especímenes (briquetas) de prueba estándar de una altura de 64 mm. (2 1/2”) y 102 mm. (4”) de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. Los dos aspectos principales del método de diseño son la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

4.1.2.2. Compactación

Un parámetro que se debe determinar antes de empezar la compactación, es el número de golpes por cara (método Marshall); para ello se requiere conocer el tipo de tráfico de diseño determinado ó adoptado para la mezcla. Con estos parámetros se pudo determinar un número de 75 golpes por cara (Marshall). Para un tráfico pesado.

4.1.2.3. Especificaciones de la metodología:

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios que se discutirán en este capítulo. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas (Cuadro 4.21).

Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

Cuadro N° 4.4 Requisitos de calidad para mezclas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall (DNIT)

Características	Especificación
-----------------	----------------

Compactación, numero de golpes en cada cara de la briqueta	75
Estabilidad Min (Lb)	1800
Flujo ; (mm)	2 – 4,5
Vacíos en la mezcla VMC (%)	3 - 5
Vacíos ocupados por el asfalto RBV (%)	65 - 78

Fuente: Normas DNIT

Cuadro N°4.5 Vacíos en el agregado mineral (VAM) para mezclas asfálticas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall

Tamaño nominal del material pétreo utilizado en la mezcla		Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC) de diseño %		
mm	Designación	3	4	5
		Vacíos en el agregado mineral (VAM) % mínimo		
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 1/2"	10	11	12

Fuente: Normas DNIT

4.2. PRUEBAS A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Los diferentes tipos de pruebas a la mezcla asfáltica están divididos en dos fases, la primera, con el fin de evaluar las características volumétricas, en la segunda fase se valorarán los parámetros de resistencia de la mezcla asfáltica mediante pruebas mecánicas, con el fin de evaluar la influencia de la compactación bajo diversas condiciones de falla.

4.2.1. Pruebas de volumetría

Un factor que debe tenerse en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica es el de las proporciones volumétricas de los componentes, el ligante asfáltico y el agregado. A continuación se describen las pruebas que más influyen en los resultados de la volumetría.

Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada (Gmb).

Esta densidad es la relación entre su peso en el aire y su volumen incluidos los vacíos permeables, si la probeta tiene una absorción menor al 2% no se necesita parafinar la probeta.

4.2.2. Pruebas mecánicas

Tienen como finalidad evaluar la resistencia de la mezcla asfáltica compactada bajo diferentes condiciones y tipos de carga, utilizando equipos como la prensa de Marshall.

Prueba de estabilidad y flujo Marshall

Esta prueba se realiza con el propósito de conocer los valores de cohesión (estabilidad) y fricción (flujo) de la mezcla asfáltica mediante la aplicación de una carga a deformación controlada de 50,8 mm/min. Esta prueba solamente se aplica para probetas fabricadas con el martillo de Marshall; consistente en sumergir la probeta en baño maría a una temperatura de 60 °C, de 30 a 40 min, para después ensayarla en la máquina de Marshall; los valores obtenidos se utilizan para determinar el contenido óptimo de asfalto.

4.3. RESULTADOS

A continuación se muestran los cuadros de resumen de resultados de las probetas (briquetas) sometidas al Ensayo Marshall, para las mezclas asfálticas elaboradas a partir de la curva granulométrica propuesta (media). En dichos cuadros de Resumen se podrán observar los valores de la densidad, estabilidad, deformación, Vacíos en la mezcla y vacíos en los agregados, para cada contenido de asfalto.

4.3.1. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica utilizando el C.A. Petroperú como ligante

A continuación se muestran los valores obtenidos para la dosificación tentativa por tanteos utilizando la granulometría “1”, “2” y “3” con un valor mínimo de 4,5% hasta un valor máximo de 6,5% de contenido de cemento asfáltico Petroperú.

Cuadro N° 4.6 Diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (ligante C.A. Petroperú 85/100) Utilizando la granulometría “1”

Contenido de Asfalto (%)	Densidad Media (gr/cm³)	Estabilidad Media Corregida (Lb)	Fluencia (1/100”)	Vacíos en la Mezcla (%) VMC	Vacíos en el Agregado Mineral (%) VAM	Vacíos Llenos de Asfalto (%) RBV
4,5	2,334	2003,9	7,23	7,27	17,60	58,68
5,0	2,348	2218,0	8,27	5,99	17,53	65,84
5,5	2,376	2335,2	9,50	4,12	16,98	75,70
6,0	2,384	2363,4	11,97	3,07	17,14	82,08
6,5	2,382	2236,4	15,17	2,41	17,64	86,32
	Especificación	> 1800	8 - 18	3 - 5		75 – 82

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 4.7 Diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (ligante
C.A. Petroperú 85/100) utilizando la granulometría “2”**

Contenido de Asfalto (%)	Densidad Media (gr/cm3)	Estabilidad Media Corregida (Lb)	Fluencia (1/100”)	Vacíos en la Mezcla (%) VMC	Vacíos en el Agregado Mineral (%) VAM	Vacíos Llenos de Asfalto (%) RBV
4,5	2,322	2268,6	7,0	7,61	17,89	57,44
5,0	2,338	2543,5	7,67	6,28	17,77	64,69
5,5	2,371	2529,0	9,50	4,23	17,05	75,19
6,0	2,379	2314,3	12,30	3,14	17,18	81,71
6,5	2,369	2225,2	16,17	2,84	17,98	84,22
	Especificación	> 1800	8 - 18	3 - 5		75 – 82

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro N° 4.8 Diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (ligante
C.A. Petroperú 85/100) utilizando la granulometría “2”**

Contenido de Asfalto (%)	Densidad Media (gr/cm3)	Estabilidad Media Corregida (Lb)	Fluencia (1/100”)	Vacíos en la Mezcla (%) VMC	Vacíos en el Agregado Mineral (%) VAM	Vacíos Llenos de Asfalto (%) RBV
---------------------------------	--------------------------------	---	--------------------------	------------------------------------	--	---

4,5	2,335	2275,5	6,60	6,90	17,24	59,95
5,0	2,367	2533,1	7,77	4,94	16,57	70,21
5,5	2,370	2683,6	10,0	4,06	16,88	75,94
6,0	2,363	2640,1	12,63	3,63	17,57	79,36
6,5	2,357	2404,6	15,20	3,18	18,24	82,59
	Especificación	> 1800	8 - 18	3 - 5		75 – 82

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica utilizando el C.A. Stratura como ligante. A continuación se muestran los valores obtenidos para la dosificación tentativa por tanteos utilizando la granulometría “1”, “2” y “3” con un valor mínimo de 4,5% hasta un valor máximo de 6,5% de contenido de cemento asfáltico Stratura.

Cuadro N° 4.9 Diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (ligante C.A. Stratura 85/100) utilizando la granulometría “1”

Contenido de Asfalto (%)	Densidad Media (gr/cm3)	Estabilidad Media Corregida (Lb)	Fluencia (1/100”)	Vacíos en la Mezcla (%) VMC	Vacíos en el Agregado Mineral (%) VAM	Vacíos Llenos de Asfalto (%) RBV
4,5	2,325	2154,5	8,03	7,53	17,91	57,96
5,0	2,349	2288,3	9,84	5,83	17,49	66,62

5,5	2,373	2481,7	12,50	4,14	17,09	75,79
6,0	2,379	2556,2	15,0	3,16	17,32	81,75
6,5	2,373	2412,1	17,67	2,67	17,97	81,13
	Especificación	> 1800	8 - 18	3 - 5		75 – 82

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.10 Diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (ligante C.A. Stratura 85/100) utilizando la granulometría “2”

Contenido de Asfalto (%)	Densidad Media (gr/cm3)	Estabilidad Media Corregida (Lb)	Fluencia (1/100”)	Vacíos en la Mezcla (%) VMC	Vacíos en el Agregado Mineral (%) VAM	Vacíos Llenos de Asfalto (%) RBV
4,5	2,322	2229,2	7,23	7,52	17,89	57,96
5,0	2,345	2391,0	9,20	5,87	17,50	66,48
5,5	2,373	2615,6	12,53	4,00	16,95	76,39
6,0	2,369	2709,2	15,60	3,46	17,56	80,31
6,5	2,356	2315,8	17,43	2,26	18,45	82,34
	Especificación	> 1800	8 - 18	3 - 5		75 – 82

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.11 Diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (ligante C.A. Stratura 85/100) utilizando la granulometría “3”

Contenido de Asfalto (%)	Densidad Media (gr/cm ³)	Estabilidad Media Corregida (Lb)	Fluencia (1/100")	Vacíos en la Mezcla (%) VMC	Vacíos en el Agregado Mineral (%) VAM	Vacíos Llenos de Asfalto (%) RBV
4,5	2,315	2472,7	9,90	7,64	17,98	57,48
5,0	2,345	2787,8	11,53	5,71	17,34	67,09
5,5	2,365	2829,2	12,93	4,17	17,07	75,60
6,0	2,360	2710,7	14,23	3,65	17,70	79,37
6,5	2,350	2537,1	16,23	3,31	18,47	82,05
	Especificación	> 1800	8 - 18	3 - 5		75 – 82

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Determinación del contenido óptimo de asfalto

Para determinar el contenido óptimo de asfalto, se evaluó la granulometría “C” de la Normativa del departamento Nacional de Infra-Estructura de Transporte “DNIT”, con diferentes contenidos de asfalto (estimado $\pm 0,5$ y 1 %) los resultados se observan en las siguientes gráficas.

Método Marshall: para determinar el porcentaje óptimo de asfalto, se realiza una gráfica de: Grafica Densidad vs % de Asfalto. Gráfica Vacíos totales en la Mezcla vs % de Asfalto, Grafica % Vacíos Llenos de Asfalto (RBV) vs % de Asfalto, Gráfica Estabilidad vs % de Asfalto, Gráfica Porcentaje de Vacíos en los agregados (VAM) Vs % de Asfalto, Gráfica Flujo vs % de Asfalto; de todas las gráficas se obtiene un valor distinto de % de Asfalto, se debe hacer un promedio de todas tomando en cuenta que cumpla las especificaciones; a continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos para cada C.A.

**Cuadro N° 4.12 Determinación % óptimo de asfalto (C.A Petroperú.)
utilizando la granulometría “1”**

Valores				
Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	6,15	2,388	-----	-----
% Vacíos	5,61	4,00	3	5
R.B.V.	5,75	78,50	75	82
V.A.M	5,66	17,00		
Estabilidad (Lb)	5,82	2367,50	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	6,14	13,00	8	18
Promedio (%)	5,86	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 4.13 Verificación para el % de Asfalto Óptimo obtenido
Utilizando la Granulometría “1”**

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,86	2,384	-----	-----
% Vacios	5,86	3,42	3	5
R.B.V.	5,86	79,86	75	82
V.A.M	5,86	16,97		
Estabilidad (lb)	5,86	2364,00	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,86	11,20	8	18
% Optimo de asfalto propuesto			5,86	

**Cuadro N° 4.14 Determinación % óptimo de asfalto (C.A Petroperú.)
utilizando la granulometría “2”**

Valores				
Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	6,05	2,382	-----	-----
% Vacíos	5,66	4,00	3	5
R.B.V.	5,80	78,50	75	82
V.A.M	5,75	17,00		
Estabilidad (lb)	5,14	2569,10	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	6,11	13,00	8	18
Promedio (%)	5,75	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 4.15 Verificación para el % de asfalto óptimo obtenido
utilizando la granulometría “2”**

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,75	2,377	-----	-----
% Vacios	5,75	3,77	3	5
R.B.V.	5,75	77,86	75	82
V.A.M	5,75	17,00		
Estabilidad (lb)	5,75	2420,00	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,75	10,72	8	18
% Optimo de asfalto propuesto			5,75	

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 4.16 Determinación % óptimo de asfalto (C.A Petroperú.)
utilizando la granulometría “3”**

Valores				
Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,38	2,372	-----	-----
% Vacíos	5,53	4,00	3	5
R.B.V.	5,76	78,50	75	82
V.A.M	5,10	16,50		
Estabilidad (lb)	5,67	2688,10	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	6,11	13,00	8	18
Promedio (%)	5,59	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 4.17 Verificación para el % de asfalto óptimo obtenido
utilizando la granulometría “3”**

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,59	2,371	-----	-----
% Vacíos	5,59	3,90	3	5
R.B.V.	5,59	76,94	75	82
V.A.M	5,59	16,90		
Estabilidad (lb)	5,59	2686,00	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,59	10,36	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,59	

Fuente: Elaboración propia.

Análisis estadístico. Análisis estadístico para la validación de los resultados obtenidos de estabilidad y fluencia, luego de elaborar las 30 briquetas con el contenido óptimo de cemento asfáltico por el método Marshall utilizando el C.A. Petroperú como ligante.

Cuadro N° 4.18 Resultados de estabilidad

Briqueta N°	Estabilidad
1	2419,3
2	2369,4
3	2513,8
4	2474,0
5	2387,2
6	2456,3
7	2474,0
8	2381,1
9	2449,0
10	2486,7
11	2456,3
12	2424,0
13	2424,0
14	2369,4
15	2481,4
16	2481,4
17	2369,4
18	2424,0
19	2513,8
20	2319,5
21	2481,4
22	2419,3
23	2424,0
24	2474,0
25	2362,3
26	2481,4
27	2474,0
28	2499,0
29	2394,0
30	2481,0

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.19 Resumen estadístico para estabilidad Petroperú

Recuento	30,000
Promedio	2438,810
Desviación Estándar	51,210
Coefficiente de Variación (%)	2,099
Mínimo	2319,500
Máximo	2513,800
Rango	194,300
Sesgo Estandarizado	-1,142
Curtosis Estandarizada	-0,741

Fuente: Elaboración propia (Programa STATGRAPHICS)

Estadística Inferencial:

Error de la serie de datos:

$$Ex = \sqrt{\frac{\sum (xi - x)^2}{n}}$$

$$Ex = \sqrt{\frac{76050,395}{30}}$$

$$Ex = 50,35$$

Error medio de la media:

$$E\bar{x} = \frac{Ex}{\sqrt{n}}$$

$$E\bar{x} = \frac{50,35}{\sqrt{30}} \quad 9,193$$

Error Probable:

$$Ep = z * E\bar{x}$$

$$Ep = 1,96 * 9,193$$

$$Ep = 18,0175$$

Valor Aceptado:

$$Va = \bar{x} \pm Ep$$

$$Va = 2438,813 \pm 18,0175$$

$$Va = 2420,7955-2456,8305$$

(intervalo de
Confianza)

Análisis estadístico de los 30 resultados (datos) de Fluencia obtenidos con el método Marshall utilizan el C.A. Petroperú como ligante, utilizando el contenido óptimo de cemento asfáltico.

Cuadro N° 4.20 Resultados de fluencia

Briqueta N°	Fluencia
1	10,5
2	9,5
3	12,8
4	10,8
5	10,5
6	10,3
7	11,8
8	10,6
9	10,5
10	11,0
11	10,5
12	11,0
13	10,5
14	9,9
15	12,5
16	12,0
17	9,0
18	11,0
19	10,0
20	11,8
21	11,2
22	11,0
23	10,6
24	10,5
25	11,8
26	10,5
27	11,0
28	10,5
29	9,9
30	12,5

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.21 Resumen estadístico para fluencia Petroperú

Recuento	30,000
Promedio	10,867
Desviación Estándar	0,885
Coefficiente de Variación (%)	8,140
Mínimo	9,000
Máximo	12,800
Rango	3,800
Sesgo Estandarizado	0,926
Curtosis Estandarizada	0,170

Fuente: Elaboración propia (Programa STATGRAPHICS)

Estadística Inferencial:

Error de la serie de datos:

$$Ex = \sqrt{\frac{\sum (xi - x)^2}{n}}$$

$$Ex = \sqrt{\frac{22,687}{30}}$$

$$Ex = 0,8695$$

Error medio de la media:

$$E\bar{x} = \frac{Ex}{\sqrt{n}}$$

$$E\bar{x} = \frac{0,8695}{\sqrt{30}} \quad 0,1587$$

Error Probable:

$$Ep = z * E\bar{x}$$

$$Ep = 1,96 * 0,1587$$

$$Ep = 0,311$$

Valor Aceptado:

$$Va = \bar{x} \pm Ep$$

$$Va = 10,87 \pm 0,311$$

$$Va = 10,559 - 11,181$$

(intervalo de Confianza)

Cuadro N° 4.22 Determinación % óptimo de asfalto (C.A. Stratura) utilizando la granulometría "1"

Valores				
Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	6,03	2,381	-----	-----
% Vacíos	5,59	4,00	3	5
R.B.V.	5,74	78,50	75	82
V.A.M	5,65	17,20		
Estabilidad (lb)	5,98	2560,50	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,63	13,00	8	18
Promedio (%)	5,77	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.23 Verificación para el % de asfalto óptimo obtenido utilizando la granulometría "1"

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,77	2,377	-----	-----
% Vacíos	5,77	3,61	3	5
R.B.V.	5,77	79,00	75	82
V.A.M	5,77	17,18		
Estabilidad (lb)	5,77	2538,00	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,77	13,76	8	18

% Optimo de asfalto propuesto	5,77
--------------------------------------	-------------

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.24 Determinación % óptimo de asfalto (C.A. Stratura) utilizando la granulometría “2”

Valores				
Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,80	2,373	-----	-----
% Vacíos	5,60	4,00	3	5
R.B.V.	5,78	78,50	75	82
V.A.M	5,50	17,10		
Estabilidad (lb)	5,87	2709,50	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,60	13,00	8	18
Promedio (%)	5,69	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.25 Verificación para el % de asfalto óptimo obtenido utilizando la granulometría “2”

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,69	2,372	-----	-----
% Vacíos	5,69	3,80	3	5
R.B.V.	5,69	77,75	75	82
V.A.M	5,69	17,12		
Estabilidad (lb)	5,69	2686,00	> 1800 Lb. (75 Golpes)	

Fluencia 1/100''	5,69	13,45	8	18
% Óptimo de asfalto propuesto			5,69	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.26 Determinación % óptimo de asfalto (C.A. Stratura) utilizando la granulometría “3”

Valores				
Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,70	2,364	-----	-----
% Vacíos	5,65	4,00	3	5
R.B.V.	5,84	78,50	75	82
V.A.M	5,25	17,20		
Estabilidad (lb)	5,34	2837,20	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100''	5,50	13,00	8	18
Promedio (%)	5,55	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.27 Verificación para el % de asfalto óptimo obtenido utilizando la granulometría “3”

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,55	2,362	-----	-----
% Vacíos	5,55	4,20	3	5
R.B.V.	5,55	75,54	75	82

V.A.M	5,55	17,18		
Estabilidad (lb)	5,55	2826,00	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,55	12,96	8	18
% Optimo de asfalto propuesto			5,55	

Fuente: Elaboración propia.

Análisis estadístico.

Análisis estadístico para la validación de los resultados obtenidos de estabilidad y fluencia, luego de elaborar las 30 briquetas con el contenido óptimo de cemento asfáltico por el método Marshall utilizando el C.A. Stratura como ligante.

Cuadro 4.28 Resultados de estabilidad

Briqueta N°	Estabilidad
1	2533,6
2	2639,5
3	2703,0
4	2576,7
5	2689,8
6	2594,3
7	2594,3
8	2614,4
9	2660,2
10	2609,6
11	2639,5
12	2627,2
13	2558,9
14	2664,6
15	2652,5
16	2601,9
17	2685,6
18	2594,3
19	2631,7
20	2627,2
21	2614,4
22	2609,6
23	2619,5
24	2634,9

25	2627,2
26	2639,5
27	2601,9
28	2543,9
29	2660,2
30	2677,1

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.29 Resumen estadístico para estabilidad Stratura

Recuento	30,000
Promedio	2624,230
Desviación Estándar	40,896
Coefficiente de Variación (%)	1,558
Mínimo	2533,600
Máximo	2703,000
Rango	169,400
Sesgo Estandarizado	-0,503
Curtosis Estandarizada	0,020

Fuente: Elaboración propia (Programa STATGRAPHICS)

Estadística Inferencial:

Error de la serie de datos:

$$Ex = \sqrt{\frac{\sum (xi - x)^2}{n}}$$

$$Ex = \sqrt{\frac{48563,875}{30}}$$

$$Ex = 40,2343$$

Error medio de la media:

$$E\bar{x} = \frac{Ex}{\sqrt{n}}$$

$$E\bar{x} = \frac{40,2343}{\sqrt{30}} = 7,3457$$

Error Probable:

$$Ep = z * E\bar{x}$$

$$Ep = 1,96 * 7,3457$$

$$Ep = 14,3976$$

Valor Aceptado:

$$Va = \bar{x} \pm Ep$$

$$Va = 2624,253 \pm 14,3976$$

$$Va = 2609,8554--2638,6506$$

(intervalo de Confianza)

Análisis estadístico de los 30 resultados (datos) de Fluencia obtenidos con el método Marshall utilizan el C.A. Stratura como ligante, utilizando el contenido óptimo de cemento asfáltico.

Cuadro N° 4.30 Resultados de fluencia

Briqueta N°	Fluencia
1	13,0
2	13,2
3	13,1
4	13,3
5	13,1
6	13,0
7	13,4
8	13,0
9	13,1
10	12,9
11	13,2
12	13,1
13	13,2
14	12,9
15	13,2
16	13,2
17	13,3
18	13,1
19	12,9
20	13,3
21	13,2
22	13,2
23	13,1

24	13,0
25	13,4
26	13,1
27	13,0
28	13,3
29	13,1
30	13,0

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.31 Resumen estadístico para fluencia Stratura

Recuento	30,000
Promedio	13,130
Desviación Estándar	0,139333
Coefficiente de Variación (%)	1,06118
Mínimo	12,900
Máximo	13,400
Rango	0,500
Sesgo Estandarizado	0,351833
Curtosis Estandarizada	-0,679356

Fuente: Elaboración propia (Programa STATGRAPHICS)

Estadística Inferencial:

Error de la serie de datos:

$$Ex = \sqrt{\frac{\sum (xi - x)^2}{n}}$$

$$Ex = \sqrt{\frac{0,563}{30}}$$

$$Ex = 0,137$$

Error medio de la media:

$$E\bar{x} = \frac{Ex}{\sqrt{n}}$$

$$E\bar{x} = \frac{0,137}{\sqrt{30}}$$

$$0,025$$

Error Probable:

$$Ep = z * E\bar{x}$$

$$Ep = 1,96 * 0,025$$

$$Ep = 0,049$$

Valor Aceptado:

$$Va = \bar{x} \pm Ep$$

$$Va = 13,13 \pm 0,049$$

$$Va = 13,081 - - 13,179 \quad (\text{intervalo de Confianza})$$

4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para poder realizar un análisis de los resultados se vio por conveniente comparar con un asfalto de igual penetración (85/100) pero de distinta procedencia, en este caso se comparó con el Cemento Asfáltico Stratura (Origen: Brasil) ya que este C.A. está siendo muy utilizado en los últimos años en nuestro medio; ahora ya tendremos un parámetro de comparación para el estudio del C.A. Petroperú que es objeto de este estudio.

4.4.1. Agregados

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados a los agregados se encuentran dentro de las especificaciones establecidas por la normativa del Departamento Nacional de Infraestructura de Transporte “DNIT”

Cuadro N° 4.32 Resultados de pruebas a los agregados

Pruebas (ensayos)	Resultado	Especificación
Densidad Relativa (gr/cm ³)	2,749	2,4 Mínimo
Desgaste de Los Ángeles (%)	21,23	< 50%
Partículas Alargadas y Lajeadas	14,29	35% Máximo
Equivalente de Arena	51	50 % Mínimo

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Cementos Asfálticos

Se observaron por separados las características de los dos cementos asfálticos y se pudo observar algunas diferencias en las mismas.

Cuadro N° 4.33 Comparación de resultados obtenidos en la caracterización de los cementos asfálticos

Observaciones	Resultados		Especificaciones	
	Petroperú 85/100	Stratura 85/100	Petroperú 85/100	Stratura 85/100
Densidad a 25°C (gr/cm ³)	1,017	1,008	-	-
Penetración a 25°C (mm)	92	95,3	85-100	85-100
Punto de Ablandamiento (°C)	42	44		
Punto de Inflamación (°C)	245	254	Min 232°	Min
Adherencia (%)	Ok	Ok	> 95%	> 95%
Ductilidad a 25°C (cm)	125	145	> 100	

Perdida por Calentamiento (%masa)		0,3	0,1	Max 1	Max 1
Penetración después de perd. Masa		57	65	Min 47	
Ductilidad después perd. Masa (mm)		95	125	Min 75	
Temperaturas Optimas °C	Mezclado	150-155	154 - 165	-	-
	Compactación	128-136	132-141	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados del Cuadro 4.33 podemos observar que hay variaciones en los resultados después de hacer la caracterización de los cementos asfálticos. Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento, bajo esta premisa y observando los resultados de la caracterización de los asfaltos podemos notar que hay diferencias entre uno y otro en parámetros importantes como, la ductilidad, pérdida de masa y susceptibilidad a la temperatura, parámetros que influirán en la conformación de la mezcla asfáltica, cada parámetro fue analizado en su correspondiente capítulo.

Observando los resultados del ensayo de peso específico (densidad) de los cementos asfálticos en estudio, comparando podemos observar que hay variaciones entre los mismos, esto se debe a la naturaleza de cada cemento asfáltico, este parámetro es muy importante ya que va a incidir directamente en el porcentaje de vacíos en la futura mezcla asfáltica, porque para un mismo volumen va a entrar distintas cantidades de cemento asfáltico y esto a su vez es directamente proporcional a la cantidad de vacíos que va a ocupar el cemento asfáltico en la mezcla.

De los resultados obtenidos al realizar el ensayo de Viscosidad vs. Temperatura se ha podido obtener dos parámetros muy importantes que son la temperatura óptima de mezclado y compactación, en ambos casos observamos que para el C.A. Petroperú ambas temperaturas son inferiores comparadas con la del C.A. Stratura, por la

naturaleza de cada cemento asfáltico éste reaccionara a mayor o menor temperatura y esta hará variar su fluidez, además durante las distintas pruebas y ensayos realizados pudimos observar que el C.A. Petroperú es menos tolerante a los incrementos de temperatura, es decir, se produce oxidación por temperatura con facilidad.

4.4.3. Mezcla Asfáltica

A continuación se muestra la Cuadro de resultados de la mezcla asfáltica realizada con el % óptimo de cemento asfáltico determinado con el método de diseño Marshall para los dos cementos asfálticos para las tres granulometrías propuestas.

Se realizó la elaboración de 30 briquetas con el contenido de asfalto óptimo para verificar que cumplan con el ideal teórico y las especificaciones correspondientes.

Cuadro N° 4.34 Resultados del diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (Ligante C.A. Petroperú 85/100)

Granulometría	Contenido de Asfalto (%)	Densidad Media (gr/cm ³)	Estabilidad (Lb)	Fluencia (1/100")	Vacíos en la Mezcla (%) VMC	Vacíos en el Agregado Mineral (%) VAM	Vacíos Llenos de Asfalto (%) RBV
Granulometría "1"	5,86	2,364	2364,0	10,20	3,42	16,97	79,86
Granulometría "2"	5,75	2,372	2434,2	10,93	3,80	17,22	77,92
Granulometría "3"	5,59	2,371	2686,0	10,36	3,90	16,90	76,94

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°4.4 Briquetas elaboradas con el contenido óptimo de C.A. (5.75%)



Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.35 Resultados del diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (Ligante C.A. Stratura 85/100)

Granulometría	Contenido de Asfalto (%)	Densidad Media (gr/cm ³)	Estabilidad (Lb)	Fluencia (1/100")	Vacíos en la Mezcla (%) VMC	Vacíos en el Agregado Mineral (%) VMC	Vacíos Llenos de Asfalto (%) RBV
Granulometría "1"	5,77	2,377	2538,0	13,76	3,61	17,18	79,00
Granulometría "2"	5,69	2,374	2625,4	13,10	3,71	17,12	78,32
Granulometría "3"	5,55	2,362	2826,0	12,96	4,20	17,18	75,54

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5 Briquetas elaboradas con el contenido óptimo de C.A. (5.69%)



Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.36 Comparación resultados obtenidos en la elaboración de la mezcla asfáltica con la granulometría “1”

Características	Mezcla Asfáltica	Mezcla Asfáltica	Especificación
	Petroperú 85/100	Stratura 85/100	
Compactación, N° de golpes (por cara)	75	75	75
Contenido óptimo de C.A.	5,86	5,77	-
Densidad	2,384	2,377	-
Estabilidad (Lb)	2364	2538	Min 1800
Fluencia(1/100")	11,20	13,76	Min 8 - Max 14
Vacíos en la Mezcla VMC (%)	3,42	3,61	Min 3 – Max 5

Vacíos en el Agregado VAM (%)	16,97	17,18	Min 14
Vacíos ocupados por el Asfalto RBV (%)	79,86	79,00	Min 75 – Max 82

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.37 Comparación resultados obtenidos en la elaboración de la mezcla asfáltica con la granulometría “2”

Características	Mezcla Asfáltica	Mezcla Asfáltica	Especificación
	Petroperú 85/100	Stratura 85/100	
Compactación, N° de golpes (por cara)	75	75	75
Contenido óptimo de C.A.	5,75	5,69	-
Densidad	2,372	2,374	-
Estabilidad (Lb)	2434,2	2625,4	Min 1800
Fluencia(1/100”)	10,93	13,10	Min 8 - Max 14
Vacíos en la Mezcla VMC (%)	3,80	3,71	Min 3 – Max 5
Vacíos en el Agregado VAM (%)	17,22	17,12	Min 14
Vacíos ocupados por el Asfalto RBV (%)	77,92	78,32	Min 75 – Max 82

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.38 Comparación resultados obtenidos en la elaboración de la mezcla asfáltica con la granulometría “3”

Características	Mezcla Asfáltica	Mezcla Asfáltica	Especificación
-----------------	------------------	------------------	----------------

	Petroperú 85/100	Stratura 85/100	
Compactación, N° de golpes (por cara)	75	75	75
Contenido óptimo de C.A.	5,59	5,55	-
Densidad	2,371	2,362	-
Estabilidad (Lb)	2686	2826	Min 1800
Fluencia(1/100")	10,36	12,96	Min 8 - Max 14
Vacíos en la Mezcla VMC (%)	3,90	4,20	Min 3 – Max 5
Vacíos en el Agregado VAM (%)	16,90	17,18	Min 14
Vacíos ocupados por el Asfalto RBV (%)	76,94	75,54	Min 75 – Max 82

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, existen variaciones en cuando a los resultados obtenidos al realizar la mezcla con los dos cementos asfálticos, ahora nos corresponde ver en qué afectan o mejoran a la mezcla asfáltica y debido a que se presentan dichas diferencias.

De los tres diseños que se realizaron con cada cemento asfáltico, según se observa en los resultados de cuadros 4.36; 4.37 y 4.38 observamos que el más óptimo es el realizado con la granulometría “2” para ambos ligantes porque cumple satisfactoriamente cada uno de las especificaciones de la metodología Marshall.

Haciendo un análisis de cada uno de los parámetros que se muestran en el anterior Cuadro, en lo que se refiere al **contenido óptimo de C.A.**, podemos observar que es necesario un porcentaje mayor de C.A. Petroperú para la elaboración de la mezcla asfáltica. El contenido óptimo para la preparación de la mezcla debe ser el necesario para cubrir con una película de asfalto la superficie de las partículas pétreas, sin llenar

completamente los vacíos, ya que estos deben ser llenados con las partículas más finas.

Por una parte la mezcla debe contener un porcentaje mínimo de vacíos para evitar las exudaciones del asfalto, que pueden provocar la formación de surcos u ondulaciones; por otra parte deberá tener un porcentaje máximo de vacíos, ya que si este valor se excede, se puede ocasionar el endurecimiento del asfalto por efecto de los agentes atmosféricos, dando como resultado una carpeta quebradiza.

Dependiendo de su cantidad en la mezcla, el asfalto puede actuar como un ligante o como un lubricante. Por lo tanto, la estabilidad de una mezcla aumenta con un incremento en el porcentaje de asfalto hasta alcanzar un máximo, después del cual disminuye. El efecto del porcentaje de asfalto varía con el tipo de agregado y en algunos casos es mucho más crítico que en otros.

Como segundo parámetro tenemos la **densidad**, La densidad de una mezcla afecta a la mayoría de las pruebas de estabilidad, sin embargo, la estabilidad máxima no ocurre siempre a la densidad máxima determinada antes de la prueba. Un estado más denso puede ocurrir durante la aplicación de la carga, o el porcentaje de asfalto correspondiente a la densidad máxima puede tener un gran efecto lubricante. Además, las temperaturas a las cuales se determinan la densidad y la estabilidad, generalmente, no son iguales. En este caso los valores de la densidad obtenidos en las mezclas elaboradas con ambos cementos asfálticos son prácticamente iguales.

Otro parámetro es el porcentaje de **vacíos en la mezcla** (% VMC), La disminución de éste en una mezcla asfáltica produce una disminución de la porosidad y en consecuencia una disminución de la penetrabilidad del aire y del agua en el pavimento. La primera significa una oxidación más lenta del asfalto, es decir, una mayor durabilidad, y la segunda una menor posibilidad de que se pongan en contacto las fases agua-asfalto-agregado, con lo que se retarda la posibilidad de desintegración del pavimento por la acción del agua, que produce el desprendimiento de la película de asfalto del agregado.

Por otra parte, la mezcla compactada debe presentar un volumen mínimo de vacíos, para impedir afloramientos de asfalto y pérdida de estabilidad, como consecuencia de la compactación adicional que produce el tránsito.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico. En este caso observando los resultados obtenidos podemos apreciar que la mezcla elaborada con C.A. Petroperú tiene un valor menor comparado con el otro asfalto, al haber utilizado los mismos agregados pétreos esto nos indica que la variación de este parámetro está ligado directamente a las características del C.A. en estudio.

Otro parámetro importante que podemos apreciar en los anteriores cuadros es el de la Fluencia, que es la deformación de la briqueta sometida a una carga, como se puede apreciar en los resultados obtenidos, el valor de la fluencia para la mezcla elaborada con C.A. Petroperú es menor, esto quiere decir que la mezcla tendrá menor capacidad de deformación.

CAPÍTULO V

COCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES:

En base a los ensayos realizados tanto en la etapa de caracterización de los áridos y los cementos asfálticos en estudio, como en el diseño y la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente utilizando los dos cementos asfálticos como material aglomerante o ligante; podemos sacar las siguientes conclusiones.

- Se pudieron alcanzar todos los objetivos planteados al inicio de este trabajo, tanto en la etapa de caracterización de los materiales y la elaboración y control de la mezcla asfáltica.
- Se puede observar variación en la estabilidad Marshall, el valor de la estabilidad de la mezcla elaborada con el C.A. Stratura es mayor, lo que nos indica que tendrá mejor resistencia a la deformación debido a las cargas por tráfico en el futuro pavimento. La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.
- También se puede observar que hay diferencias en los valores de la fluencia, dicho valor es menor en la mezcla realizada con C.A. Petroperú, lo que nos indica que dicha mezcla será más frágil y rígida para un pavimento en servicio.
- 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. Con lo esto y en base a los resultados obtenidos podemos concluir que la mezcla diseñada con C.A. Petroperú es más permeable.

- El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto, en este caso al tratarse de los mismos agregados con las mismas características igual podemos ver que existe una diferencia en el contenido óptimo de asfalto entre las dos mezclas diseñadas.
- Otro parámetro importante en el cual se ve diferencias durante la caracterización de los cementos asfálticos es en la Ductilidad de los mismos, Los betunes asfálticos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica. Por otra parte, los betunes asfálticos con una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura. En algunas aplicaciones, como las mezclas para pavimentación, tienen gran importancia la ductilidad y el poder aglomerante, en este caso observando los resultados obtenidos concluimos que el Cemento Asfáltico en estudio es menos dúctil que el Stratura.
- A la conclusión del ensayo de Película delgada en el horno podemos ver tres parámetros muy importantes, el primero que el cemento asfáltico Petroperú pierde mayor cantidad de masa (en porcentaje) al finalizar el ensayo; el segundo parámetro es que se vuelve más duro (penetración) y el tercer parámetro es que pierde ductilidad al término del mencionado ensayo; estos tres parámetros nos indican que vamos a tener problemas durante la mezcla en planta debido al

cambio en las propiedades del cemento asfáltico, problemas en la propiedades aglomerantes y la adherencia del ligante con los agregados.

- Con todo lo anteriormente expuesto, si bien se pueden observar diferencias en los resultados al comparar un cemento asfáltico con el otro, podemos apreciar que los resultados obtenidos al utilizar el cemento asfáltico Petroperú 85/100 son satisfactorios y cumplen holgadamente cada uno de los requerimientos y especificaciones de las normas, con esto concluimos que se puede utilizar el mismo en cualquier trabajo de asfaltado, teniendo en cuenta siempre todas las especificaciones y recomendaciones de la norma y del fabricante. Además si habiendo hecho un análisis de costos es una buena opción ya que es el más barato del mercado.

5.2 RECOMENDACIONES

En base a los ensayos realizados tanto en la etapa de caracterización de los áridos y los cementos asfálticos en estudio, como en el diseño y la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente utilizando los dos cementos asfálticos como material aglomerante o ligante; podemos hacer las siguientes recomendaciones.

- Durante la realización de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico Petroperú 85/100 se pudo observar que el mismo es muy susceptible al incremento de la temperatura y como se puede observar en los resultados del ensayo de Viscosidad vs Temperatura los valores tanto para la temperatura de mezclado como para compactación son menores comparadas con la del C.A. Stratura, por lo que se puede recomendar tener un control estricto durante el mezclado y compactación de la mezcla asfáltica, ya que el margen es pequeño y se pueden presentar problemas debido a la oxidación por temperatura en las propiedades del asfalto en estudio.
- Se debe cumplir estrictamente con las especificaciones para los agregados que van a conformar la mezcla asfáltica, ya que estos tienen gran incidencia en las

propiedades de la misma, durante la elaboración de este trabajo pudimos observar agregados de diferente procedencia y constatar la variación de los resultados al utilizar distintos tipos de agregados.

- Se deben realizar diseños para la elaboración de las mezclas asfálticas teniendo en cuenta todos los parámetros correspondientes y las características propias de cada uno de los proyectos, es decir, no se deben reutilizar diseños de un proyecto para otro. Además se debe hacer un rediseño de la mezcla asfáltica en caso de que alguno de los materiales que conforma dicha mezcla cambie.
- Se debe almacenar el cemento asfáltico con las condiciones correspondientes y no por mucho tiempo, ya que los agentes atmosféricos alteran sus propiedades, durante la elaboración de este trabajo se recabó distintas muestras del cemento asfáltico en estudio y se constató la variación de las propiedades de muestras que no estaban almacenadas en condiciones óptimas.
- Se debe realizar programaciones adecuadas en planta a la hora de elaborar la mezcla asfáltica, tratando de utilizar todo el cemento asfáltico que se calentó para mezclado ya que si sobra éste sufrirá otra vez el calentado y esto afecta a las características del mismo.
- En el laboratorio se trabaja en condiciones óptimas y con cantidades pequeñas de material, por esto se debe tratar que a la hora de hacer diseños de mezclas asfálticas debemos pensar en las condiciones de trabajo que hay en la planta y tratar de que los valores que se den en el diseño de laboratorio sea fáciles de adecuar a las condiciones del trabajo en la planta.