

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades mecánicas que se obtienen por el ensayo Marshall para mezcla asfáltica caliente convencional y modificada por los agregados, se puede decir que juegan un rol fundamental en la vida útil de un pavimento, ya que éstas permiten definir su resistencia y elasticidad, por esta razón se decide comparar ambos tipos de mezcla para valorar su comportamiento y si es conveniente usar agregados diferentes a los convencionales.

La ingeniería enfrenta permanentemente el reto de mantener y desarrollar estructuras de pavimento con recursos económicos limitados. Las especificaciones tradicionales de diseño y construcción establecen la necesidad de grandes cantidades de materiales de alta calidad para garantizar la durabilidad y desempeño de las estructuras, sin embargo, no hay disponibilidad suficiente de tales materiales o estos no se encuentran a distancias razonables del proyecto.

Ante este panorama la ingeniería ha recurrido a alternativas de diseño que consideren, materiales diferentes a los convencionales en las mezclas asfálticas en caliente para poder dar nuevas alternativas y así reducir el costo, la contaminación del medio ambiente entre otros.

Lo que el autor propone: Comparar las propiedades mecánicas en mezcla asfáltica caliente (convencional) con una mezcla asfáltica modificada, con el propósito de emplear agregados diferentes a los convencionales; es decir agregado de caliza y material cerámico de descarte, de tal manera se las pueda someter a pruebas de estabilidad, fluencia con la finalidad de analizar su comportamiento.

En lo que refiere a mezcla asfáltica caliente con agregado de caliza y material cerámico de descarte, se pretende dar nuevos conceptos relacionando a los agregados a usar; también con ello hacer una comparación del comportamiento que sufre la mezcla asfáltica en caliente con agregado modificado y dar una alternativa para el uso del

agregado grueso en la mezcla y así reducir el costo de los agregados que comúnmente son utilizados al ser reemplazados estos.

1.1 ANTECEDENTES

En los últimos años el mundo está cada vez más contaminado y con un deterioro creciente en el medio ambiente, la preservación de los recursos naturales se ha convertido en una preocupación general de todos los sectores productivos del mundo.

Las mezclas asfálticas con agregado no convencional siguen siendo investigados en lo referente a su aplicación; esto porque cada vez es más frecuente leer o escuchar la prohibición de la explotación de los agregados de cantera.

En la actualidad se realizó un estudio por Richard Raul Josephina Santos, Facultad Nacional de Ingeniería de la Universidad Técnica de Oruro (2014); relacionado a Estudio de Materiales Calizos como Agregado Grueso en Mezclas asfálticas calientes.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Debido a que los recursos del Estado nunca serán suficientes para enfrentar la falta de vías terrestres, entonces se deben aportar nuevas ideas, para que las obras de los gobiernos municipales del área rural no se vean siempre postergadas.

En tal sentido, el propósito del presente trabajo de investigación es experimentar el comportamiento en laboratorio del material calizo y cerámico de descarte, como agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente mediante el método Marshall, reemplazando parcial o totalmente a la roca basáltica, para las zonas donde no existan estos materiales denominados “tradicionales”.

Esta investigación tiene como finalidad proponer como agregado grueso, al agregado de caliza y material cerámico de descarte ya sea de manera absoluta o porcentual, esto de acuerdo a los resultados que presente el diseño Marshall; para realizar una comparación con una mezcla asfáltica en caliente con agregado “convencional” de

chancadora, para analizar su comportamiento de estos diseños, reducir su costo y explotación del agregado de canteras.

Así también en relación a la mezcla asfáltica con agregado convencional, con estos agregados de caliza y material cerámico de descarte; se pretende cumplir ciertas especificaciones de las Normas AASHTO T245.

1.3. DISEÑO TEÓRICO

1.3.1. Planteamiento del problema

1.3.1.1. Situación problemática

En la práctica dentro del mantenimiento de las vías de comunicación, es fundamental el conocimiento de los problemas que pueden suscitarse por agentes externos, para que así, se pueda realizar una prevención adecuada y no exista un deterioro ascendente; sin embargo, es posible detectar oportunamente estos problemas.

Los ensayos Marshall permiten conocer las propiedades mecánicas, es decir la estabilidad y fluencia de los componentes de una mezcla asfáltica caliente; en este caso con el reemplazo de los agregados por caliza y material cerámico de descarte. En las mezclas asfálticas calientes convencionales se nota que al usar los agregados tradicionales o normales viene afectando directamente al impacto medioambiental y la explotación de agregados y para reducir esto, se pretende usar agregado de caliza y material cerámico de descarte, para no afectar de gran manera a los materiales pétreos.

Es posible emplear agregados diferentes a los convencionales como agregado de caliza y material cerámico de descarte en la mezcla asfáltica caliente, para así reducir la explotación de agregados pétreos y reducir los impactos medioambientales, tales como ruidos, polvo, afecciones visuales; esto será experimentado a nivel laboratorio y se hará una comparación entre el uso de los agregados normales y los agregados ya mencionados con anterioridad, ambos serán sometidos a mezclas asfálticas calientes y así observar el comportamiento que sufren los agregados respecto al diseño Marshall.

1.3.1.2. Determinación del problema.

¿De qué manera una comparación de las propiedades mecánicas entre una mezcla asfáltica convencional y otra mezcla asfáltica modificada con agregado grueso de caliza y material cerámico de descarte puede establecer el comportamiento?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Comparar las propiedades mecánicas en mezcla asfáltica caliente (convencional) con mezclas asfálticas modificadas en el agregado grueso, con el propósito de emplear agregados diferentes a los convencionales; es decir caliza y material cerámico de descarte, de tal manera se las pueda someter a pruebas de estabilidad, fluencia con la finalidad de analizar su comportamiento mecánico.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar los métodos y ensayos que se requieren para el 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 agregados gruesos diferentes a los convencionales, es decir agregado de caliza y material cerámico de descarte, en mezcla asfáltica caliente, entonces se podrá elaborar briquetas y someterlas a ensayos Marshall para poder obtener valores de estabilidad y fluencia, para comparar su comportamiento respecto a una mezcla asfáltica caliente convencional.

1.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

1.6.1. Variable independiente

Tipo de agregado de caliza y material cerámico de descarte.

1.6.2. Variable dependiente

Estabilidad y Fluencia.

1.6.3. Conceptualización y operacionalización de las variables

Tabla.1 Conceptualización de variable independiente

Variable independiente	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Agregado pétreo	Con el agregado pétreo, se pretende hacer una comparación de las propiedades mecánicas por el ensayo Marshall y los resultados que darán, con respecto a una mezcla asfáltica caliente con agregado convencional.	Agregado grueso, de caliza y material cerámico de descarte.	Se hace variar las cantidades en porcentaje.	Realizando la dosificación en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

Tabla.1.1 Operacionalizad de variable dependiente

Variable dependiente	Operacionalización		
	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas calientes modificando el agregado grueso.	Estabilidad	Lb	Especificaciones de la norma AASHTO
	Fluecia	(1/100) Plg	

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 densas, continuas.

1.7.3. Muestreo:

Población

Agregado para una mezcla asfáltica convencional y agregado para la mezcla asfáltica modificada con agregado de caliza y material cerámico de descarte.

Tabla 1.2. Nivel de confianza

Nivel de confianza	Valor del nivel de confianza Z
50	0.57
80	1.28
85	1.44
90	1.64
95	1.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.3 Tamaño de población y muestra

	Ensayos	Ni	Pi	qi	Pi*qi	Ni*Pi*qi	Wi	ni
Caracterización de los agregados pétreos	Granulometría	22.00	0.50	0.50	0.25	5.50	0.12	15.00
	Peso específico	18.00	0.50	0.50	0.25	4.50	0.10	12.00
	Prueba de los ángeles	6.00	0.50	0.50	0.25	1.50	0.03	3.00
	Caras fracturadas	4.00	0.50	0.50	0.25	1.00	0.02	3.00
	Equivalente de arena	4.00	0.50	0.50	0.25	1.00	0.02	3.00
	Durabilidad por sulfatos	6.00	0.50	0.50	0.25	1.50	0.03	4.00
Caracterización del cemento asfáltico	Ductilidad	4.00	0.50	0.50	0.25	1.00	0.02	2.00
	Ensayo de penetración a 25°C	4.00	0.50	0.50	0.25	1.00	0.02	2.00
	Punto de Inflamación	4.00	0.50	0.50	0.25	1.00	0.02	2.00
	Ensayo de viscosidad	4.00	0.50	0.50	0.25	1.00	0.02	2.00
	Peso específico	4.00	0.50	0.50	0.25	1.00	0.02	2.00
Diseño Marshall	Estabilidad	109.00	0.50	0.50	0.25	27.25	0.58	75.00
	Fluencia							
Total		189.00				47.25		125.00

Fuente: Elaboración propia

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

$$n_i = \frac{5.50}{189 * 0.00065 + \frac{5.50}{189}}$$

$$n_i = 15.00$$

- Para el infinito desconocido

Valor de nivel de confianza (Z) =1.96

Nivel de confianza=95%

Probabilidad de que ocurra (Pi)=0.5

Probabilidad de que no ocurra (qi) =0.5

 $n_{total} = 109$ tamaño de muestra

$$D = \frac{\mathcal{E}^2}{Z^2}$$

$$D = \frac{0.005^2}{1.96^2}$$

$$D = 0,00065$$

- Para el finito conocido

 N =Población total \mathcal{E}^2 =varianza=0.005

1.7.4. Resultados de cantidad de ensayos

Para la realización de diseño Marshall se tiene 15 briquetas al ser 5 diseños se tiene (75) briquetas para encontrar el porcentaje óptimo de asfalto, por diseño ya con el porcentaje óptimo del Cemento asfalto se hara 30 briquetas y por 5 diseños (150) briquetas.

Tabla 1.4: Resumen de ensayos a realizar

Ensayos	
Granulometría	15
Densidad	15
Prueba de los ángeles	6
Caras fracturadas	3
Equivalente de arena	3
Durabilidad por sulfatos	4
Ductilidad	2
Ensayo de penetración a 25°C	2
Punto de Inflamación	2
Ensayo de viscosidad	2
Peso específico	2
Marshall	225
Total	281

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 Comparar las propiedades mecánicas en mezcla asfáltica caliente empleando agregado de caliza y material cerámico de descarte; se debe realizar varios tipos de ensayos, que si son factibles dentro del laboratorio de suelos y pueden realizarse ya que se cuenta con los medios necesarios.

1.10 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS

1.10.1. Listado de actividades a realizar

- Selección del material para la elaboración de la mezcla

Caracterización de los agregados

Granulometría
 Densidad
 Prueba de los ángeles
 Peso específico
 Caras fracturadas
 Equivalente de arena

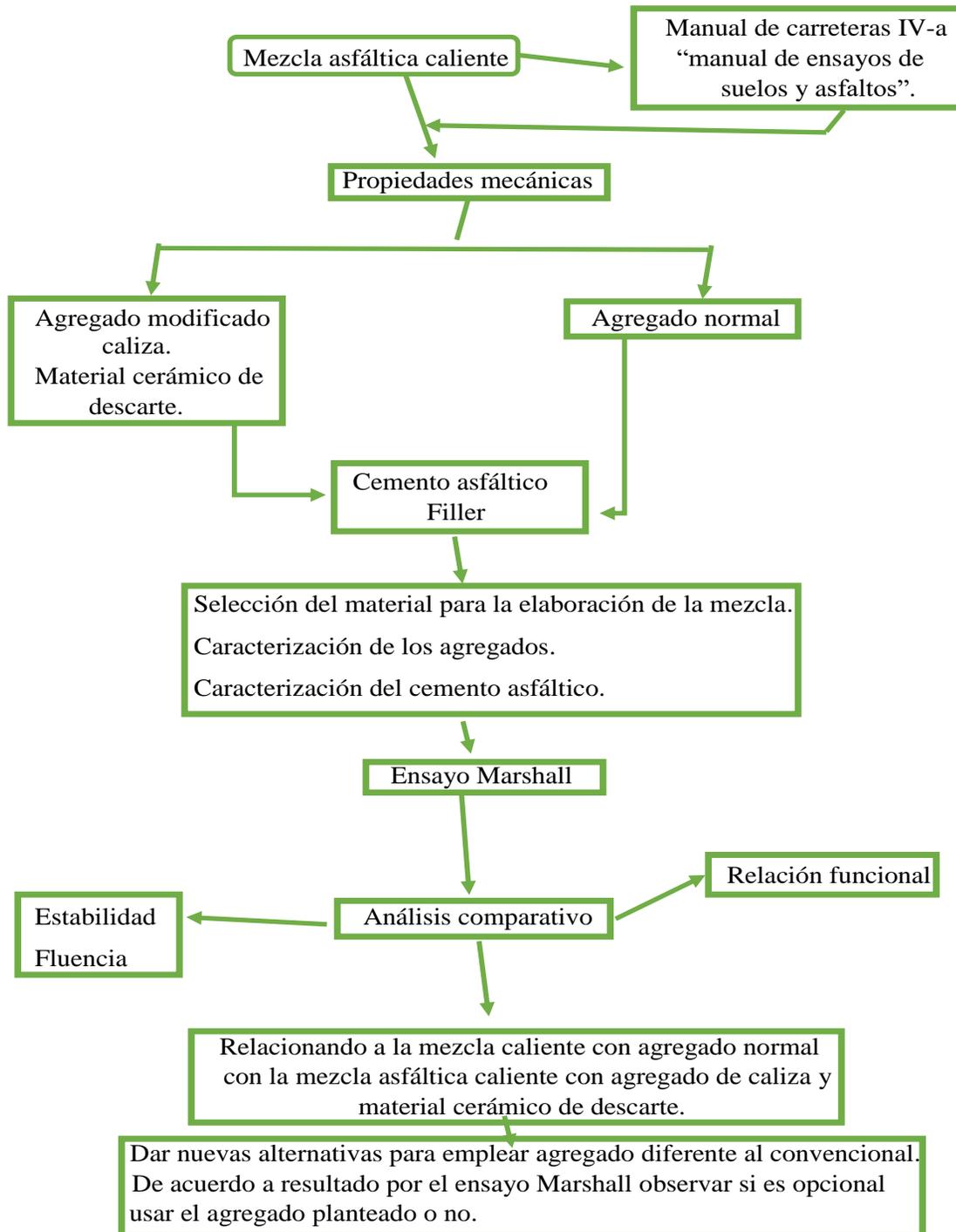
Caracterización del cemento asfáltico

Ensayo de penetración a 25°C
 Ensayo de Viscosidad
 Ductilidad
 Peso específico

Comparar las propiedades por Marshall

- Estabilidad
- Fluencia

1.10.2. Esquema de actividades en función a la perspectiva.



Fuente: Elaboración propia

1.10.3. 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 en mezcla asfáltica caliente empleando agregado de caliza y material cerámico de descarte son:

Hacer un análisis comparativo de la estabilidad y fluencia que presente una mezcla asfáltica caliente con agregado convencional y modificado por agregado de caliza y material cerámico de descarte.

Con la obtención de la resistencia y elasticidad que presenta la mezcla asfáltica caliente con agregado convencional y la mezcla asfáltica caliente modificada por el agregado de caliza y material cerámico de descarte, se podrá comparar ambas mezclas asfálticas en caliente y así poder o no, considerar al agregado de caliza y material cerámico de descarte para las mezclas asfálticas.

También en caso de que salgan resultados admisibles, con la mezcla asfáltica caliente con agregado de caliza y material cerámico de descarte en relación a los que presenta una mezcla asfáltica caliente con agregado convencional, se dará una alternativa de uso en los pavimentos.

1.10.4. Resultados esperados

Los resultados esperados al comparar entre una mezcla asfáltica en caliente convencional con otra mezcla asfáltica en caliente modificada por agregado de caliza y material cerámico de descarte, es que pueda dar resultados en resistencia y estabilidad muy parecidos a los que presenta una mezcla asfáltica en caliente convencional; para así poder obtener las ventajas y desventajas que pudieran observarse.

1.11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- **Variables independientes**

Mezcla asfáltica normal (X1)

Agregado Convencional

Mezcla asfáltica modificada (X2)

Agregado Modificado

- **Variables dependientes**

Estabilidad (Y1)

Fluencia (Y2)

1.11.1 Selección de programas a utilizar

El programa para realizar la estadística será Statgraphics.

1.11.2. 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.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^i (X1 - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{Para población}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^i (X1 - \bar{X})^2}{n}} \quad \text{Para muestras}$$

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

1.11.3. 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.

1.12. ALCANCE

Mediante el presente trabajo, se pretende dar uso como agregado grueso a la piedra caliza y material cerámico de descarte como un material componente de una mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall, para disminuir la explotación del material pétreo de canteras es decir el agregado que normalmente se usa para mezcla asfáltica convencional y se hará a nivel laboratorio.

Se dará cumplimiento a lo establecido en la norma (AASHTO); para así verificar si el agregado (convencional, piedra caliza, material cerámico de descarte) y el cemento asfáltico cumple tanto la caracterización de los materiales empleados para mezclas asfálticas en caliente y también para el diseño Marshall respecto a sus propiedades mecánicas (estabilidad y fluencia).

En referencia al cemento asfáltico se usará el CA 85-100, siendo el más adecuado para aplicarlo en un clima trópico como tiene el departamento de Tarija; es extraído de la posta municipal del departamento de Tarija y es proveniente de Chile.

Se realizará ensayos Marshall con la norma AASHTO y se tiene en total 75 ensayos de los cuales, 15 ensayos serán por cada diseño Marshall iniciando con emplear al agregado (grava y arena), una vez obtenido su contenido de asfalto óptimo se realizará

por cada diseño 30 briquetas realizar un análisis estadístico y así validar ya sea de manera positiva o no, a los resultados que presenten de cada diseño.

CAPÍTULO II

2.1. MEZCLA ASFÁLTICA

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

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.

2.2. TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.2.1 Mezclas asfálticas 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 muy 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 al 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 6⁰ de asfalto en volumen de agregados pétreos.

2.2.2. Mezclas asfálticas en frío

Son las 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 los 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.

2.2.3. Mezclas porosas drenantes

Se emplean en capas de rodadura, principalmente en las 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 convencionales, se aplican en vías secundarias, en vías urbanas o en capas de base bajo los pavimentos de hormigón- Utilizadas como mezclas en caliente para tráfico de elevada intensidad y como capas de rodadura en espesores de unos 4 cm. se consigue que el agua lluvia caída sobre la calzada se evacue rápidamente por infiltración.

2.2.4. Micro aglomerados

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 micro aglomerados en frío (se le suele llamar a las lechadas asfálticas más gruesas) como los micro aglomerados en caliente son por su pequeño espesor (que es inferior a 3 cm.) Tratamientos superficiales con una gran variedad de aplicaciones. Tradicionalmente se

han considerado adecuados para las zonas urbanas, porque se evitan problemas con las alturas libres de los gálibos y la altura de los bordillos debido a que se extienden capas de pequeño espesor. Hay micro aglomerados con texturas rugosas hechas con agregados pétreos de gran calidad y asfaltos modificados, para las vías de alta velocidad de circulación.

2.2.5. Masillas

Son unas mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante, de manera que, si hay agregado grueso se haya 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 el ligante con adiciones de fibras. Los asfaltos fundidos, son de este tipo, son mezclas de gran calidad, pero su empleo está justificado únicamente en los tableros de los puentes y en las vías urbanas, incluso en aceras, de los países con climas fríos y húmedos.

2.2.6. 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 del polvo mineral también es alta, entre el 8% - 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 15 cm., tanto para rehabilitaciones como para la construcción de firmes nuevos con tráficos pesados 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.

2.3. CLASIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.

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

2.3.1. 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.

2.3.2. 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 semidensas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.

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

Mezclas porosas: La proporción de vacíos es superior al 20 %.

2.3.3. Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.

Mezclas gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.

Mezclas finas: 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.

2.3.4. Por la granulometría.

Mezclas continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

Mezclas discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

2.4. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.4.1. Peso específico de los agregados

Como el agregado está compuesto por fracciones separadas de agregado grueso, agregado fino y filler natural, todos con distinto peso específico, los cálculos finales se verán simplificados de gran manera por el cálculo del peso específico bruto del agregado total. Generalmente, los pesos parciales, se expresan en por cientos del peso total del agregado- Para introducir en la fórmula (que se detalla a continuación) el peso específico del agregado grueso y el agregado fino se utiliza el peso específico masivo (bulk), y para el filler se usa el peso específico aparente, por lo tanto, la fórmula de peso específico promedio, del agregado mineral es la siguiente:

Ecuación. 2.1 Peso específico de los agregados

$$G_{\text{agreg}} = \frac{PA}{VA} = \frac{100}{\frac{\%AG(a)}{G_{\text{ag}}(a)} + \frac{\%AF(b)}{G_{\text{ag}}(b)} + \frac{\%F(c)}{GF(c)} + \dots + \frac{\%A(n)}{G(n)}}$$

Fuente: Manual de carreteras IV

Donde:

G_{agreg} = Peso específico promedio del agregado mineral combinado.

PA = Peso total expresado en porcentaje

AG(a), AF(b), F (c), ..., A(n) = Porcentaje de los agregados a, b, c, ..., n

G_{ag} = Pesos específicos brutos de los agregados a, b, c, n

Nota: La fórmula puede ser válida para el cálculo del agregado usando mezclas tradicionales o de asfaltos espumados puesto que es empleada solo para determinar el peso específico del agregado.

2.4.2. Densidad máxima real de la mezcla (gr/cm³)

Las mezclas asfálticas cuya densidad real requiere ser determinada, pueden ser moldeadas en laboratorio, u obtenerse directamente de un pavimento. El diámetro y longitud de las muestras deben ser no menores a cuatro veces el tamaño máximo del agregado empleado y su altura, por lo menos una vez y medio el tamaño del agregado. La densidad real de la mezcla es comúnmente llamada peso unitario de mezclas asfálticas.

Las muestras obtenidas directamente de un pavimento deben ser representativas de la mezcla empleada y no contener materias extrañas al propio pavimento. Al hacer el ensayo, las muestras deben cubrirse con parafina derretida, al fin de tapar todos los poros, o vacíos de la mezcla, y dejar la muestra al aire 30 minutos antes de pesarla.

La fórmula para determinar la densidad real de la mezcla de las briquetas es:

Ecuación. 2.2 Densidad máxima real de la mezcla

$$Dr\left(\frac{gr}{cm^3}\right) = \frac{PV(gr)}{VP(cm^3)}$$

Fuente: Manual de carreteras IV

Donde:

Dr= Densidad real de la mezcla (briqueta)

PV= Peso de la briqueta sin parafina

VP= Volumen de la briqueta sin parafina

2.4.3. Densidad máxima teórica (gr/cm³)

El peso máximo teórico, de una mezcla asfáltica, compacta es la que considera el volumen del agregado mineral y el del asfalto, sin tomar en cuenta el volumen de vacíos llenos de aire.

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

La fórmula su cálculo es la siguiente:

Ecuación. 2.3 Densidad máxima teórica

$$D_{mt} \left(\frac{gr}{cm^3} \right) = \frac{100}{\frac{\%C.A.}{GCA} + \frac{100 - \%C.A.}{G_{agreg}}}$$

Fuente: Manual de carreteras IV

Donde:

D_{mt} =Densidad máxima teórica

% C. A=Porcentaje de cemento asfáltico

GCA=Peso específico de cemento asfáltico

G_{agreg} =Peso específico del agregado

En las pruebas y análisis de diseño de las mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa generalmente, en kilos por metro cubico (kg/m³), gramos por centímetro cubico (gr/cm³), o libras por pie cubico (lb/ft³). La densidad es calculada de multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³) o (62.416 Lb. /ft³). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuado. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad en el laboratorio (por que en el laboratorio se tienen las condiciones ideales del 100%).

2.4.4. Vacíos de la mezcla (%)

Expresado en porcentaje del volumen total indica la diferencia relativa entre la densidad teórica y la real para el estado de compactación alcanzado. El contenido de vacíos de aire (también porcentaje de vacíos) es la concentración, en volumen del aire en la muestra compactada. Es importante tomar en cuenta que, en una mezcla asfáltica, una parte de los vacíos o poros existentes entre las partículas del agregado mineral, se llena de asfalto, quedando lleno de aire el resto de los vacíos. En un pavimento asfáltico, es importante que el porcentaje de vacíos llenos de aire se controle. Como dijimos anteriormente, la mezcla asfáltica compacta deberá tener un porcentaje de vacíos, comprendido entre 3 y 5% del volumen total de la mezcla.

Por lo tanto, como ya se indicó los vacíos de la mezcla se expresan como un porcentaje del volumen total de la muestra. Representan el volumen que no es ocupado ni por asfalto ni por agregado. Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos de la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto bajo esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos está entre 3 y 5 % dependiendo del diseño específico. La fórmula para su cálculo es:

Ecuación. 2.4 vacíos de la mezcla

$$Vm(\%) = \frac{D_{mt} - D_{rm}}{D_{mt}} * 100$$

Fuente: Manual de carreteras IV

Donde:

V_m = Vacíos de la mezcla compactada

D_{mt} = Densidad máxima teórica

D_{rm} = Densidad real promedio

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 agua y aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

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

2.4.5. Vacíos del agregado mineral V.A.M. %

Expresado en porcentaje del volumen total, representa el volumen de vacíos existentes en el agregado mineral al estado de densificación alcanzado. Parte del volumen de vacíos está ocupado por el cemento asfáltico.

Figura 2.1 Distribución de volúmenes en una mezcla asfáltica



Fuente: Elaboración propia

El espacio intergranular está ocupado por el asfalto y aire en una mezcla compacta denominada V.A.M. (vacíos de agregado mineral). Por lo tanto, se define como la suma del volumen de aire y el volumen de asfalto efectivo expresado como un porcentaje del volumen total. El volumen de asfalto absorbido no es usualmente considerado como parte del V.A.M (vacíos de agregado mineral).

Los vacíos del agregado mineral son expresados en porcentaje del volumen total de la muestra- Representan el volumen de la mezcla compacta que no es ocupado por el agregado. El espacio inter granular ocupado por el asfalto y el aire en una mezcla compacta se denomina VAM (vacíos de agregado mineral). En el diagrama de componentes, la suma del volumen de aire y el volumen de asfalto efectivo, El volumen de asfalto absorbido por el agregado no es usualmente considerado como parte del VAM. (vacíos de agregado mineral), por lo tanto, los vacíos del agregado mineral, son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compacta de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VAM (Vacíos de agregado mineral) representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos de la mezcla.

Los valores recomendados para el V.A.M. (Vacíos de agregado mineral) de acuerdo al tamaño de las partículas se indican en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Valores recomendados para los V.A.M. (vacíos de agregado mineral)

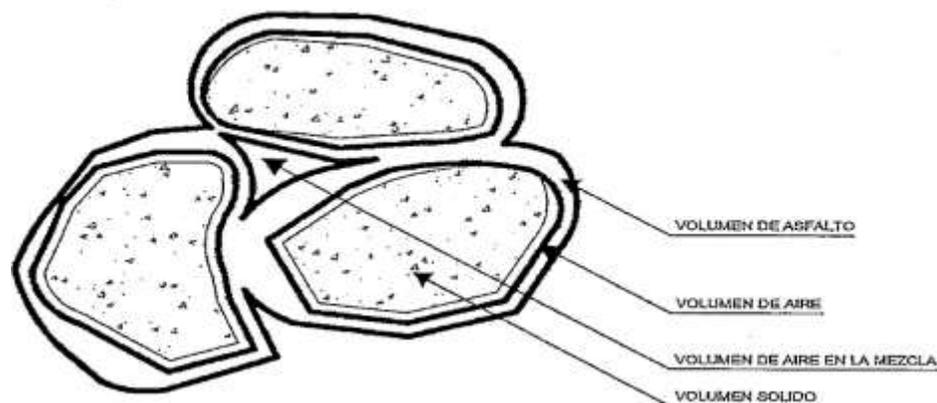
Tamices standard		Tamaño nominal de la partícula		Volumen mínimo de vacíos en el agregado mineral por ciento
Standard (mm)	Alternativo	Mm	Plg.	
1.18	N° 16	1.18	0.0469	23.5
2.36		2.36	0.093	21.0
4.75	N° 4	4.75	0.187	18.0
9.50		9.50	0.375	16.0
25.00	1.0	25.00	1.00	13.0
37.50	1.5	37.50	1.50	12.0
51.00	2.0	50.00	2.00	11.5
63.00	2.5	63.00	2.50	11.0

Fuente: Manual centroamericano —Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales

Cuanto mayor sea el VAM, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para el VAM (vacíos de agregado mineral) como se detalla en el cuadro anterior los cuales están recomendados y especificados como función del

tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubra las partículas de agregado, más durable será la mezcla. Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se deben tener valores mínimos de VAM (vacíos de agregado mineral). Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VAM (vacíos de agregado mineral) por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto con mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VAM (vacíos de agregado mineral) para economizar en contenido de asfalto.

(Figura 2.2) Diagrama de partículas en la mezcla asfáltica



Fuente: Manual centroamericano

En el esquema gráfico se puede observar que el volumen de vacíos puede ser índice de la susceptibilidad de una mezcla compactada, al pasaje del aire o agua es de mucha importancia la interconexión de vacíos con la superficie.

En casos extremos, cuando no es posible o practicable, por razones económicas u otras, alcanzar los requerimientos de especificaciones, se permite una tolerancia del 1% en los vacíos.

La fórmula para su cálculo es la siguiente:

Ecuación 2.5 Vacíos del agregado mineral

$$\text{VAM (\%)} = \text{Vm(\%)} + \frac{\text{CA(\%)} * \text{Drm}}{\text{GCA}}$$

Fuente: Manual de carreteras IV

Donde:

VAM (%): Vacíos del agregado mineral

V_m (%): Vacíos de la mezcla compactada

CA (%): Porcentaje de cemento asfáltico

GCA: Peso específico del cemento asfáltico

D_{rm}: Densidad real promedio

Bajo ninguna circunstancia se debe sobrepasar el valor de la fluencia o alcanzar valores inferiores a la estabilidad mínima requerida. Se debe enfatizar que estas variaciones se deben sobrepasar, sólo bajo condiciones extremas, a menos que el comportamiento, con combinaciones específicas de agregados muestre condiciones satisfactorias para una mezcla asfáltica. .

A medida que se reduce el tamaño de las partículas, estamos exigiendo un volumen mayor de asfalto, porque estamos aumentando el área superficial, consecuentemente debemos obtener mezclas con mayor porcentaje de V.A.M. (vacíos del agregado mineral) y en caso de que una dosificación se hubiese obtenido un V.A.M. (vacíos del agregado mineral) menor requerido de acuerdo a las especificaciones se debe estudiar nuevamente la otra mezcla y así sucesivamente hasta obtener un valor de V.A.M. igual o mayor requerido.

2.4.6. Relación betumen vacíos (%)

Expresa el porcentaje de los vacíos del agregado mineral ocupado por el cemento asfáltico en la mezcla compacta.

Esta propiedad es el porcentaje de VAM (vacíos del agregado mineral), que contiene asfalto. La fórmula de cálculo es la siguiente:

Ecuación. 2.6 Relación betumen-vacíos

$$RBV(\%) = \frac{VAM(\%) - Vm(\%)}{VAM(\%)} * 100$$

Fuente: Manual de carreteras IV

Donde:

RBV (%): Relación betumen vacíos

VAM (0/0): Vacíos del agregado mineral

V_m (%): Vacíos de la mezcla compactada

2.4.7. Estabilidad de la mezcla (Lb)

Se entiende estabilidad de la mezcla la carga máxima (carga de rotura) obtenida cuando se ejecuta el ensayo de acuerdo a las condiciones establecidas para ello, este parámetro se puede asimilar igualmente como una medida de la resistencia al corte de la mezcla.

La estabilidad Marshall de una mezcla asfáltica es la carga máxima en libras que soporta una probeta aproximadamente de 6.35 cm. de altura y 10.00 cm de diámetro cuando se la ensaya a temperatura dada cargándola en sentido diametral a una velocidad de 5.8 cm/minuto. Es la resistencia al desplazamiento lateral de la mezcla asfáltica, La estabilidad es la capacidad de la mezcla para resistir deformaciones provocadas por las cargas impuestas. Los pavimentos sin estabilidad sufren deformaciones (ahuellamiento y corrimiento u ondulaciones). La estabilidad depende de la fricción interna y de la cohesión.

La fricción interna depende de la textura superficial, granulometría del agregado, forma de las partículas, densidad de la mezcla y cantidad de asfalto. Es una combinación de la resistencia friccional y de la trabazón del agregado de la mezcla.

La resistencia friccional aumenta con la rugosidad superficial de las partículas del agregado. También aumenta con el área de contacto de las partículas. La resistencia por trabazón depende del tamaño y forma de las del agregado- Para cualquiera agregado dado, la estabilidad aumenta con la densificación (hacer que el agregado sea compacto, apretado) de las partículas confinadas, la cual se logra mediante granulometrías cerradas y adecuada compactación. El exceso de asfalto en la mezcla tiene a lubricar las partículas y a disminuir la fricción interna del esqueleto pétreo.

La cohesión es la fuerza aglutinante propia de una mezcla asfáltica para pavimentación- El asfalto sirve para mantener las presiones de contacto desarrolladas entre las partículas de agregado. La cohesión varía directamente con la intensidad de la carga, el área cargada y la viscosidad del asfalto. Varía intensamente con la temperatura, la cohesión aumenta con el incremento del contenido de asfalto hasta un máximo y luego decrece.

Generalmente para medir la estabilidad de una mezcla asfáltica o su resistencia al desplazamiento lateral, se emplea generalmente, diversos métodos, pero para nuestro caso de estudio se usa el método Marshall.

La estabilidad máxima en una masa de agregados no se alcanza hasta que la cantidad de asfalto que recubre todas las partículas ha llegado a un valor crítico, Un porcentaje adicional del mismo actúa como lubricante más que como ligante, reduciendo la estabilidad de la mezcla, pero aumentando su durabilidad. Por esta razón es mejor conservar el contenido de asfalto tan alto como sea posible conservando una adecuada estabilidad.

2.4.8. Fluencia de la mezcla (1/100")

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

Los valores de fluencia se incrementan, con el aumento del contenido de asfalto en la mezcla y viceversa.

El flujo es la deformación que ocurre en el instante de la rotura, y por tanto una medida de la plasticidad y capacidad de fluidez de la mezcla. Esta deformación se considera en la misma dirección de aplicación de la carga.

2.4.9. Relación estabilidad – fluencia

Para entender que es una mezcla buena o mala, se recurre al concepto de rigidez analizando de una manera combinada los parámetros de estabilidad y flujo. Existe la falsa idea en nuestro medio de que una mezcla de alta estabilidad es en general buena, lo que lleva de hecho a fortalecer la idea de fabricar mezclas muy rígidas, asunto que favorece a la resistencia a la deformación plástica, pero a costa de una debilidad al fenómeno de la fatiga.

La tendencia a fabricar mezclas muy rígidas, con la falsa idea de que mayor resistencia a la deformabilidad es positiva para la mezcla, genera, en consecuencia, una ausencia de la flexibilidad típica del pavimento asfáltico, que puede influir en la fisuración.

El problema de especificar independientemente estos parámetros radica en que se suele rechazar mezclas cuando alguno de estos no cumple con los valores establecidos para control, es decir, que se está argumentando que al cumplir con los parámetros de estabilidad y flujo la mezcla es buena, pero antes de llegar a esta conclusión es indispensable verificar la rigidez de la mezcla. Una forma de controlar la rigidez de las mezclas, es empleada en la relación estabilidad/flujo, para verificar que se está avaluando de forma correcta la calidad mecánica de las mezclas asfálticas.

Para la elaboración de asfaltos espumados, no se realizó ningún estudio que relaciones ambas propiedades mecánicas y de esta manera poder hacer una evaluación de su factibilidad como método de fabricación de asfaltos, que pueda salvar los problemas suscitados durante la fabricación de un asfalto tradicional como es la pérdida de la temperatura de la mezcla antes del proceso de compactación.

Cuidando que para el método Marshall, las especificaciones establecen un valor mínimo de estabilidad, mas no definen un máximo, en consecuencia es frecuente ver que en muchos casos los diseños de mezclas asfálticas se toman valores extremadamente altos de estabilidad, sin tomar en cuenta que pueden llegar a ser perjudiciales, la estabilidad es un índice de la mezcla que indica rigidez, que al ser

puesto en la estructura del pavimento, este será fácilmente quebradizo bajo las cargas del tránsito y más susceptible a los agentes del intemperismo, degenerándose completamente hasta el punto de perder la capa asfáltica.

2.5. CEMENTO ASFÁLTICO

2.5.1. Definición

La sociedad americana de pruebas y materiales (ASTM) define el asfalto como un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por hidrocarburos de alto peso molecular, como los asfaltos, alquitranes, breas.

El asfalto es un constituyente del petróleo. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto, y a veces pueden ser casi enteramente asfalto. Existen algunos petróleos crudos, sin embargo, que no contiene asfalto. En base a la proporción de asfalto, los petróleos se clasifican por lo común en:

- Petróleos crudos de base asfáltica.
- Petróleos crudos de base parafina (contiene parafina, pero no asfalto)
- Petróleos crudos de base mixta (contienen parafina y asfalto)

El petróleo crudo, extraído de los pozos, es separado en sus constituyentes o fracciones en una refinería. Principalmente esta separación es llevada a cabo por destilación. Después de la separación, los constituyentes son refinados más cuidadosamente o procesados en productos que cumplan requerimientos específicos. De esta manera es como el asfalto, parafina, gasolina, aceites lubricantes y otros productos útiles de alta calidad son el resultado de una refinería de petróleo, dependiendo de la naturaleza del crudo que está siendo procesado.

Debido a que la base del asfalto es la base o el constituyente pesado del petróleo crudo, no se evapora o hierve cuando es destilado, en consecuencia, el asfalto es obtenido como residuo o producto residual, y es valioso para una gran variedad de usos arquitectónicos o ingenieriles.

Prácticamente todo el asfalto comercializado en el medio con la finalidad de ser usado en la pavimentación de carreteras es producido en refinerías de petróleo modernas y se denomina asfalto de petróleo.

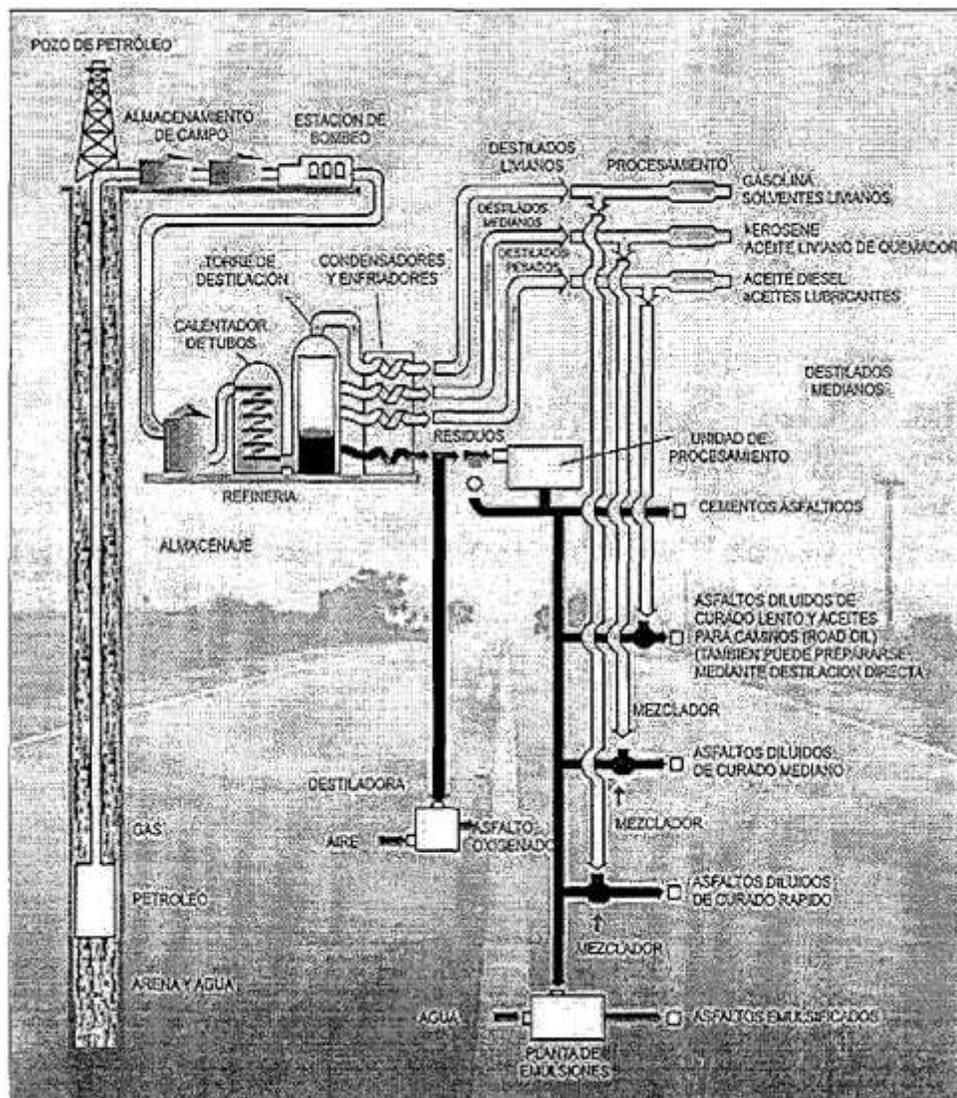
2.5.2. Refinación del petróleo para la obtención del cemento asfáltico

El petróleo crudo está compuesto por distintos productos, incluyen desde gases muy livianos como el metano hasta compuestos semisólidos muy complejos, los componentes del asfalto. La refinación permite separar estos productos y recuperar el asfalto. El diagrama del proceso para la extracción del asfalto de petróleo (figura 2.3) muestra la circulación del petróleo crudo a través de una refinería destacándose la parte del proceso relativa a la refinación y producción del cemento asfáltico.

Durante el proceso de refinación, el petróleo crudo es conducido a un calentador tubular donde se eleva rápidamente su temperatura para la destilación inicial. Luego entra a una torre de destilación donde se vaporizan los componentes o fracciones más livianas (más volátiles) y se los separa para el posterior refinamiento en nafta, gasolina, querosene y otros productos derivados del petróleo.

El residuo de este proceso de destilación es la fracción pesada o petróleo crudo, comúnmente llamada crudo reducido. Puede ser usado como fuel oíl residual, o procesado en distintos productos entre ellos es asfalto. Para la separación de la fracción asfalto del crudo reducido se puede utilizar un proceso de extracción mediante solventes. Luego, se refina la mayor parte de esta fracción para obtener cemento asfáltico. Según el proceso de refinación utilizado se obtienen cementos asfálticos de muy alta o baja consistencia, estos productos se mezclan después, en cantidades adecuadas para obtener cementos asfálticos de la consistencia deseada. Los asfaltos sopladados se producen insuflando aire a altas temperaturas al asfalto de consistencia apropiado.

Figura 2.3. Proceso de refinación del petróleo para la obtención del asfalto



Fuente: Instituto del asfalto

2.5.3. Composición química del asfalto

Está constituido por tres grupos básicos: asfáltenos, 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 micelas, en las cuales el núcleo o agregado es el asfalten.

Los asfáltenos son producto de la condensación de las resinas.

Tabla 2.2 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. German Garzón,
Costa Rica,2004

2.5.4. Ensayos para caracterizar el cemento asfáltico

- Ensayos de viscosidad
- Ensayos de penetración
- Ensayo punto de inflamación
- Ensayo de ductilidad
- Peso específico

2.6. AGREGADOS

Ya que la calidad y gradación de los agregados tienen un efecto importante en las propiedades de la mezcla, el tipo de agregado debe ser considerado cuidadosamente, pues las propiedades varían según el lugar de producción. La calidad y gradación del agregado obtenida en ensayos de laboratorio indican los niveles recomendables de su uso. Así, la selección apropiada del agregado depende esencialmente del propósito de su aplicación, tomando en cuenta los factores económicos.

Los procedimientos para manejar y acopiar las reservas de agregado varían de obra en obra, debido a que la mayoría de las agencias contratantes no tienen especificaciones para dichos procedimientos. Esencialmente las agencias exigen que el contratista cumpla con las especificaciones de graduación para el agregado. Cuando el acopio es malo, las partículas de agregado se segregan (separan por tamaño), y la graduación varía con los diferentes niveles del acopio. Deberán prepararse superficies firmes y

limpias, y se deberán tomar precauciones para mantener separadas las reservas así prevenir el mezclado de las partículas. La separación se consigue ya sea manteniendo ampliamente espaciadas, o mediante muros de contención entre ellas:

En el manejo del agregado para la elaboración de mezclas asfálticas, generalmente se tritura por efectos del excesivo manipuleo, generando consecuente partículas de diferentes graduaciones, que afectan considerablemente la calidad de la mezcla final, considerando este problema es que se recomienda que el agregado sea el mínimo posible para prevenir cualquier segregación por degradación.

2.6.1. Tipos de agregados utilizados en mezclas asfálticas

2.6.1.1. Agregado grueso

Los agregados gruesos son partículas grandes, mayores aproximadamente a 2,5mm (0,1”). Normalmente son obtenidos de gravas naturales de lechos de ríos, rocas trituradas o de gravas trituradas y zarandeadas.

Piedra triturada

El material bruto para piedra triturada debe provenir de roca dura, como la arenisca, basalto, piedra caliza u otra piedra de calidad equivalente, o piedra de canto rodado con un tamaño de partícula de por lo menos tres veces más grande que el tamaño máximo requerido para el producto final.

El producto triturado puede ser tamizado para obtener el tamaño del agregado deseado. Algunas veces, por razones de economía, el material triturado es usado tal como se lo produce con un ligero tamizado o sin él. Este agregado se lo denomina agregado "triturado sin cribar", en muchas oportunidades pueden utilizarse en la construcción de pavimentos asfálticos.

Las piedras trituradas deben tener uniformidad, limpieza, dureza y durabilidad suficiente, y estar libres de una cantidad perjudicial de partículas planas o alargadas, sucias con barro o con materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

Grava triturada

Grava triturada son piezas trituradas de canto rodado o grava para hacerlo más apropiado para su uso en mezclas asfálticas para pavimentación- La calidad puede ser mejorada por medio de la trituración, al cambiar la textura superficial de las partículas redondeadas en partículas angulosas con mejoras además en la distribución o rangos de tamaño de las partículas. Las proporciones de las partículas que tienen una o más caras fracturadas, tiene que ser mayor al 75% del peso total de partículas retenidas en un tamiz de 4,75 mm Sin otro procesamiento, este producto de grava triturada o chancada se llama "triturado sin cribar".

2.6.1.2. Agregado fino

Los agregados finos, presentan tamaños menores de aproximadamente 2.5mm (0,1plg). Son obtenidos de arena natural proveniente de las fracciones finas, obtenidas por zarandeo en las operaciones de trituración de rocas o de gravas trituradas. Los áridos finos son aquellos que pasan el tamiz número 4.

2.6.1.3. Arena

La arena se clasifica en: arena natural, arena artificial, polvo de trituración y arena especial.

La arena natural se clasifica, por el lugar de excavación en: arena de río, arena de cantera y arena de mar.

La arena artificial es producida por la trituración de roca o piedra de canto rodado. Las arenas son partículas rocosas que pasan el tamiz N^o 4 y quedan retenidas en el N^o 200; y dentro de estas se encuentran las arenas finas, que son el material que pasa el tamiz N^o 40 y quedan retenidas en el N^o 200, y el material que pasa el tamiz N^o 10 y retenidos en el tamiz N^o 40 se consideran arenas gruesas. Las partículas que pasan el tamiz N^o 8 o menos, que se obtienen durante la producción de piedra triturada, se mencionan como "polvo de trituración"

2.6.1.4 Filler

Relleno mineral es un producto mineral finamente dividido del que al menos el 65% pasa por el tamiz número 200. La piedra caliza pulverizada es el filler más frecuentemente empleado, aunque pueden utilizarse también otros polvos de piedras, cal apagada, cemento Portland y algunas sustancias minerales muy finas y otras de origen volcánicas.

El filler aumenta en muchos casos la estabilidad y la calidad de una mezcla, ayudando en la aportación de agregado fino cuando se utilizan gradaciones cerradas o densa, en estos casos es frecuente el empleo principalmente polvo mineral (Porción de los áridos finos que pasa el tamiz número 200), y otros fillers.

Tabla 2.3 Grados estándar del filler mineral

Filler mineral			
Tamiz		#100	#200
% que pasa	100	90-100	65-100

Fuente: Manual centroamericano

El polvo mineral es usado principalmente como filler para la mezcla de asfalto en caliente. Es la parte de los áridos que pasa por el tamiz N^o200. Puede consistir en partículas finas de los áridos finos o gruesos y/o filler mineral- El filler se produce triturando piedra caliza o roca volcánica y debe contener menos del 1% de agua y estar libre de aglomerados, no contendrá sustancias orgánicas ni partículas de arcilla. Cuando se almacena el filler mineral, se debe evitar cualquier contacto con agua o humedad, porque se vuelve inservible cuando esta mojado.

La cal apagada, el cemento Portland y otros productos procesados industrialmente se pueden usar a veces como fillers minerales en mezclas asfálticas y para evitar el desarrollo de agrietamientos en el pavimento.

2.7. ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS

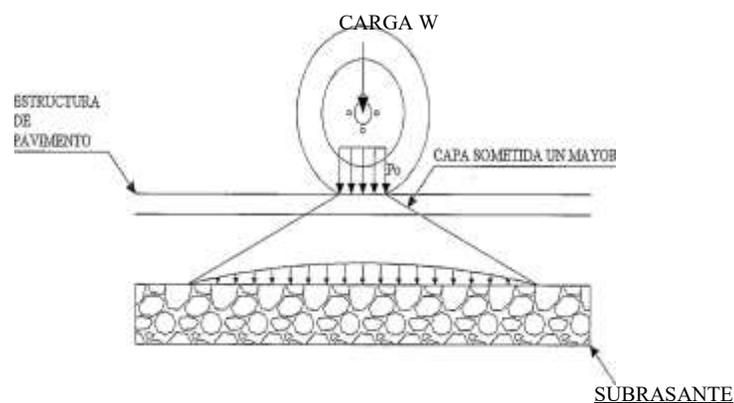
Para muchos ingenieros de materiales, la resistencia del material es frecuentemente considerada como un factor de calidad, sin embargo, este no es el caso necesariamente para mezclas en caliente para pavimento. Una estabilidad extremadamente alta de las mezclas asfálticas, muchas veces, es obtenida a expensas de bajar la durabilidad de los agregados, y viceversa.

Los áridos se emplean, combinados con los asfaltos de diversos tipos, para preparar mezcla de usos muy diversos. Como los áridos constituyen normalmente el 90% al 95% en peso de las mezclas asfálticas sus propiedades tienen gran influencia sobre las del producto terminado. Los áridos más empleados son piedra canto rodado, grava triturada o natural, arena y filler natural.

En la construcción de pavimentos asfálticos el control de las propiedades de los áridos es tan importante como el de las del asfalto.

El agregado de la superficie del pavimento o cerca de ella requiere una dureza mayor que el agregado de las capas inferiores donde las cargas resultan disipadas o no son tan concentradas como se puede observar en la figura 2.2.

Figura 2.4 Distribución de esfuerzos



Fuente: Instituto del asfalto

2.8. MÉTODOS DE DISEÑO

2.8.1 Descripción

A continuación, se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos en el diseño Marshall de Mezclas. El procedimiento completo y detallado que debe ser seguido se encuentra en la norma AASHTO T245 (o ASTM D 1559).

- **Preparación para efectuar los procedimientos Marshall**

Como es conocido, diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características, que tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades que se necesita en una determinada mezcla asfáltica, y posteriormente seleccionar el tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

- **Selección de las muestras de material**

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple, los datos de los procedimientos de diseño de la mezcla determinan la "receta" para la elaboración de la mezcla final usada en el proceso de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en laboratorio tienen características idénticas a los usados en el producto final.

- **Preparación del agregado**

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va ser usado debe ser ya conocida con el propósito de establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar claramente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico.

Con la finalidad de preparar una serie de briquetas que tengan diferentes contenidos de asfalto, se prepara una dosificación por el método de tanteo, en función de una faja de trabajo que se adecue al proyecto, y de una granulometría conocida de los agregados disponibles (Grava de 3/4, Grava de 3/8 y Arena Natural).

Como indica el nombre del método, se tantea con diferentes porcentajes de agregado, hasta que se encuentre una combinación que se adecue de mejor manera posible a la faja de trabajo.

Sabiendo que se tiene que elaborar briquetas con un peso de 1200 g; se determina el contenido de asfalto en peso equivalente a un porcentaje del peso total' de la briqueta. Conociendo el peso del agregado que tiene que ocupar cada briqueta por la diferencia en peso entre el total de la briqueta y el peso del asfalto, se separa una dosificación en pesos retenidos, que aporta cada tamiz.

Se prepara un número determinado de muestras de agregado, por contenido de asfalto, para elaborar un punto en la curva de dosificación Marshall, y se separa cada uno en bolsas o platos correctamente identificados.

Es importante mencionar que, para la elaboración del método tradicional de mezcla asfáltica en caliente, el agregado tiene que estar seco, para tal fin, antes de efectuar el pesado se deja el material en horno a 110 0 C durante 24 horas.

- **Preparación de las muestras (briquetas) de ensayo.**

Las briquetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentos son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto, como se mencionó anteriormente. El margen de contenidos de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados de análisis granulométrico.

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

El asfalto y el agregado se calientan y se mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas, esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.

Marshall como preparación para la comparación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.

Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50 y 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briketa reciben el mismo número de golpes. Así una probeta Marshall de 35 golpes, realmente, recibe un total de 70 golpes. Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación, las briquetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

2.9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL

Gráficos de los resultados.

Los técnicos de laboratorio trazan los resultados del ensayo Marshall en gráficas, para poder entender las características particulares de cada briketa usada en la serie. Mediante el estudio de las gráficas, ellos pueden determinar cuál briketa, de la serie, cumple mejor los criterios establecidos para el pavimento determinado. Las proporciones de asfalto y agregado en esta briketa se convierten en las proporciones usadas en la mezcla final.

Usualmente se representan graficas de los porcentajes de vacíos, de los porcentajes de vacíos en el agregado mineral, los porcentajes de vacíos llenos de asfalto, los pesos unitarios, los valores de estabilidad Marshall y los valores de Fluencia Marshall.

Relaciones y observaciones de los ensayos.

Los resultados de los ensayos se trazan las gráficas, usualmente revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto y las propiedades de la mezcla. A continuación, se enuncian ciertas tendencias que pueden observarse al estudiar las gráficas, estas tendencias son simplemente sugerencias y parámetros de una mezcla tradicional que no tienen como finalidad definir los resultados de un ensayo aleatorio.

El porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto.

El porcentaje de vacíos en el agregado mineral generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.

El porcentaje de vacíos llenos de asfalto aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.

La curva para el peso unitario (densidad) de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que el peso unitario máximo se presenta a un contenido de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad.

Hasta cierto punto, los valores de estabilidad aumentan a medida que el contenido de asfalto aumenta. Más allá de este punto, la estabilidad disminuye con cualquier aumento en el contenido de asfalto.

Los valores de fluencia aumentan con aumentos en el contenido de asfalto.

Verificación de los criterios de diseño.

Usando los datos anteriores, podemos seleccionar una muestra cuyo contenido de vacíos este dentro de los parámetros de diseño, correspondiente a esto se tendrá un contenido específico de asfalto para la mezcla, parámetro principal por el cual se clasificará. Los valores de las otras propiedades de la mezcla son luego revisados para garantizar que cumplen todos los criterios de diseño Marshall.

Selección de un diseño de mezcla.

El diseño de mezclas seleccionado para ser usado en un pavimento es, generalmente, aquel que cumple, de la manera más económica, con todos los criterios establecidos. Sin embargo, no se deberá diseñar una mezcla para optimizar una propiedad en particular. Por ejemplo, las mezclas con valores muy altos de estabilidad son, con frecuencia, poco deseable, debido a que los pavimentos que contienen este tipo de mezclas tienden a ser menos durables y pueden agrietarse prematuramente bajo volúmenes grandes de tránsito. Cualquier variación en los criterios de diseño deberá ser permitida solo bajo circunstancias poco usuales, a no ser que el comportamiento en

servicio de una mezcla en particular indique que dicha mezcla alternativa es satisfactoria.

2.10. CRITERIOS DE DISEÑO NORMALIZADO

Para el diseño de mezclas asfálticas, deben cumplir con la caracterización mediante ensayos establecidos por las normas AASHTO y ASTM, como se muestra en las siguientes tablas.

Figura 2.5: Ensayos de laboratorio normalizados para agregados

Ensayo de laboratorio para agregados	Norma	Propósito
Granulometría	AASHTO T 27 ASTM C 136	La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de la carpeta asfáltica es de primordial importancia porque en función de ellas se conoce de ante mano que clase de textura tendrá la carpeta.
Desgaste	AASHTO T96 ASTM C 131	El objeto de conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste, ya sea por el grado de alteración del agregado, o por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Esta característica es esencial cuando el agregado va a estar sujeto a desgaste por abrasión como en el caso de pavimentos. Es la medida de dureza de los agregados y nos da una idea de la forma en la que se comportan los agregados, bajo los efectos de la abrasión causada por el tráfico además de la idea del grado de intemperismo que poseen los agregados.
Sanidad usando Sulfato de Sodio	AASHTO T 104 ASTM C 88	Permiten obtener la información de estabilidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables) resultan evidentemente insatisfactorios como agregados para mezcla en rodadura en pavimentos especialmente cuando éstos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos, el valor del error permisible no debe ser mayor de 0.5%.
Equivalente de Arena	AASHTO T 176 ASTM D 2419	Descubre el exceso de arcilla de los agregados, ya que es un medio rápido para separar las partículas más finas (arcillosas) de los granos más gruesos o de la arena.
Cubicidad de Partículas	ASTM D 692	Se utiliza para determinar valores como el índice de laja y la cubicidad de las partículas que componen el material pétreo. Las partículas de los agregados, deben ser limpias, duras, resistentes y durables por lo que debe evitarse partículas débiles, quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales.
Gravedad Específica y Absorción de Agregados gruesos y finos	AASHTO T 85 AASHTO T 86 ASTM C 127 ASTM C 128	La gravedad específica aparente se refiere a la densidad relativa del material sólido de las partículas constituyente, no incluye aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas las cuales son accesibles al agua. El valor de absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con la condición seca cuando se evalúa el comportamiento del agregado con el agua durante un período largo tal, que se logre alcanzar el valor potencial de absorción del mismo.
Peso unitario y vacío	AASHTO T 19 ASTM C 29M	En la práctica el valor de peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto asfáltico. La dosificación óptima de mezclas de agregados para mezclas de superficie en pavimentos puede realizarse utilizando el método de pesos unitarios el cual consiste en elaborar una gráfica (parecida a la de Próctor) en la cual se grafica las proporciones de los agregados en las abscisas y los pesos unitarios en las ordenadas

Fuente: Instituto del asfalto

Figura 2.6: Ensayos de laboratorio normalizados para asfaltos

Ensayo de laboratorio para agregados	Norma	Propósito
Viscosidad	AASHTO T 201 ASTM D 2170	En el diseño de mezclas asfálticas, las temperaturas de mezclado y compactación se definen en función de la viscosidad que posee el Cemento asfáltico, ya que la trabajabilidad de una mezcla asfáltica, se ve influenciada por la trabajabilidad que el asfalto tenga dentro de esa misma a una temperatura determinada de trabajo.
		Este ensayo se usa para clasificar los cementos asfálticos a Viscosidad 60°. Mide la consistencia de los cementos asfálticos.
Penetración	AASHTO T 49 ASTM D 5	Clasifica los asfaltos en grados según su dureza o consistencia medida en décimas de milímetros. Valores altos de penetración, indicarán consistencias suaves.
Punto de Inflamación	AASHTO T 48 ASTM D 92	Tiene por propósito, identificar la temperatura a la cual el asfalto puede ser manejado y almacenado sin peligro que se inflame. El punto de inflamación se mide por el ensayo en copa abierta Cleveland.
Ductilidad	AASHTO T 51 ASTM D 113	Prevee de una medida de las propiedades al estiramiento de los cementos asfálticos y el valor resultante puede ser usado como criterio de aceptación del material asfáltico ensayado. Se considera la ductilidad como la capacidad que tiene el asfalto de resistir esfuerzos de estiramiento bajo condiciones de velocidad y temperatura especificada.
Punto de Reblandecimiento	AASHTO T 53 ASTM D 36	La temperatura determinada como de Reblandecimiento representa aquella a la cual un cemento asfáltico alcanzará un determinado estado de fluidez, existiendo consecuentemente una pérdida consistencia del mismo. El punto de reblandecimiento es una prueba de resistencia a la deformación del cemento asfáltico y además es también una prueba de la viscosidad.
Ensayo de Flotación	AASHTO T 50 ASTM D 139	Esta prueba caracteriza el comportamiento al flujo o consistencia de ciertos materiales bituminosos, que por su bajo grado de dureza no pueden ser ensayados utilizando el método de penetración. Este ensayo es utilizado para medir la consistencia del residuo de destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento.
Peso Especifico	AASHTO T 228	El peso específico de un cemento asfáltico no se indica normalmente en las especificaciones de la obra pero existen dos razones por las cuales se debe conocer su valor y son:
	AASHTO T 85	* Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura- volumen.
	AASHTO T 84	* Es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado Se determina normalmente por el método del picnómetro
Enduramiento y Envejecimiento	AASHTO T 51 ASTM D 113	Tiene por propósito exponer una o varias muestras a condiciones similares ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente
Solubilidad en tricloroetileno	AASHTO T 44 ASTM D 2042	Este ensayo indica la porción de constituyentes cementantes activos en el asfalto ensayado, es decir se utiliza para medir la pureza del asfalto. En esta prueba las sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos, se consideran impurezas.

Fuente: Instituto del asfalto

2.10.1 Requisitos del agregado pétreo

Agregado pétreo grueso

Este material debe consistir en grava de buena calidad triturada (Retenidos en la malla de 4.75 mm) y mezclada de manera que el producto obtenido corresponda a uno de los tipos de granulometría estipulados y llene además los requisitos siguientes:

Tabla 2.4: Especificaciones de los agregados para mezclas asfálticas de granulometría densa.

Agregados	Parámetro	Norma	Especificación
GRUESO	Abreación de Angeles	AASHTO T 96	40% Max
	Disgregabilidad (Sanidad) en sulfato de sodio (5 ciclos)	AASHTO T 104	12% Max
	Caras Fracturadas Capas intermedias una cara/ dos o más caras	ASTM D 5821	80 % / 75 % Min
	Caras Fracturadas Capas de rodamiento una cara/ dos o más caras		95 % / 90 % Min
	Índice durabilidad	AASHTO T 210	Mínimo 35%
	Partículas friables y arcillosas	AASHTO T 112	Máximo 1%
	No deben usarse agregados con caras pulidas o agregados que contengan carbonato soluble	ASTM D 3042	El residuo insoluble debe ser mayor o igual al 25%
	Pérdida por abrasión en aparato Micro-Deval para bases asfálticas y caminos secundarios ¹ .	ASTM D 6928	21% Max
	Pérdida por abrasión en aparato Micro-Deval para superficies asfálticas.	ASTM D 6928	18% Max
FINO	Índice de durabilidad	AASHTO T 210	35% Min
	Equivalente de Arena	AASHTO T 176	45% min

Fuente: Instituto del asfalto

Agregado pétreo fino:

Este material está formado por arenas naturales, arena de piedra chancada tamizada, o su combinación y deberá tener una granulometría que (material que pasa la malla 4.75 mm), al combinarse con otras fracciones en la proporción adecuada, la mezcla resultante puede satisfacer la granulometría requerida según AASHTO M 29 incluyendo la pérdida en sulfato, y que llene además los requisitos siguientes:

Tabla 2.5 Parámetros mínimos para agregado fino

N°	Parámetro	Norma	Especificación
1	Índice de durabilidad (fino)	AASHTO T 210	35 % min
2	Equivalente de arena	AASHTO T 176	45 % min
3	Durabilidad, sulfato de sodio	AASHTO T 104	15 % máx.

Fuente: Manual centroamericano

Tabla 2.6: Graduación requerida para agregado fino

Tamiz	Porcentaje pasando (% masa/masa)			
	Graduación 1	Graduación 2	Graduación 3	Graduación 4
3/8 pulg	100	100	100
N° 4	95 a 100	100	80 a 100	80 a 100
N°8	70 a 100	75 a 100	65 a 100	65 a 100
N°16	40 a 80	50 a 74	40 a 80	40 a 80
N° 30	20 a 65	28 a 52	20 a 65	20 a 65
N°50	7 a 40	8 a 30	7 a 40	7 a 46
N°100	2 a 20	0 a 12	2 a 20	2 a 30
N°200	0 a 10	0 a 50	0 a 10	-----

Fuente: AASHTO M 29

Tabla 2.7: Granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.

Tamiz	Porcentaje de masa pasando, Designación de tamices (AASHTO T 27 y AASHTO T 11)					
	Designación de Graduación					
	A	B	C	D	E	F
1 1/2 pulg	100					
1 pulg	97-100	100	100			
3/4 pulg	-----	97-100	97-100	100	100	
1/2 Pulg	-----	76-88(5)	*(5)	97-100	97-100	
3/8 pulg	53- 70(6)	-----	*(6)	-----	*(5)	100
N° 4	40 - 52 (6)	49-59 (7)	*(7)	57-69(6)	*(6)	33-47(6)
N°8	25- 39 (4)	36-45(5)	*(5)	41-49(6)	*(6)	7- 13(4)
N° 30	12-22 (4)	20-28(4)	*(4)	22-30(4)	*(4)	-----
N°50	8 - 16 (3)	13-2(3)	*(3)	13-21(3)	*(3)	-----
N° 200	3-8(2)	3-7(2)	3-8(2)	3-8(2)	3-8(2)	2-4(2)

Fuente: Manual centroamericano

Requisitos del cemento asfáltico

Tabla 2.8: Cemento asfáltico, clasificado penetración.

Pruebas	Grados de penetración									
	40-50		50-60		85-100		120-150		200-300	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Penetración a 25°C a00gr a 5seg	40	50	60	70	85	100	60	150	200	300
Punto de inflamación ensayo Cleveland °C	232	-----	232	-----	232	-----	218	-----	177	-----
	450	-----	450	-----	450	-----	425	-----	350	-----
Ductilidad a 25°C 5cm/min.cm	100	-----	100	-----	100	-----	100	-----	100	-----
Solubilidad en tricloroetileno, porcentaje	99	-----	99	-----	99	-----	99	-----	99	-----
Prueba en horno de película delgada (TFO). 3.2mm(1/8in)163°C. 5 horas perdida por calentamiento, porcentaje.	-----	0.8	-----	0.8	-----	1.0	-----	1.3	-----	1.5
Penetración del residuo, porcentaje del original.	58	-----	54	-----	50	-----	46	-----	40	-----
ductilidad del residuo a 25°C . 5cm/min.cm	-----	-----	50	-----	75	-----	100	-----	100	-----
Prueba de mancha (cuando y como se especifique) ver nota con:										
solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados.									
Solvente de nafta-xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados.									
Solvente de heptano-xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados.									

Fuente: Manual centroamericano

2.11. PIEDRA CALIZA

Caliza Si diferenciamos a qué clase de roca sedimentaria pertenece, la roca caliza es una roca sedimentaria de carbonatos, una de las más importantes de este tipo, de origen químico, no clástico. Las calizas pueden depositarse en mares, lagos, ríos y sobre la tierra; los depósitos de mayor extensión se encuentran en el fondo del mar, en su mayoría a profundidades menores de 50 metros. El mármol (metamórfica) es roca con alto porcentaje de carbonato de calcio.

2.11.1. Carbonatos de calcio

El carbonato de calcio es un compuesto químico con fórmula CaCO_3 .

Tiene un punto de fusión 825°C

El carbonato de calcio contiene 12% de carbono, 40.04% de calcio y 47.95% de oxígeno.

El carbonato de calcio se encuentra abundante en la naturaleza con diferentes formas y grados de pureza.

Forma rocas y es el principal componente de los esqueletos de muchos organismos. En la sal de calcio más abundante en la naturaleza.

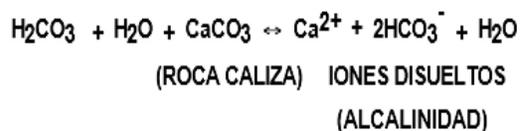
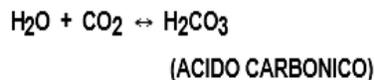
Los minerales que contienen Carbonato de Calcio son:

- Aragonita: Forma cristalina de carbonato de calcio
- Mármol: Roca caliza altamente cristalizada por las condiciones de presión y temperatura.
- Piedra Caliza: Roca sedimentaria con mayor proporción de carbonato de calcio.

2.11.2. Origen de carbonatos y bicarbonatos en agua dulce.

Los carbonatos y bicarbonatos presentes en cuerpos naturales de agua dulce se originan generalmente del desgaste y disolución de rocas en la cuenca que contienen carbonatos tales como la piedra caliza. A pesar de que la piedra caliza no es muy soluble en agua pura, su disolución es promovida por la presencia de CO₂ disuelto en el agua (CO₂ atmosférico o CO₂ generado en sedimentos ricos en materia orgánica). El CO₂ reacciona con el agua para generar pequeñas cantidades de ácido carbónico, el cual disuelve entonces las rocas de carbonato en la cuenca, lo que a su vez contribuye a la alcalinidad del agua (Figura 2.7).

Figura 2.7 Alcalinidad de Piedra caliza.



Fuente: Parámetros fisicoquímicos alcalinidad.

2.11.3. Distribución geográfica de los depósitos de calizas en Bolivia

Por los trabajos de campo y bibliografía consultada se ha podido establecer la existencia aproximada de 92 depósitos de caliza en todo el territorio nacional de Bolivia. Este dato puede variar de acuerdo con estudios posteriores de mayor detalle.

Tabla 2.9. Depósitos de caliza en Bolivia

Departamento	N° de Yacimientos	Yacimientos Importantes (*)
La Paz	18	6
Oruro	5	1
Potosí	26	2
Cochabamba	16	3
Chuquisaca	12	2
Tarija	6	1
Santa Cruz	9	1
Total	92	16
* Son importantes por su volumen de yacimiento		
Fuente: Geografía y recursos naturales de Bolivia, Ismael Montes de Oca		

Fuente: Sociedad mexicana de ingeniería geotécnica

2.11.4. Ensayos realizados con la caliza

De acuerdo a estudios previos en otros países los principales ensayos de laboratorio realizados en este material son:

- Granulometría
- Desgaste de los ángeles
- Peso específico
- Análisis bajo la acción del agua (análisis químico)

2.11.5. Principales usos de la caliza

El árido es el material granular más empleado en la construcción, ya que sin duda es el elemento mayoritario de todos los componentes, utilizándose bien directamente o mediante la mezcla con otros materiales aglomerantes como el betún, o conglomerantes como la cal o el cemento. Este material es procedente de yacimientos naturales y se obtiene por medio de procedimientos mecánicos cuando se trata de depósitos detríticos

no consolidados, en el caso de macizos rocosos su arranque requiere medios específicos como ripeados o voladuras con explosivos.

2.11.6. Estudio en niveles de pH en agua potable

El agua con alto pH puede ser resultado de minerales disueltos; las aguas subterráneas en zonas con lecho de piedra caliza, por ejemplo, tienen comúnmente mayor pH que el agua glaciada o agua de lluvia. La contaminación de aguas residuales de agua potable también puede elevar el pH, debido a la presencia de detergentes químicos y otros agentes de limpieza.

2.12. MATERIAL CERÁMICO DE DESCARTE

Los materiales cerámicos son compuestos químicos inorgánicos o soluciones complejas, constituidos por elementos metálicos y no metálicos unidos entre sí principalmente mediante enlaces iónicos y/o covalentes; con gran aplicación en alfarería, construcción, utensilios de cocina, dispositivos eléctricos.

Esta gran versatilidad de aplicaciones se debe a que poseen propiedades muy características que no pueden ser obtenidas con ningún otro material.

2.12.1. Propiedades mecánicas del material cerámico de descarte

Son duros y frágiles a temperatura ambiente debido a su enlace iónico/covalente (al aplicarles una fuerza los iones de igual carga quedan enfrentados provocando la rotura del enlace), este hecho supone una gran limitación en su número de aplicaciones. Esta fragilidad se intensifica por la presencia de imperfecciones.

Son deformables a elevadas temperaturas ya que a esas temperaturas se permite el deslizamiento de bordes de grano.

Clasificación de material cerámico tradicional:

- Arcilla
- Sílice

2.12.2. Ensayos realizados para el material cerámico de descarte:

De acuerdo a estudios previos en otros países los principales ensayos de laboratorio realizados en este material con fines constructivos para carreteras son:

- Granulometría
- Desgaste de los ángeles
- Porcentaje caras fracturadas
- Peso específico

CAPÍTULO III

3.1. INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores se trataron sobre el Método Marshall, los aspectos para el Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente para agregado convencional (grava, gravilla y arena), agregado de caliza y material cerámico de descarte, así como las normas aplicables al diseño de la misma.

En el presente capítulo se desarrollan las pruebas de laboratorio necesarias para llevar a cabo el Diseño de la mezcla propuesta en el estudio, estas se las realizará a las muestras de material pétreo obtenidas de Chancadora Erika S.R.L. que se encuentra ubicada en la Comunidad del Rancho, Primera Sección de la Provincia Méndez en la planta de agregados pétreos de la constructora Erika, de igual manera se realizará los ensayos de laboratorio de suelos y asfaltos en la Empresa Consultora de suelos, asfaltos y hormigones (S.A.H.), por tal motivo, se describen dichos ensayos con la respectiva norma que los ampara.

El capítulo está dividido principalmente en tres partes: la primera que constituye la descripción detallada del procedimiento para la caracterización de los materiales pétreos (grava 3/4", arena triturada y filler, agregado de caliza y material cerámico de descarte), la segunda parte constituye al análisis del cemento asfáltico y finalmente se aborda el diseño marshall para agregado convencional, agregado de caliza, agregado de material cerámico y combinación en porcentaje entre caliza y material cerámico de descarte.

El procedimiento para el diseño esta propuesto por el manual de carreteras de la ABC.

3.2. JUSTIFICACIÓN DEL BANCO ELEGIDO PARA LOS AGREGADOS

Para la selección de la piedra caliza se puede extraer material de diferentes zonas provincia O'Connor (entre ríos), Provincia Méndez primera sección (Ex fábrica de vidrios Criosal) y Provincia Méndez segunda sección EL PUENTE.

Se le hizo ensayos en resistencia por el ensayo de Desgaste de los Ángeles, donde el que dio resultado que entran en la Norma ASTM y AASHTO, es el agregado recogido de la provincia Méndez segunda sección El Puente, por esta razón se lo empleará en este trabajo de investigación.

El material cerámico de descarte como bien se menciona al decir descarte, viendo cuál de los tantos cerámicos podría servir y viendo en obras de construcción desecho del ladrillo de 6H entonces por esa razón se decide optar emplear ese material para dar uso a esos pedazos que por causas de manipular o accidentes tienden a quebrarse; por esta razón se opta como material cerámico de descarte al ladrillo de construcción 6 huecos.

3.3. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes; Además de tener una disponibilidad.

El material pétreo (convencional), está situado en la comunidad de el Rancho, donde se encuentra ubicada la chancadora para la provisión de material de la constructora Erika S.R.L. de Tarija de la Provincia Cercado.

Para el agregado de caliza se fue al municipio del Puente, de la provincia Méndez del departamento de Tarija.

El material cerámico de descarte, como bien dice su nombre fue ubicado de construcciones donde desechan el material cerámico; aclarando que se utilizó en su totalidad al ladrillo de construcción.

Imagen 3.1: Recolección del agregado chancadora Erika S.R.L.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.2: Recolección agregado de caliza “El Puente”



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.3: Recolección agregado cerámico de descarte en obra de construcción



Fuente: Elaboración propia

3.4. ENSAYO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

Para realizar la caracterización de los agregados utilizados en la elaboración de las mezclas asfálticas, se asistió al Laboratorio de Suelos, asfaltos y hormigones donde se realizaron los ensayos de Granulometría, Peso Específico, Caras Fracturadas, Límite Líquido, Desgaste de los Ángeles y Equivalente de Arena.

3.4.1. Granulometría (AASHTO T-27)

Primeramente, se efectúa un muestreo para el agregado grueso mediante el cuarteo que consiste en colocar a la muestra en el separador para obtener una muestra representativa que abarque el mayor tamaño de partículas.

La muestra escogida de agregado grueso se coloca en una bandeja para determinar la masa de la bandeja y la muestra.

Tomamos la muestra, se coloca sobre los tamices de 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 10, N° 40, N° 80, N° 200, inmediatamente con movimientos circulares facilitamos que el agregado pueda retenerse o pasar en cada uno de los tamices. Los resultados del ensayo

se dan en porcentajes del peso total del agregado que pasa cada tamiz de dimensiones conocidas, para lo cual se pesan las respectivas cantidades retenidas y sumadas en forma acumulativa a las anteriores de tamaño mayor, estos pesos acumulados se dividen para el peso total de la muestra ensayada y se multiplica por 100. La diferencia a 100 de cada uno de estos porcentajes acumulados nos da porcentaje que deja pasar el tamiz correspondiente, los resultados de este ensayo se pueden ver en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Granulometría grava

Granulometría grava 3/4"									
1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#40	#80	#200
25 mm	19.1 mm	12.7 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.075 mm
100.00	98.40	42.70	13.80	0.44	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20
100.00	98.60	42.60	13.90	0.38	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20
100.00	98.50	42.80	14.00	0.38	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20
100.00	98.50	42.70	13.90	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2. Granulometría gravilla 3/8

N°	Granulometría gravilla 3/8"									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#40	#80	#200
	25 mm	19.1 mm	12.7 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.075 mm
1	100.00	100.00	98.90	97.10	30.60	1.50	1.10	0.80	0.70	0.80
2	100.00	100.00	99.10	96.50	30.90	1.70	1.00	0.75	0.70	0.60
3	100.00	100.00	99.30	97.10	30.60	1.50	1.20	0.85	0.70	0.70
Prom.	100.00	100.00	99.10	96.90	30.70	1.50	1.10	0.80	0.70	0.70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3. Granulometría arena triturada

N°	Granulometría arena triturada									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#40	#80	#200
	25 mm	19.1 mm	12.7 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.075 mm
1	100.00	100.00	100.00	100.00	99.90	85.40	61.10	38.00	21.60	9.90
2	100.00	100.00	100.00	100.00	99.90	84.00	61.70	38.40	21.20	9.60
3	100.00	100.00	100.00	100.00	99.90	86.50	61.10	38.20	20.80	9.90
Prom.	100.00	100.00	100.00	100.00	99.90	85.30	66.30	38.20	21.20	9.80

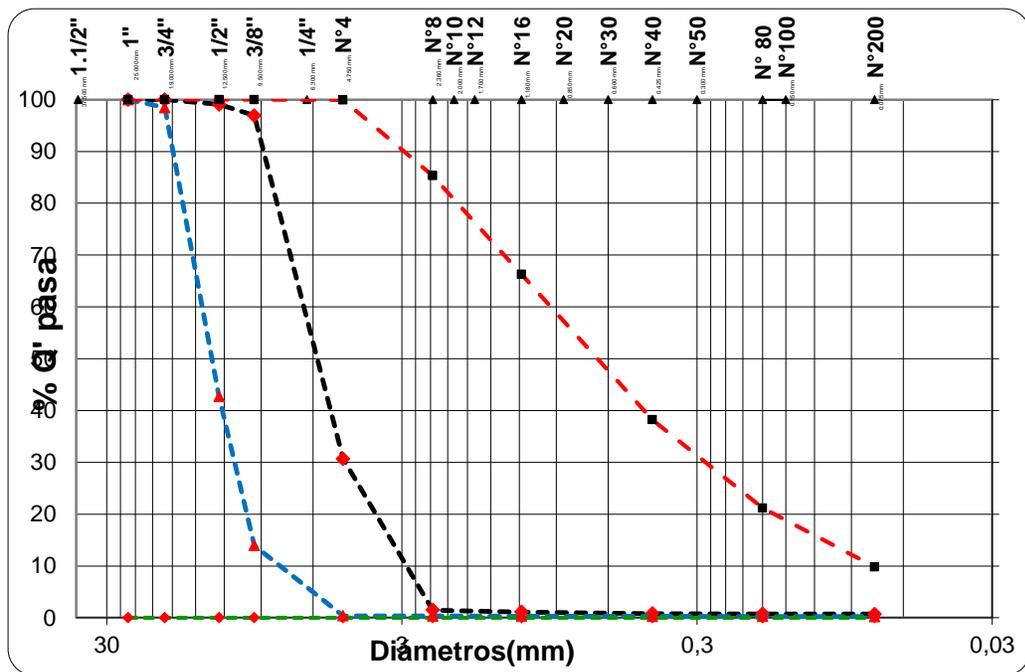
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4: Resumen granulometría- agregado grueso-fino

Peso total seco (gr)	3474.00	2138.00	703.00	Abertura	Especificaciones						
Tamiz	Grava		Gravilla		Arena		Tamiz	Promedio	faja C		Tolerancia (+-)
N°	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	mm.		Inf	Sup	
1"	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	25.40	100.00		100.00	
3/4"	53.00	98.50	0.00	100.00	0.00	100.00	19.10	99.00	97.00	100.00	
1/2"	1990.00	42.70	20.00	99.10	0.00	100.00	12.70	81.00	76.00	88.00	5.00
3/8"	2990.00	13.90	66.00	96.90	0.00	100.00	9.50	70.00	53.00	70.00	6.00
N° 4	3461.00	0.40	1482.00	30.70	0.50	99.90	4.75	44.00	49.00	59.00	7.00
N° 8	3462.00	0.30	2106.00	1.50	103.30	85.30	2.36	29.00	25.00	39.00	5.00
N° 16	3463.00	0.30	2114.00	1.10	236.90	66.30	1.18	23.00	--	--	
N° 40	3464.00	0.30	2121.00	0.80	434.50	38.20	0.43	13.00	--	--	
N° 80	3465.00	0.30	2122.00	0.70	554.30	21.20	0.18	7.00	--	--	
N° 200	3466.00	0.20	2123.00	0.70	634.20	9.80	0.08	3.60	3.00	8.00	2.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1 Curva granulométrica- agregado chancadora Erika S.R.L.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5: Granulometría – material cerámico de descarte- arena

N°	Granulometría agregado cerámico									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#40	#80	#200
	25 mm	19.1 mm	12.7 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.075 mm
1	100.00	96.90	73.00	45.80	13.20	2.40	0.70	0.50	0.30	0.40
2	100.00	96.80	72.30	45.40	12.70	2.00	0.50	0.40	0.30	0.20
3	100.00	96.40	72.20	45.60	12.80	2.20	0.60	0.30	0.30	0.30
Prom.	100.00	96.70	72.50	45.60	12.90	2.20	0.60	0.40	0.30	0.30

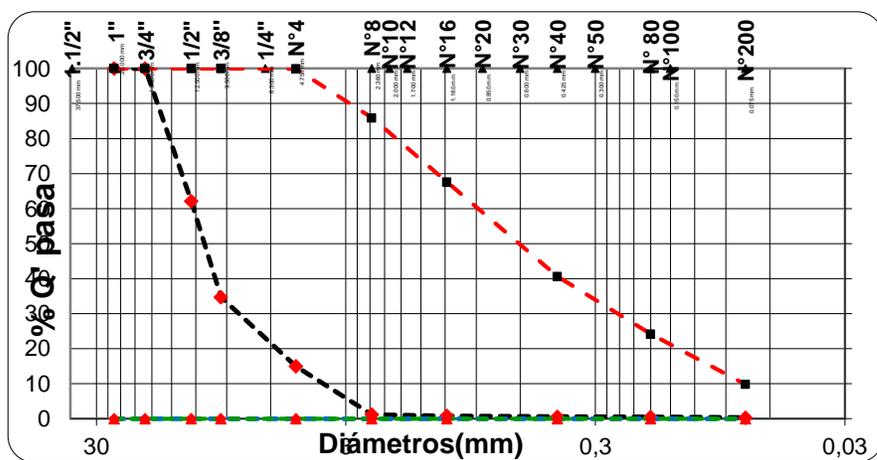
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6: Resumen granulometría – material cerámico de descarte- arena

Peso total seco (gr)	2350.00		703.00		Abertura	Especificaciones			
Tamiz	Mat. Cerámico		Arena		Tamiz	Promedio	faja C		Tolerancia (+-)
N°	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	mm.		Inf	Sup	
1"	0.00	100.00	0.00	100.00	25.40	100.00		100.00	
3/4"	78.00	96.70	0.00	100.00	19.10	98.30	97.00	100.00	
1/2"	646.00	72.50	0.00	100.00	12.70	86.30	76.00	88.00	5.00
3/8"	1278.00	45.60	0.00	100.00	9.50	72.80	53.00	70.00	6.00
N° 4	2047.00	12.90	0.50	99.90	4.75	56.40	49.00	59.00	7.00
N° 8	2298.00	2.20	103.30	85.30	2.36	44.00	25.00	39.00	5.00
N° 16	2336.00	0.60	236.90	66.30	1.18	34.20	--	--	
N° 40	2341.00	0.40	434.50	38.20	0.43	20.50	--	--	
N° 80	2342.00	0.30	554.30	21.20	0.18	12.30	--	--	
N° 200	2343.00	0.30	634.20	9.80	0.08	5.10	3.00	8.00	2.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2: Curva granulométrica – material cerámico de descarte-arena triturada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7: Granulometría – piedra caliza

N°	Granulometría piedra caliza									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#40	#80	#200
	25 mm	19.1 mm	12.7 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.075 mm
1	100.00	100.00	62.50	35.10	15.70	1.40	0.90	0.70	0.60	0.30
2	100.00	100.00	62.20	34.50	14.60	1.20	0.90	0.70	0.50	0.30
3	100.00	100.00	61.90	34.50	14.70	1.00	0.60	0.40	0.40	0.30
Prom.	100.00	100.00	62.20	34.70	15.00	1.20	0.80	0.60	0.50	0.30

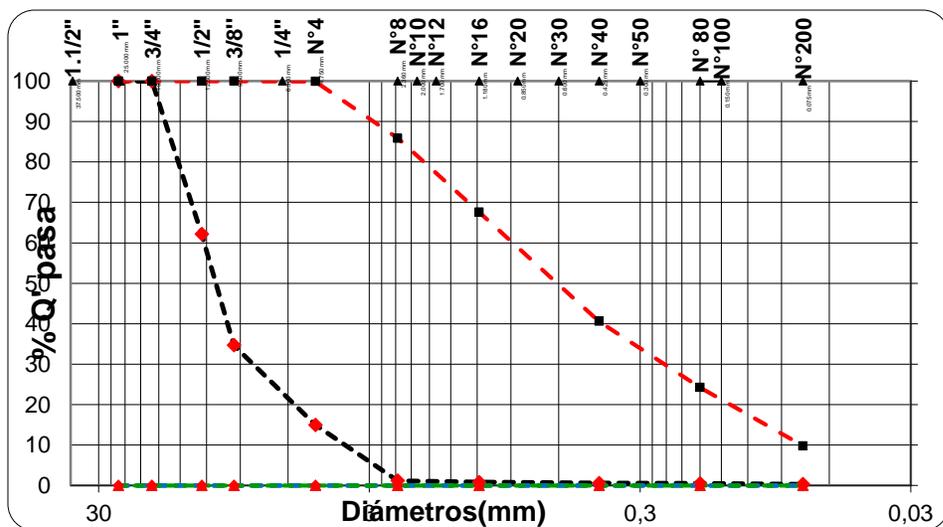
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8: Resumen granulometría – agregado de caliza

Peso total seco (gr)	2856.00		703.00		Abertura	Especificaciones			
Tamiz	Piedra Caliza		Arena Tirturada		Tamiz	Promedio	faja C		Tolerancia (+-)
N°	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	mm.		Inf	Sup	
1"	0.00	100.00	0.00	100.00	25.40	100.00		100.00	
3/4"	0.00	100.00	0.00	100.00	19.10	100.00	97.00	100.00	
1/2"	1080.00	62.20	0.00	100.00	12.70	81.09	76.00	88.00	5.00
3/8"	1865.00	34.70	0.00	100.00	9.50	67.35	53.00	70.00	6.00
N° 4	2428.00	15.00	0.50	99.90	4.75	57.46	49.00	59.00	7.00
N° 8	2822.00	1.20	103.30	85.90	2.36	43.53	25.00	39.00	5.00
N° 16	2833.00	0.80	236.90	67.60	1.18	34.21	--	--	
N° 40	2839.00	0.60	434.50	40.60	0.43	20.59	--	--	
N° 80	2842.00	0.50	554.30	24.20	0.18	12.35	--	--	
N° 200	2847.00	0.30	634.90	9.80	0.08	5.06	3.00	8.00	2.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3: Curva granulométrica - agregado de caliza-arena



Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Peso específico (AASHTO T-84)

Este método es aplicable a los áridos gruesos y finos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³.

Se comienza por mezclar completamente el agregado, cuarteándolo a continuación, hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo, en este caso al tener un tamaño nominal de 3/4 plg, la muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas; se seca a continuación en un horno a 100⁰ - 110⁰ C y se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante, y se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante 24 ± 4 horas. Después del período de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar cualquier evaporación de la superficie de los agregados. A continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturada con superficie seca (PEBS.S.S.) A continuación, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergida en el agua, a la temperatura de 25⁰ C, La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante la pesada y el hilo de suspensión será lo más delgado posible para que su inmersión no afecte a las pesadas. Se seca entonces la muestra en horno a 100⁰ - 110⁰ C, se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su peso seco hasta peso constante.

Tabla 3.9: Peso específico del agregado grueso

Determinación peso específico	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	Promedio
A=Peso en el aire de la muestra seca (gr)	3220.00	3555.00	3339.00	
B=Peso en el aire muestra saturada-superficie seca (gr)	3280.00	3624.00	3402.00	
Peso canastillo + muestra sumergida en agua (gr)	2017.00	2225.00	2091.00	
Peso canastillo sumergido en agua (gr)	0.00	0.00	0.00	
C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada (gr)	2017.00	2225.00	2091.00	
D = B - C	1263.00	1399.00	1311.00	
E = A - C	1203.00	1330.00	1248.00	
F = B - A	60.00	69.00	63.00	
G= Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.68	2.67	2.68	2.68
Gb=Peso específico bulk (gr/cm ³)	2.55	2.54	2.55	2.55
Gbs= Peso específico bulk S.S.S (gr/cm ³)	2.60	2.59	2.59	2.59
Porcentaje de absorción (%)	1.86%	1.94%	1.89%	1.90%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10: Peso específico de agregado fino

Determinación peso específico	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	Promedio
Picnometro N°	1.00	2.00	3.00	
Temperatura °C	25.00	25.00	25.00	
A (Peso en el aire de la muestra seca (gr)	494.20	494.00	494.20	
B (Peso muestra saturada con superficie seca (gr)	500.00	500.00	500.00	
X (Peso del picnómetro + agua + muestra (gr)	981.50	982.00	981.70	
J (Peso del picnómetro + agua (gr)	667.90	667.90	667.90	
E = X - J	313.60	314.10	313.80	
F = B - A	5.80	6.00	5.80	
H = A - E	180.60	179.90	180.40	
I = B - E	186.40	185.90	186.20	
G= Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.74	2.75	2.74	2.74
Gb=Peso específico bulk (gr/cm ³)	2.65	2.66	2.65	2.65
Gbs= Peso específico bulk S.S.S (gr/cm ³)	2.68	2.69	2.69	2.69
(%) Porcentaje de absorción	1.17%	1.21%	1.17%	1.19%

Fuente: Elaboración propia

AGREGADO CERÁMICO DE DESCARTE

Tabla 3.11: Peso específico del agregado cerámico de descarte

Determinación peso específico	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	Promedio
A=Peso en el aire de la muestra seca (gr)	3097.00	3068.00	3078.00	
B=Peso en el aire muestra saturada-superficie seca (gr)	3387.00	3362.00	3369.00	
Peso canastillo + muestra sumergida en agua (gr)	1913.00	1897.00	1902.00	
Peso canastillo sumergido en agua (gr)	0.00	0.00	0.00	
C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada (gr)	1913.00	1897.00	1902.00	
D = B - C	1474.00	1465.00	1467.00	
E = A - C	1184.00	1171.00	1176.00	
F = B - A	290.00	294.00	291.00	
G= Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.62	2.62	2.62	2.62
Gb=Peso específico bulk (gr/cm ³)	2.10	2.09	2.10	2.10
Gbs= Peso específico bulk S.S.S (gr/cm ³)	2.30	2.29	2.30	2.30
Porcentaje de absorción (%)	9.36%	9.58%	9.45%	9.47%

Fuente: Elaboración propia

AGREGADO DE CALIZA

Tabla 3.12: Peso específico del agregado de caliza

Determinación peso específico	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	PROMEDIO
A=Peso en el aire de la muestra seca (gr)	2870.00	2867.00	2770.00	
B=Peso en el aire muestra saturada-superficie seca (gr)	3000.00	3000.20	2900.00	
Peso canastillo + muestra sumergida en agua (gr)	1776.00	1798.00	1734.00	
Peso canastillo sumergido en agua (gr)	0.00	0.00	0.00	
C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada (gr)	1776.00	1798.00	1734.00	
D = B - C	1224.00	1202.20	1166.00	
E = A - C	1094.00	1069.00	1036.00	
F = B - A	130.00	133.20	130.00	
G= Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.62	2.68	2.67	2.66
Gb=Peso específico bulk (gr/cm ³)	2.34	2.38	2.38	2.37
Gbs= Peso específico bulk S.S.S (gr/cm ³)	2.45	2.50	2.49	2.48
Porcentaje de absorción (%)	4.53%	4.65%	4.69%	4.62%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.13: Peso específico del agregado cerámico - caliza

Determinación peso específico	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	Promedio
A=Peso en el aire de la muestra seca (gr)	2787.00	2972.00	2918.00	
B=Peso en el aire muestra saturada-superficie seca (gr)	2884.00	3085.00	3024.00	
Peso canastillo + muestra sumergida en agua (gr)	1738.00	1850.00	1818.00	
Peso canastillo sumergido en agua (gr)	0.00	0.00	0.00	
C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada (gr)	1738.00	1850.00	1818.00	
D = B - C	1146.00	1235.00	1206.00	
E = A - C	1049.00	1122.00	1100.00	
F = B - A	97.00	113.00	106.00	
G= Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.66	2.65	2.65	2.65
Gb=Peso específico bulk (gr/cm ³)	2.43	2.41	2.42	2.42
Gbs= Peso específico bulk S.S.S (gr/cm ³)	2.52	2.50	2.51	2.51
Porcentaje de absorción (%)	3.48%	3.80%	3.63%	3.64%

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Caras fracturadas

El ensayo de caras fracturadas representa la relación de partículas del agregado grueso que tienen una o más caras fracturadas con relación al agregado total. El ensayo se realizó en instalaciones del Laboratorio de la Empresa Consultora de Suelos-Asfaltos-Hormigones (S.A.H.) y el procedimiento que se realizó es la siguiente manera:

Para el agregado de 3/4":

- Se tamizó el agregado y se trabajó utilizando un tamaño máximo de partícula de 3/4".
- Se lavó el material para apreciar mejor las caras fracturadas.
- Se secó el material para pesar la totalidad de la muestra.
- Se separó el agregado que tiene caras fracturadas del canto rodado y se pesan los materiales separados, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 3.14: Caras fracturadas grava 3/4"

Peso total retenido tamiz N°4 (gr)	Material triturado (gr)	Material natural (gr)	Material caras fracturadas (%)	Material natural (%)	Especificaciones mínimo
A	B	C	$D=B/A$	$E=C/A*100$	(%)
1000.00	786.00	214.00	78.60	21.40	>75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.15: Caras fracturadas agregado cerámico

Peso total retenido tamiz N°4 (gr)	Material triturado (gr)	Material natural (gr)	Material caras fracturadas (%)	Material natural (%)	Especificaciones mínimo
A	B	C	$D=B/A$	$E=C/A*100$	(%)
1000.00	1000.00	0.00	100.00	0.00	>75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.16: Caras fracturadas agregado piedra caliza

Peso total retenido tamiz N°4 (gr)	Material triturado (gr)	Material natural (gr)	Material caras fracturadas (%)	Material natural (%)	Especificaciones mínimo
A	B	C	$D=B/A$	$E=C/A*100$	(%)
1000.00	1000.00	0.00	100.00	0.00	>75

Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Desgaste de los ángeles (AASHTO T-96)

El ensayo de Desgaste de Los Ángeles determina el desgaste de los agregados para determinar su aplicabilidad en mezclas asfálticas, cuando son sometidos a los efectos del tráfico de vehículos. El procedimiento que se siguió para el desarrollo del ensayo fue el siguiente:

Para el material de 3/4"

- Se determinó en base a la granulometría, que el material correspondía a la gradación tipo "B". En base a estos resultados, se siguió el procedimiento del ensayo:

- Se pesó 2500 kg de material retenido en el tamiz de 3/4" y pasante el de 1".
- Se pesó 2500 kg de material retenido en el tamiz de 3/8" y pasante el de 1/2".
- Introducir el material combinado dentro del tambor con 11 esferas, y someter el material a 500 revoluciones.
- Tamizar el material en el tamiz N°12 y pesar el retenido.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.17: Desgaste de los ángeles, grava 3/4"

Desgaste de los ángeles						
Retenido N° 1/2(gr)	Retenido N° 3/8(gr)	Total (gr)	Retenido N° 12 (gr)	Diferencia (gr)	Desgaste (%)	Especificaciones máximo
a	b	c	d	e	$f=(e/c)*100$	
2500.00	2500.00	5000.00	3722.00	1278.00	25.56	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.18: Desgaste de los ángeles, agregado cerámico

Desgaste de los ángeles						
Retenido N° 1/2(gr)	Retenido N° 3/8(gr)	Total (gr)	Retenido N° 12 (gr)	Diferencia (gr)	Desgaste (%)	Especificaciones máximo
a	b	c	d	e	$f=(e/c)*100$	
2500.00	2500.00	5000.00	3500.00	1500.00	30.00	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.19: Desgaste de los ángeles, agregado piedra caliza

Desgaste de los ángeles						
Retenido N° 1/2(gr)	Retenido N° 3/8(gr)	Total (gr)	Retenido N° 12 (gr)	Diferencia (gr)	Desgaste (%)	Especificaciones máximo
a	b	c	d	e	$f=(e/c)*100$	
2500.00	2500.00	5000.00	3555.00	1445.00	28.90	

Fuente: Elaboración propia

El resultado del ensayo fue satisfactorio y el agregado es apto para la elaboración de la mezcla asfáltica según las especificaciones.

Para el material de 3/8":

Se determinó en base a la granulometría, que el material correspondía a la gradación de tipo "C". En base a estos resultados, se siguió el procedimiento del ensayo:

Se pesó 2500 kg de material retenido en el tamiz de 1/2" y pasante el de 3/4".

Se pesó 2500 kg de material retenido en el tamiz N° 4 y pasante el de 3/8". Introducir el material combinado dentro del tambor con 8 esferas, y someter el material a 500 revoluciones.

Tamizar el material en el tamiz N°12 y pesar el retenido.

Tabla 3.20: Desgaste de los ángeles, gravilla de 3/8"

Desgaste de los ángeles						
Retenido N° 1/2(gr)	Retenido N° 3/8(gr)	Total (gr)	Retenido N° 12 (gr)	Diferencia (gr)	Desgaste (%)	Especificaciones máximo
a	b	c	d	e	$f=(e/c)*100$	
2500.00	2500.00	5000.00	3615.00	1385.00	27.70	40.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.21: Desgaste de los ángeles, agregado cerámico

Desgaste de los ángeles						
Retenido N° 1/2(gr)	Retenido N° 3/8(gr)	Total (gr)	Retenido N° 12 (gr)	Diferencia (gr)	Desgaste (%)	Especificaciones máximo
a	b	c	d	e	$f=(e/c)*100$	
2500.00	2500.00	5000.00	3449.00	1551.00	31.02	40.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.22: Desgaste de los ángeles, agregado caliza

Desgaste de los ángeles						
Retenido N° 1/2(gr)	Retenido N° 3/8(gr)	Total (gr)	Retenido N° 12 (gr)	Diferencia (gr)	Desgaste (%)	Especificaciones máximo
a	b	c	d	e	$f=(e/c)*100$	
2500.00	2500.00	5000.00	3525.00	1475.00	29.50	40.00

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del ensayo fueron satisfactorios y los agregados son aptos para la elaboración de la mezcla asfáltica según las especificaciones.

3.4.5. Equivalente de arena (AASHTO T-176)

Con el ensayo de equivalente de arena se pretende determinar las proporciones de arena y arcilla presentes en el agregado fino para la elaboración de mezclas asfálticas u hormigones, para la realización del ensayo se ejecutó el siguiente procedimiento:

- Se tamizó el material, separando las partículas que quedan retenidas en el tamiz #4 y trabajando solamente con el material pasante.
- En una probeta, se vierten 4 pulgadas de solución (Cloruro de calcio combinado con agua destilada).
- Se vertió una tara con una cantidad determinada de arena (aproximadamente 350 gr) tamizada en el N°4.
- Se dejó reposar 5 minutos, y posteriormente se agitó vigorosamente durante 30 segundos, con la finalidad de que las partículas de arcilla sean suspendidas completamente en la solución.
- Se agregó solución hasta completar las 15 pulgadas, haciendo que toda la arena pegada en las paredes y el corcho de goma, caigan hasta el fondo, se dejó reposar durante 20 minutos.
- Después de observar una evidente separación entre el material fino y la arena, se leyeron los resultados en la escala graduada de la probeta en pulgadas y se repitió el mismo procedimiento 3 veces.

Se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 3.23: Equivalente de arena

Equivalente de arena	Lectura			Media (%)	Especificación
	1	2	3		
Lectura nivel superior de suspensión (a)	89.00	89.00	93.00	45.40	> 45.00
Lectura del nivel superior de sedimento (b)	40.00	41.00	42.00		
% de arena=(b/a)*100	44.90	46.10	45.20		

Fuente: Elaboración propia

El resultado del ensayo fue satisfactorio y el agregado es apto para la elaboración de la mezcla asfáltica según las especificaciones.

3.4.6. Durabilidad método de los sulfatos (AASHTO T – 104)

Este método de ensayo estima la capacidad de los agregados de disolverse cuando están sujetos a las acciones climáticas en concretos y en otras aplicaciones. Esto es conseguido por repetidas inmersiones en solución saturada de sulfatos de Sodio o Magnesio, seguidas por el secado al horno hasta una deshidratación parcial o completa, en donde la sal se precipita en los espacios porosos permeables.

La fuerza de expansión interna, derivada de la rehidratación de la sal en la re-inmersión, simula la expansión del agua en el enfriamiento.

Los valores para el proyecto de pérdida permitido por este método son usualmente diferentes para agregado grueso y fino.

Tabla 3.24: Durabilidad método de los sulfatos (agregado grueso)

Granulometría				Peso materiales		Perdida	% Pasa al	% Perdida	% Perdida
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material	Antes	Después	por	tamiz	Respecto	Respecto
Nº	Pasa	Ret.		ensayo (gr)	ensayo (gr)	diferencia (gr)	mas fino	Tamiz	muestra total
1"	1"	3/4"	99.50	756.00	745.00	11.00	16.90	1.46	0.25
3/4"	3/4"	1/2"	82.60	500.20	495.60	4.60	9.20	0.92	0.08
1/2"	1/2"	3/8"	73.40	300.00	294.30	5.70	20.00	1.90	0.38
3/8"	3/8"	Nº 4	53.40	300.00	296.50	3.50	13.40	1.17	0.16
Nº 4	Nº 4	Nº 8	40.00	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00
Total % pérdida de peso									0.87
Máximo									12.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25: Durabilidad método de los sulfatos (agregado fino).

Granulometría				Peso materiales		Perdida	% Pasa al	% Perdida	% Perdida
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material	Antes	Después	por	tamiz	Respecto	Respecto
N°	Pasa	Ret.		ensayo (gr)	ensayo (gr)	diferencia (gr)	mas fino	Tamiz	muestra total
3/8"	3/8"	N° 4							
N° 4	N° 4	N° 8	40.00	100.00	99.30	0.70	40.00	0.70	0.28
N° 8	N° 8	N° 16	31.50	100.00	98.50	1.50	31.50	1.50	0.47
N° 16	N° 16	N° 40	19.00	100.00	99.50	0.50	19.00	0.50	0.10
N° 40	N° 40	N° 100	11.40	100.00	98.20	1.80	11.40	1.80	0.21
N° 100	N° 100	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total % perdida de peso									1.05
Máximo									12.00
Cinco ciclos						Perdida total			1.92

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26: Durabilidad método de los sulfatos (agregado cerámico)

Granulometría				Peso materiales		Perdida	% Pasa al	% Perdida	% Perdida
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material	Antes	Después	por	tamiz	Respecto	Respecto
N°	Pasa	Ret.		ensayo (gr)	ensayo (gr)	diferencia (gr)	mas fino	Tamiz	muestra total
1"	1"	3/4"	96.70	752.00	738.50	13.50	24.20	1.80	0.43
3/4"	3/4"	1/2"	72.50	500.90	487.70	13.20	26.90	2.64	0.71
1/2"	1/2"	3/8"	45.60	300.80	288.50	12.30	32.70	4.09	1.34
3/8"	3/8"	N° 4	12.90	300.60	290.00	10.60	10.70	3.53	0.38
N° 4	N° 4	N° 8	2.20	0.00	0.00	0.00	2.20	0.00	0.00
Total % perdida de peso									2.86
Máximo									12.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.27: Durabilidad método de los sulfatos (agregado piedra caliza).

Granulometría				Peso materiales		Perdida	% Pasa al	% Perdida	% Perdida
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material	Antes	Después	por	tamiz	Respecto	Respecto
N°	Pasa	Ret.		ensayo (gr)	ensayo (gr)	diferencia (gr)	mas fino	Tamiz	muestra total
1"	1"	3/4"	100.00			0.00	37.80	0.00	0.00
3/4"	3/4"	1/2"	62.20	500.00	462.20	37.80	27.50	7.56	2.08
1/2"	1/2"	3/8"	34.70	300.30	285.60	14.70	19.70	4.90	0.96
3/8"	3/8"	N° 4	15.00	300.10	294.40	5.70	13.80	1.90	0.26
N° 4	N° 4	N° 8	1.20	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00
Total % perdida de peso									3.31
Máximo									12.00

Fuente: Elaboración propia

3.4.7. Límites de Atterberg (AASHTO T – 89)

Límite líquido: La definición de límite líquido dada por la sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engieres), es la siguiente:

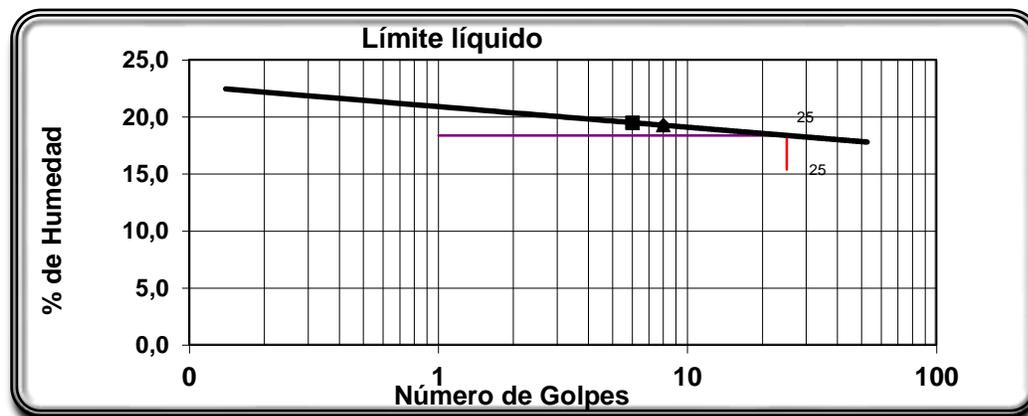
“Limite liquido es el contenido de humedad que corresponde al límite arbitrario entre los estados de consistencia líquido y plástico de un suelo”.

Tabla 3.28: Límite líquido

Nº Tara	Peso suelo húmedo + tara	Peso suelo seco+tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo seco	% de humedad	Nº de Golpes
3	41.30	38.21	3.09	22.37	15.84	19,48	6.00
21	45.41	41.65	3.76	22,15	19.50	17,93	8.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4 Límite líquido



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.29: Resumen ensayos realizados agregado grueso

Agregado	Desgaste de los ángeles (%)	Caras fracturadas (%)	Durabilidad, sulfato de sodio (%)
Chancadora Erika	27.70	78.60	0.87
Cerámico de descarte	31.02	100.00	2.86
Piedra Caliza	29.50	100.00	3.31
Especificaciones técnicas	Máximo 40%	>75.00	Máximo 12%

Fuente: Elaboración propia

Se observa que los resultados en los ensayos para agregado grueso, cumple con las especificaciones técnicas de la norma AASHTO.

Tabla 3.30 Resumen ensayos realizados agregado Fino

Ensayos	Resultado	Especificación
Equivalente de arena	45.40	45 % min
Durabilidad, sulfato de sodio	1.05	15 % máx.

Fuente: Elaboración propia

Los ensayos realizados al agregado fino, cumplen con las especificaciones técnicas de la Norma AASHTO.

3.5. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO 85/100

Por condiciones de disponibilidad con los equipos necesarios para realizar los ensayos de caracterización del cemento asfáltico, se realizaron en el SEDECA los ensayos de: viscosidad saybolt furol, Punto de Inflamación, Ductilidad y Penetración.

3.5.1. Viscosidad saybolt furol (AASHTO T-72)

Para la realización del ensayo de viscosidad se realizó el siguiente procedimiento:

Se obtuvo un valor estable de temperatura para el baño, de 135 °C.

Paralelamente, se calentó el cemento asfáltico, sobre una plancha eléctrica, y no con llama directa, para preservarlo de la oxidación o envejecimiento prematuro, a una temperatura entre 80 y 100 °C, de manera que una vez colocado el asfalto en el viscosímetro se caliente rápidamente y no demore mucho tiempo en alcanzar la temperatura de ensayo (135°C). El calentado previo no debe exceder los 1.7°C (3°F) por encima de la temperatura de ensayo.

Se agitó la muestra y posteriormente filtró con un tamiz #100, para cuidar el viscosímetro de cualquier obstrucción posible a causa de impurezas en el asfalto.

Se insertó un tapón de corcho en el agujero inferior del viscosímetro, con la finalidad mantener el asfalto dentro hasta que alcance la temperatura adecuada.

Se vertió el cemento asfáltico dentro del viscosímetro, hasta que el nivel quede por encima del borde de reboce, es decir, que rebalse un poco de asfalto por encima del vaso que lo contiene.

Se agitó la muestra dentro del viscosímetro con el termómetro de viscosidad, empleando un movimiento circular y cuidando de no votar el asfalto fuera del vaso. Cuando la temperatura de la mezcla permaneció constante a la temperatura del ensayo (± 0.05 0 C) durante un minuto de agitación continua se retiró el termómetro.

Se verificó que el matraz se encontraba en la posición adecuada; se retiró el corcho de la parte inferior del viscosímetro y en el mismo instante se puso a funcionar el cronómetro. Se detuvo en el instante en que el fondo del menisco del cemento alcanzó la marca de graduación de 60 ml del frasco receptor y se anotó el tiempo del flujo en segundos.

Tabla 3.31: Resultados viscosidad saybolt furol

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Especificación	
					Mínimo	Máximo
Viscosidad Saybolt 135°C AASHTO T-72	Seg	144.00	142.00	143.00	85.00	-----

Fuente: Elaboración propia

El asfalto cumple con las especificaciones mínimas requeridas.

3.5.2. Punto de inflamación (AASHTO T-48)

Para la realización de este ensayo se siguió el siguiente procedimiento:

Se preparó el equipo, colocándolo sobre un mesón firme y a nivel. Se cerraron momentáneamente las ventanas y la puerta para eliminar corrientes de aire.

Se lavó la copa de ensayo con gasolina para remover cualquier aceite o residuo de asfalto de un ensayo anterior.

Se colocó el termómetro en posición vertical, cuidando de que el extremo inferior esté a 6.4 mm (1/4") del fondo de la copa y localizado en un punto medio entre el centro y la pared de la misma.

Se llenó la copa con el cemento asfáltico, cuidando que la temperatura no excediera de 100°C, precisamente a la temperatura necesaria para que el asfalto pueda verterse. Hasta el punto en el que la parte superior del menisco quede en la línea de llenado.

La copa se llenó lejos del resto del equipo, que ya se encontraba previamente montado.

Se colocó la copa en posición, cuidando el espacio entre el extremo inferior del termómetro y el fondo de la copa.

Se encendió la llama del mechero, aplicando calor inicialmente de manera que la rata de incremento de temperatura de la muestra sea de 14° a 17°C por minuto, cuando la temperatura se aproximó a los 160°C se disminuyó el calor de manera que el incremento se redujo a un rango constante entre 5° a 6°C por minuto hasta que se alcanzó el punto de inflamación.

Cuando la temperatura se aproximó a los 210°C, se aplicó la llama de ensayo, una vez por cada aumento de 2°C, en un tiempo de barrido a través de la copa de aproximadamente 1 segundo.

Cuando la temperatura se aproximó a los 230°C, se tuvo la precaución de no aproximarse bruscamente, o respirar cerca de la copa puesto que cualquier movimiento de aire, dispersa los gases que se acumulan en la parte superior.

Se registró como punto de inflamación, la lectura de temperatura del termómetro cuando apareció una llama sobre la superficie de la copa producto de la combustión de los gases emitidos por el calentamiento del asfalto.

Se anotaron los siguientes resultados:

Tabla 3.32: Ensayos punto de inflación

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Especificación	
					Mínimo	Máximo
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	260.00	270.00	265.00	232.00	-----

Fuente: Elaboración propia

El asfalto cumple con las especificaciones mínimas requeridas.

3.5.3. Penetración (AASHTO T-49)

El ensayo de penetración se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento:

Se calentó el asfalto homogéneamente para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar la fluidez del material para verterlo en los moldes. Se cuidó que la temperatura de calentamiento previo no exceda en 100°C al punto de ablandamiento, también con el objeto que, colocado el asfalto en los moldes, el tiempo que demore hasta enfriarse a una temperatura estable no sea demasiado.

Se llenaron los moldes, teniendo cuidado de que la profundidad de llenado sea por lo menos 10 mm mayor al rango de penetración esperada. Se prepararon dos moldes con las mismas dimensiones y características de la misma muestra.

Se dejaron enfriar a temperatura ambiente hasta alcanzar entre 20° y 30° C durante un periodo aproximado de 2 horas, cubiertos para protegerlos del polvo.

Se puso los moldes en un baño de agua a una temperatura de 25 ° C manteniendo esta temperatura constante durante un periodo de tiempo similar al anterior.

Se montó el equipo de penetración y se comprobó que el vástago que soporta la aguja esté completamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre la guía. La aguja de penetración se limpió con gasolina y se secó con un trozo de papel higiénico, se la fijó firmemente en su soporte.

La penetración se realizó en un baño pequeño auxiliar, en el que se colocó la muestra de asfalto, completamente sumergido, hasta un nivel de 3 mm sobre la cara superior del asfalto.

Una vez montado todo el equipo para la realización del ensayo, se aproximó la aguja del penetrómetro hasta que la punta tocó justamente la superficie de la muestra, sin que penetre.

Se verificó que el penetrómetro se encuentre en cero, y se soltó la aguja, iniciando en el mismo instante el cronometro para medir un tiempo de 5 segundos.

Finalmente, se leyó y anotó la distancia expresada en decimas de milímetro.

Se anotaron los siguientes resultados:

Tabla 3.33: Resultados ensayo penetración

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Especificación	
					Mínimo	Máximo
Penetración a 25°C, 100gr 5seg AASHTO T-49	Lectura 1	mm	81.00	90.00		
	Lectura 2	mm	89.00	93.00		
	Lectura 3	mm	92.00	89.00		
	Promedio	mm	87.30	90.70	89.00	85.00 100.00

Fuente: Elaboración propia

El asfalto cumple con las especificaciones mínimas requeridas y concuerda con los datos proporcionados por el fabricante.

3.5.4. Ductilidad (AASHTO T-51)

El ensayo de penetración se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento:

Se hizo calentar el cemento asfáltico hasta un punto que este manejable.

Se preparó las probetas para colocar el asfalto

Las probetas se recubrieron con una vaselina y maicena para evitar que el cemento se prenda en las paredes.

Se llenó los moldes con mucho cuidado sin hacer rebalsar, evitando la inclusión de burbujas.

Se dejó enfriar las probetas a temperatura ambiente durante 30 min. y a continuación se introdujo los moldes ya preparados en el baño de agua a temperatura de 25°C durante 90 min.

Se quita los moldes y se deja al descubierto las probetas y se da inicio al ensayo.

El material asfáltico es estirado por las pinzas hasta formar un hilo produciendo la ruptura.

Tabla 3.34: Resultados ensayo de ductilidad

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Mínimo
Ductilidad a 25° C AASHTO T-51	Cm	110.00	115.00	113.00	≥ 100.00

Fuente: Elaboración propia

El asfalto cumple con las especificaciones mínimas requeridas.

3.5.5. Peso específico (AASHTO T-228)

Se limpia perfectamente el picnómetro y su tapón con el líquido de limpieza, enjuagándolo a continuación con agua destilada y secándolo finalmente. Esta operación de limpieza debe realizarse antes de cada calibración, o bien cuando se observe cualquier falla en el escurrimiento uniforme de los líquidos, en las paredes interiores del picnómetro o en el capilar del tapón.

Después de secado, se deja que el picnómetro alcance la temperatura ambiente y se pesa. El peso del picnómetro vacío. Se seca el vaso del baño y se llena el picnómetro con agua destilada, colocando suavemente el tapón, sin apretarlo. Se sumerge completamente el picnómetro en el vaso y se aprieta entonces el tapón, no debiendo quedar burbujas de aire ocluidas en el picnómetro en esta operación. El vaso con el

picnómetro se vuelve a colocar en el baño de agua a 25°C. Se deja el picnómetro en el interior del vaso por un mínimo de 30 minutos, se saca del agua e inmediatamente se seca la superficie superior del tapón pasando suavemente y una sola vez un paño seco por la misma; a continuación, se seca rápidamente el resto del picnómetro y se pesa con aproximación de 0.1 mg. El peso del picnómetro lleno de agua.

Preparación de la muestra. - Calentar con cuidado la muestra, agitándola para evitar sobrecalentamientos locales hasta que llegue a ser suficientemente fluida para que pueda ser vertida. La muestra debe ser representativa de la existente en el laboratorio y deberá ser homogénea y no estar contaminada.

Verterlo una cantidad de muestra suficiente dentro del picnómetro limpio y seco previamente calentado, llenándolo hasta tres cuartos de su capacidad. Tomar precaución para evitar que el material se ponga en contacto con las paredes del picnómetro por encima del nivel final y para evitar la inclusión de burbujas de aire. Dejar enfriar el picnómetro con su contenido hasta la temperatura ambiente durante un período no menor de 40 minutos y pesar con el tapón con aproximación a 1 mg. El peso del picnómetro con la muestra.

Llenar el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada, colocando firmemente el tapón en el picnómetro. No deben permitirse burbujas de aire en el picnómetro. Colocar el picnómetro en el vaso y apretar firmemente el tapón.

Retomar luego el vaso al baño de agua a 25°C.

Tabla 3.35: Resultados ensayo peso específico

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio
Peso Picnómetro	gr	34.79	34.8	
Peso picnómetro + agua (25°)	gr	67.81	67.8	
Peso picnómetro + muestra	gr	43.12	48.6	
Peso picnómetro + agua + muestra	gr	67.94	68	
Peso específico	gr/cm ³	1.01	1.01	1.01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.36: Resumen resultados cemento asfáltico 85-100

Ensayos	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Especificaciones	
					Mínimo	Máximo
Peso picnómetro	gr	34.79	34.79			
Peso picnómetro + agua (25°C)	gr	67.81	67.81			
Peso picnómetro + muestra	gr	43.12	48.55			
Peso picnómetro + agua + muestra	gr	67.94	67.98			
Peso específico	gr/cm ³	1.01	1.01	1.01		
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	260.00	270.00	265.00	>232.00	
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm	110.00	115.00	112.50	100.00	150.00
Penetración a 25°C, 100s. 5seg.(0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	81.00	90.00			
	Lectura N°2	89.00	93.00			
	Lectura N°3	92.00	89.00			
	Promedio	mm	87.33	90.67	89.00	85.00
Viscosidad Saybolt 135 °C AASHTO T-72	seg	144.00	142.00	143.00	85.00	

Fuente: Elaboración propia

3.6. JUSTIFICACIÓN DEL USO DEL CEMENTO ASFÁLTICO 85-100

El cemento asfáltico CA a emplear para el presente trabajo de investigación será el CA 85-100; su empleo será según las características climáticas de la región.

Si bien se tiene diferentes cementos asfálticos y estos varían por los grados de penetración, también se menciona que estos pueden ser empleados para diferentes tipos de pavimentación como ser carreteras, calles, aeropuertos, etc

Entre los más comunes se tiene en función al clima:

CA 40-50 Clima muy Cálido

CA 60-70 Clima Cálido

CA 85-100 Clima trópico

CA 120-150 Clima Frígido

Como el trabajo es mezclas asfálticas en caliente para un tráfico pesado (>1800lb en estabilidad), y como se clasifica por las características climáticas de la región; se puede indicar que el departamento de Tarija presenta una variación de su clima; pero para esta

parte de la región se lo considera un clima trópico entonces el mejor para ser empleado es el CA 85-100.

Por esta razón es considerado para el trabajo de investigación al CA 85-100 y cabe recordar que este (cemento asfáltico) CA 85-100 es proveniente de la posta municipal del departamento de Tarija.

3.7. ESTIMACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO 85/100

Los porcentajes de cemento asfáltico para cada dosificación se obtienen haciendo incrementos de 0.5% al porcentaje óptimo de cemento asfáltico, dos incrementos arriba y dos abajo de 5.5%, por lo tanto, los porcentajes de cemento asfáltico a utilizar para elaborar las diferentes dosificaciones son:

4.5 %, 5.0 %, 5.5 %, 6.0 % y 6.5 %

Para cada porcentaje de cemento asfáltico se elaborarán tres briquetas como mínimo, cada briqueta tendrá un peso de aproximadamente 1,200.00gr.

La elección de hacer una o dos muestras para teórica máxima depende de los criterios del diseñador, ya que algunos hablan de inclusive hacer tres para tener un mejor valor promedio, ya que con dos muestras ensayadas no se tiene una certeza de que valores pueden ser tomados como los más exactos.

3.8. DOSIFICACIÓN DEL AGREGADO PARA DISEÑO MARSHALL

Para la dosificación por tanteo lo más importante es haber realizado la granulometría de los agregados necesarios para aplicar en Marshall; luego se realiza en una planilla Excel y se colocan de la granulometría los porcentajes que pasan en cada tamiz, luego ya con las curvas granulométrías y teniendo una faja de trabajo seleccionada se procede a adoptar porcentajes para cada agregado considerando que la suma de estos debe ser igual al 100%.

Una vez completando lo anterior, se empieza a observar si los porcentajes asumidos entran dentro de la faja de trabajo seleccionada para así optar por emplear esa faja seleccionada.

Considerando lo explicado bajo una teoría se puede decir el método más sencillo para obtener la combinación óptima de agregados, es el método por tanteo, para la utilización de este se utiliza la siguiente fórmula básica, también conocida como fórmula de trabajo.

$$P=Aa+Bb+Cc\dots\text{etc.}$$

Donde:

P=Sumatoria de los porcentajes de materiales que pasan por un tamiz dado, para la combinación de agregados A, B, C.

A, B, C, etc= Material que pasa por un tamiz dado expresado en porcentaje, para los agregados A, B, C.

a ,b ,c ,etc= Son las proporciones de los agregados A, B, C, etc.; para la mezcla.

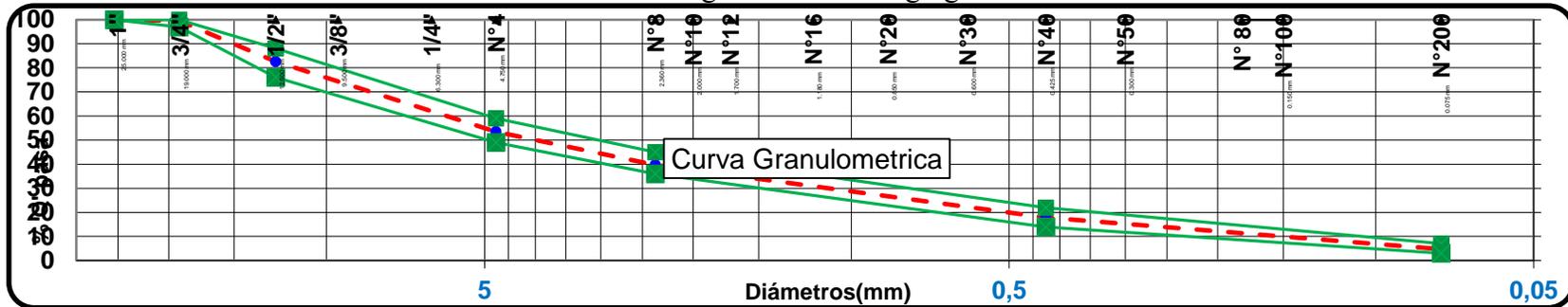
3.9. DOSIFICACIÓN DISEÑO MARSHALL

Tabla 3.37. Granulometría- agregado convencional para mezcla asfáltica

Agregado		Grava		Gravilla		Arena		% Que pasa	Especificaciones	
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.		Graduación C	
Pulg	mm.								Inf.	Sup.
1 1/2"	38.10	100.00	30.00	100.00	24.00					100.00
1"	25.40	100.00	30.00	100.00	24.00	100.00	46.00	100.00		100.00
3/4"	19.10	98.50	29.50	100.00	24.00	100.00	46.00	99.50	97.00	100.00
1/2"	12.50	42.70	12.80	99.10	23.80	100.00	46.00	82.60	76.00	88.00
3/8"	9.50	13.90	4.20	96.90	23.30	100.00	46.00	73.40	53.00	70.00
N° 4	4.75	0.40	0.10	30.70	7.40	99.90	46.00	53.40	49.00	59.00
N°8	2.36	0.30	0.10	1.50	0.40	85.30	39.30	39.70	25.00	44.00
N°16	1.18	0.30	0.10	1.10	0.30	66.30	30.50	30.90	--	--
N°40	0.42	0.30	0.10	0.80	0.20	38.20	17.60	17.80	--	--
N°80	0.18	0.30	0.10	0.70	0.20	21.20	9.80	10.00	--	--
N°200	0.07	0.20	0.10	0.70	0.20	9.80	4.50	4.70	3.00	8.00

Fuente Elaboración propia

Grafico N° 3.5 Curva granulométrica agregado chancadora



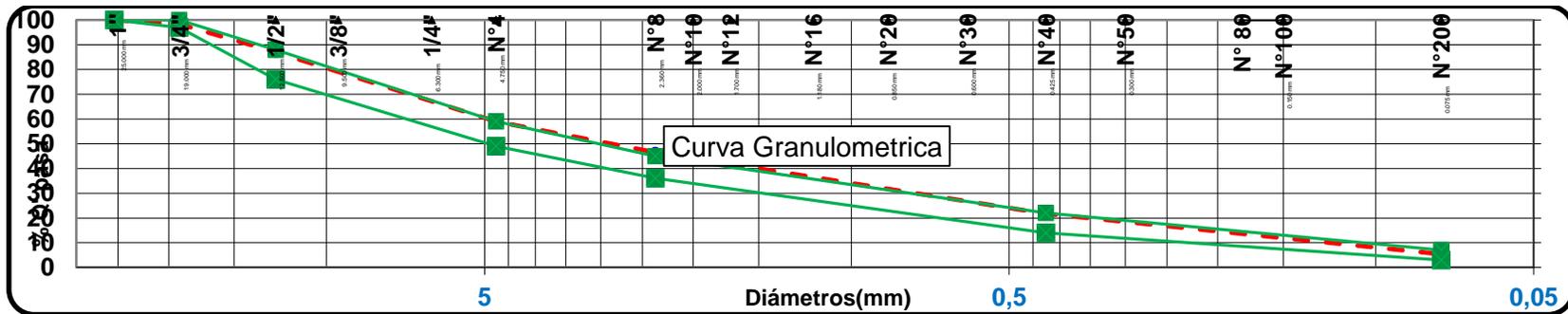
Fuente Elaboración propia

Tabla 3.38. Granulometría- cerámico de descarte para mezcla asfáltica

Agregado		Cerámico de descarte		Arena		% Que pasa	Especificaciones	
		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.		Graduación C	
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.		INF.	SUP.
Pulg	mm.							
1 1/2"	38.10	100.00	47.10			100.00		100.00
1"	25.40	96.70	45.50	100.00	52.90	98.40		100.00
3/4"	19.10	72.50	34.20	100.00	46.00	87.10	97.00	100.00
1/2"	12.50	45.60	21.50	100.00	46.00	74.40	76.00	88.00
3/8"	9.50	12.90	6.10	100.00	46.00	58.90	53.00	70.00
N° 4	4.75	2.20	1.00	99.90	46.00	46.50	49.00	59.00
N°8	2.36	0.60	0.30	85.30	39.30	36.00	25.00	44.00
N°16	1.18	0.40	0.20	66.30	30.50	21.70	--	--
N°40	0.43	0.30	0.20	38.20	17.60	13.00	--	--
N°80	0.18	0.30	0.10	21.20	9.80	5.30	--	--
N°200	0.08	100.00	47.10	9.80	4.50	4.70	3.00	8.00

Fuente Elaboración propia

Gráfico N°3.6 Curva granulométrica agregado cerámico para mezcla asfáltica



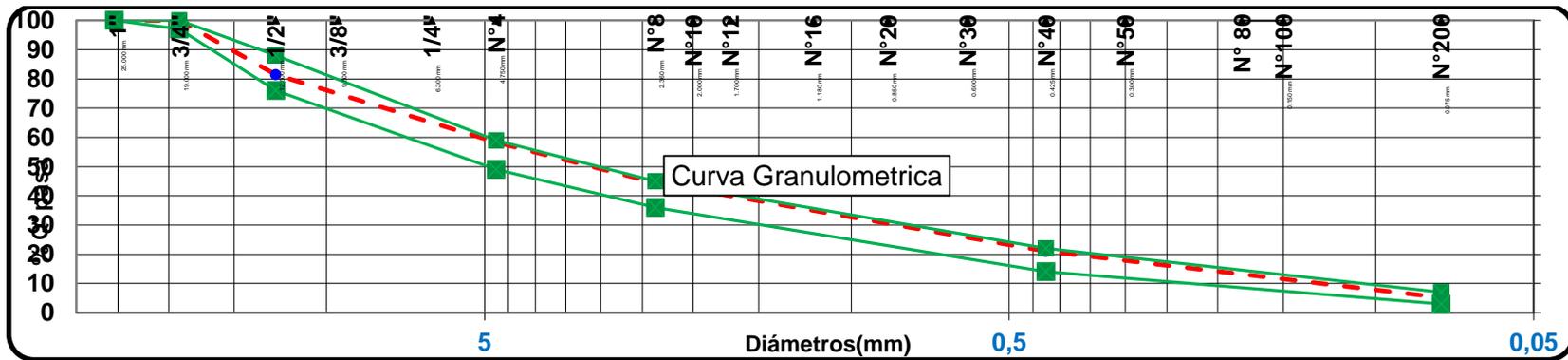
Fuente Elaboración propia

Tabla 3.39. Granulometría- piedra caliza para mezcla asfáltica

Agregado		Piedra Caliza		Arena		% Que pasa	Especificaciones	
Tamices		% Total	% Enc	% Total	% Enc		Graduación C	
Pulg	mm.					INF.	SUP.	
1 1/2"	38.10	100.00	46.60			100.00		100.00
1"	25.40	100.00	46.60	100.00	53.40	100.00		100.00
3/4"	19.10	62.20	29.00	100.00	53.40	82.40	97.00	100.00
1/2"	12.50	34.70	16.20	100.00	53.40	69.60	76.00	88.00
3/8"	9.50	15.00	7.00	100.00	53.40	60.30	53.00	70.00
N° 4	4.75	1.20	0.60	99.90	53.40	46.40	49.00	59.00
N°8	2.36	0.80	0.40	85.90	45.90	36.50	25.00	44.00
N°16	1.18	0.60	0.30	67.60	36.10	22.00	--	--
N°40	0.43	0.50	0.20	40.60	21.70	13.20	--	--
N°80	0.18	0.30	0.10	24.20	12.90	5.40	--	--
N°200	0.08	100.00	47.10	9.80	5.20	4.70	3.00	8.00

Fuente Elaboración propia

Gráfico N°3.7 Curva granulométrica agregado de piedra caliza



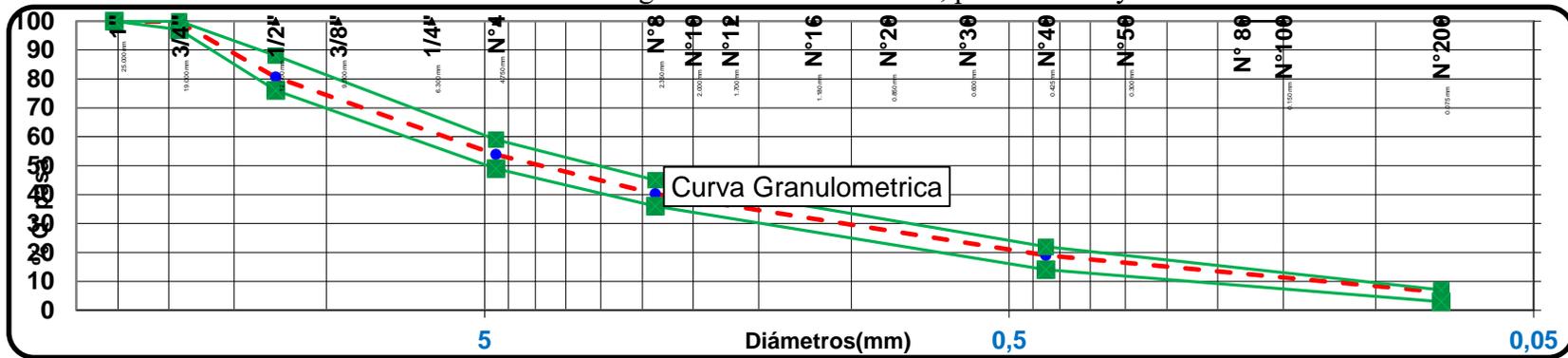
Fuente Elaboración propia

Tabla 3.40. Granulometría cerámico- caliza- arena para mezcla asfáltica

Agregado		Grava		Gravilla		Arena		% Que pasa	Especificaciones	
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.		Graduación C	
Pulg	mm.								Inf.	Sup.
1 1/2"	38.10	100.00	10.00	100.00	44.00	100.00	46.00	100.00		100.00
1"	25.40	96.70	9.70	100.00	44.00	100.00	46.00	99.70		100.00
3/4"	19.10	72.50	7.30	62.20	27.40	100.00	46.00	80.60	97.00	100.00
1/2"	12.50	45.60	4.60	34.70	15.30	100.00	46.00	65.80	76.00	88.00
3/8"	9.50	12.90	1.30	15.00	6.60	99.90	46.00	53.90	53.00	70.00
N° 4	4.75	2.20	0.20	1.20	0.50	85.90	39.50	40.20	49.00	59.00
N°8	2.36	0.60	0.10	0.80	0.40	67.60	31.10	31.50	25.00	44.00
N°16	1.18	0.40	0.00	0.60	0.30	40.60	18.70	19.00	--	--
N°40	0.43	0.30	0.00	0.50	0.20	24.20	11.10	11.40	--	--
N°80	0.18	0.30	0.00	0.30	0.10	9.80	4.50	4.70	--	--
N°200	0.08	0.20	0.10	0.70	0.20	9.80	4.50	4.70	3.00	8.00

Fuente Elaboración propia

Gráfico N°3.8 Curva granulométrica cerámico, piedra caliza y arena



Fuente Elaboración propia

3.10. NÚMERO DE BRIQUETAS

3.10.1. Porcentaje óptimo de cemento asfáltico

Para encontrar el contenido de asfalto óptimo para el diseño Marshall, asignando para cada diseño al agregado de chancadora Erika S.R.L. - agregado cerámico de descarte-agregado de piedra caliza- combinación de agregado cerámico de descarte y caliza; se consideró realizar 15 briquetas por cada diseño, donde varía el % de cemento asfáltico.

Es decir, serán 75 ensayos Marshall ya que son 4 diseños diferentes donde lo que se cambia es el agregado grueso; manteniendo el agregado fino, y cambiando el porcentaje del diseño que tiene agregado grueso combinado de cerámico-caliza-arena.

Ya teniendo un total de 75 briquetas porque son cinco diseños, se debe realizar la estadística de los valores que presentan estos diseños y así poder asignar un valor ya sea positivo o negativo de la confiabilidad de estos agregados gruesos que son los que cambian en cada diseño Marshall.

Una vez obtenidos los resultados y la confiabilidad de éstos; se debe hacer un análisis de resultados y así dar un comentario de que agregados gruesos en la faja seleccionada se ajustan y que agregados no se ajustan, para esto nos sirve encontrar el contenido de asfalto óptimo y el número de briquetas a realizar por diseño.

3.11. DISEÑO MARSHALL PARA CONTENIDO DE ASFALTO ÓPTIMO

Tabla 3.41 Resumen de diseño Marshall para chancadora Erika

Dosificación		Grava $\frac{3}{4}$	Gravilla $\frac{3}{8}$	Arena
		30%	24%	46%
N ^o Probeta	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Estabilidad (Lb)	Flujo 1/100
1	6.30	4.50	2199.10	8.00
2	6.22		2298.00	8.50
3	6.33		2380.10	9.50
4	6.35	5.00	2516.30	9.50
5	6.39		2515.50	10.60
6	6.35		2639.60	9.80
7	6.29	5.50	2637.90	11.40
8	6.28		2639.50	12.40
9	6.28		2714.90	12.00
10	6.35	6.00	2491.60	12.90
11	6.37		2209.20	14.30
12	6.40		2387.40	13.00
13	6.35	6.50	1899.50	15.50
14	6.47		1651.10	16.00
15	6.29		2055.30	15.20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.42 Resumen diseño Marshall agregado cerámico-arena

Dosificación		Cerámico triturado $\frac{3}{4}$		Arena
		54%		46%
N° probeta	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Estabilidad (Lb)	flujo 1/100
1	7.20	5.50	2072.90	6.50
2	7.10		1967.20	5.50
3	6.98		2041.40	6.80
4	7.10	6.00	2381.40	8.50
5	7.21		2191.40	9.30
6	6.89		2406.40	8.20
7	6.90	6.50	2595.90	10.20
8	6.70		2958.50	11.00
9	6.70		2753.70	10.50
10	6.67	7.00	2707.20	10.60
11	6.68		2814.40	11.30
12	6.88		2520.30	11.00
13	6.92	7.50	2369.60	12.00
14	6.90		2314.70	11.60
15	6.87		2285.90	12.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.43 Resumen diseño Marshall para agregado piedra caliza-arena

Dosificación		Piedra caliza triturado $\frac{3}{4}$		Arena
		54%		46%
N° probeta	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Estabilidad (Lb)	Flujo 1/100
1	6.32	4.50	2238.00	8.60
2	6.25		2406.90	9.20
3	6.30		2224.10	7.90
4	6.41	5.00	2624.30	9.60
5	6.35		2763.00	10.20
6	6.30		2748.90	10.50
7	6.40	5.50	2557.90	10.50
8	6.37		2601.90	11.00
9	6.33		2727.20	12.00
10	6.32	6.00	2436.90	13.20
11	6.45		2164.70	13.00
12	6.40		2338.70	13.50
13	6.41	6.50	1846.80	15.20
14	6.37		1963.70	15.60
15	6.45		1731.80	15.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.44 Resumen diseño Marshall cerámico-piedra caliza-arena (1)

Dosificación		Cerámico $\frac{3}{4}$	Caliza $\frac{3}{4}$	Arena
		30%	24%	46%
N° Probeta	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Estabilidad (Lb)	Flujo 1/100
1	6.52	4.50	2363.60	8.50
2	6.62		2201.60	8.60
3	6.59		2284.60	7.80
4	6.72	5.00	2670.80	9.20
5	6.66		2620.80	9.50
6	6.60		2652.60	9.00
7	6.35	5.50	3009.70	10.50
8	6.45		2790.10	11.00
9	6.68		2722.80	10.40
10	6.75	6.00	2514.30	13.70
11	6.70		2457.80	13.00
12	6.70		2503.30	12.30
13	6.58	6.50	2149.10	16.20
14	6.54		2236.70	15.20
15	6.73		1986.40	15.60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.45 Resumen diseño Marshall cerámico-piedra caliza- arena (2)

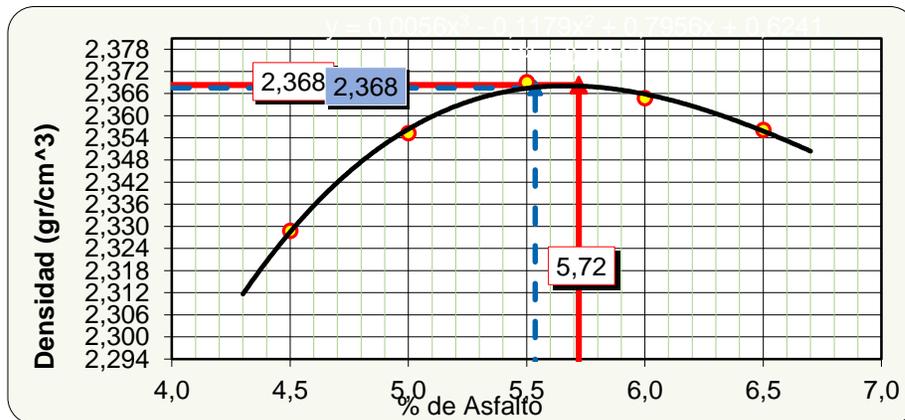
Dosificación		Cerámico $\frac{3}{4}$	Caliza 3/8	Arena Chancada
		10%	44%	46%
Nº Probeta	Altura de probeta (cm)	% de asfalto	Estabilidad (Lb)	Flujo 1/100
1	6.30	4.50	2399.10	8.00
2	6.22		2553.30	7.50
3	6.33		2280.90	7.00
4	6.47	5.00	2680.10	9.20
5	6.59		2587.70	8.70
6	6.35		2664.30	8.70
7	6.47	5.50	2557.10	10.00
8	6.48		2649.30	11.40
9	6.28		2740.10	11.40
10	6.52	6.00	2434.50	13.00
11	6.58		2289.20	12.50
12	6.40		2436.10	12.00
13	6.49	6.50	1785.50	14.00
14	6.44		2290.90	15.20
15	6.29		2055.30	15.60

Fuente: Elaboración Propia

3.12 RESULTADOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.12.1 Convencional (agregado de constructora Erika S. R. L.)

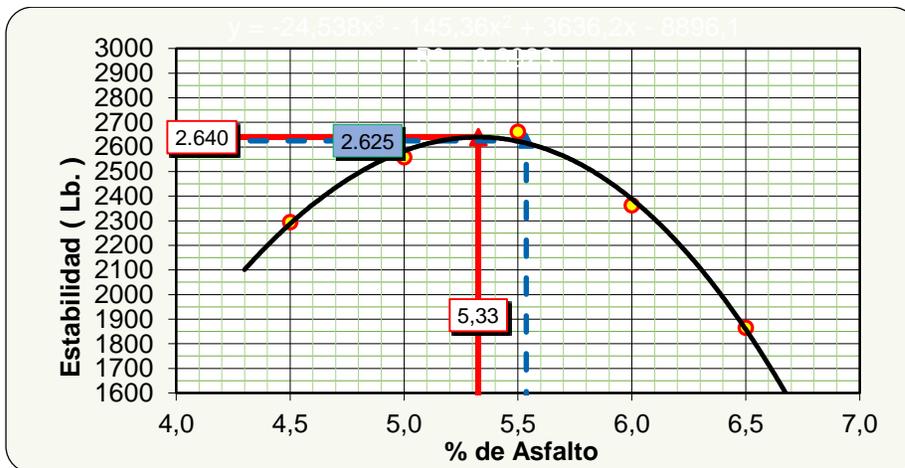
Figura 3.9: Curva densidad vs % de asfalto



Fuente: Elaboración propia

De la figura la densidad es directamente proporcional al % de asfalto, es decir que a mayor % de asfalto, mayor será la densidad.

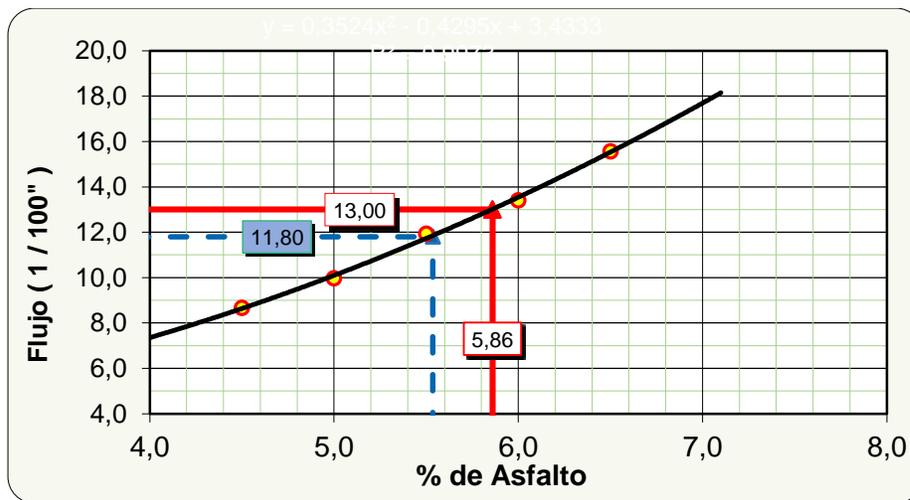
Figura 3.10: Curva estabilidad vs % asfalto



Fuente: Elaboración propia

De la figura la estabilidad crece a medida que el % de asfalto aumenta, es decir que a mayor % de asfalto, mayor será la estabilidad hasta llegar al valor óptimo % de asfalto donde vuelve a decrecer la estabilidad.

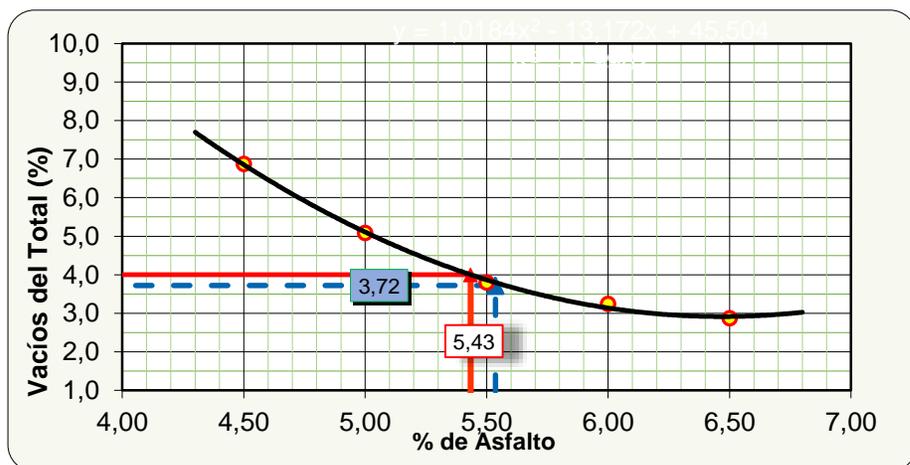
Figura 3.11: Flujo vs % asfalto



Fuente: Elaboración propia

De la figura el flujo (fluencia) es proporcional al % de asfalto, es decir que a mayor % de asfalto, mayor será el flujo.

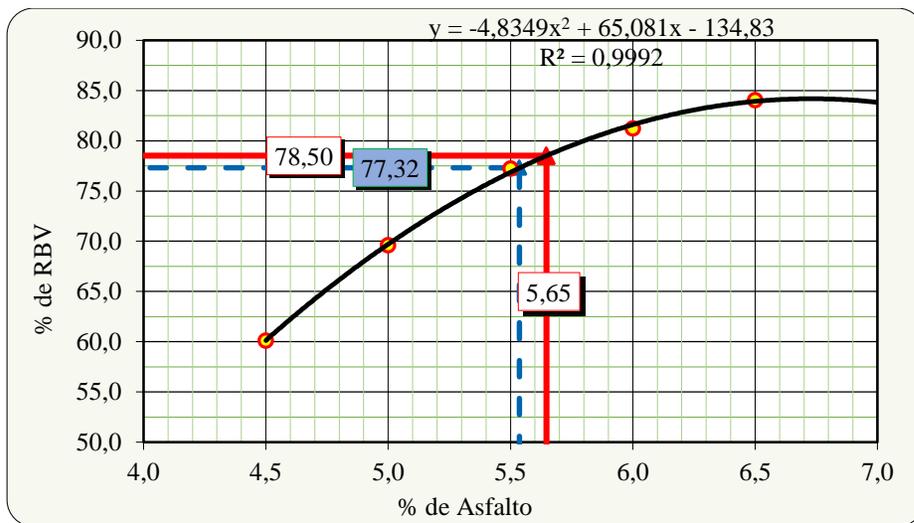
Figura 3.12: Curva de vacíos vs % asfalto



Fuente: Elaboración propia

De la figura se observa que el % de vacíos es inversamente proporcional al % de asfalto, es decir que a mayor % de asfalto, existiría menos vacíos en la carpeta asfáltica.

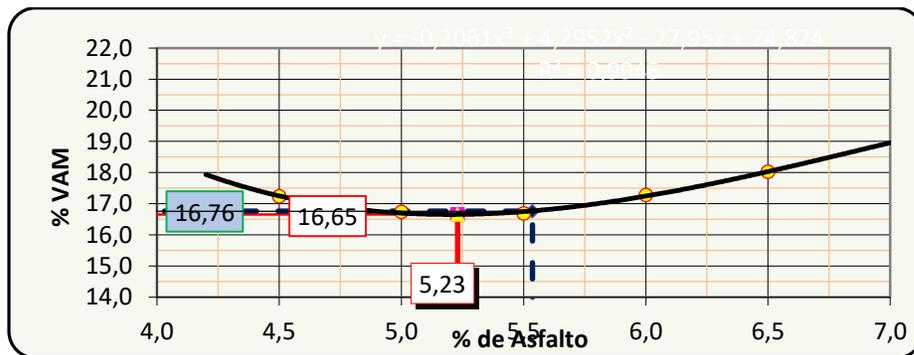
Figura 3.13: Curva (relación betumen- vacíos) vs % asfalto



Fuente: Elaboración propia

De la figura 3.13 Curva (relación betumen vacíos) es directamente proporcional al % de Asfalto, es decir que a mayor % de Asfalto, mayor será el % de RBV.

Figura 3.14: Curva vacíos agregado mineral vs %asfalto

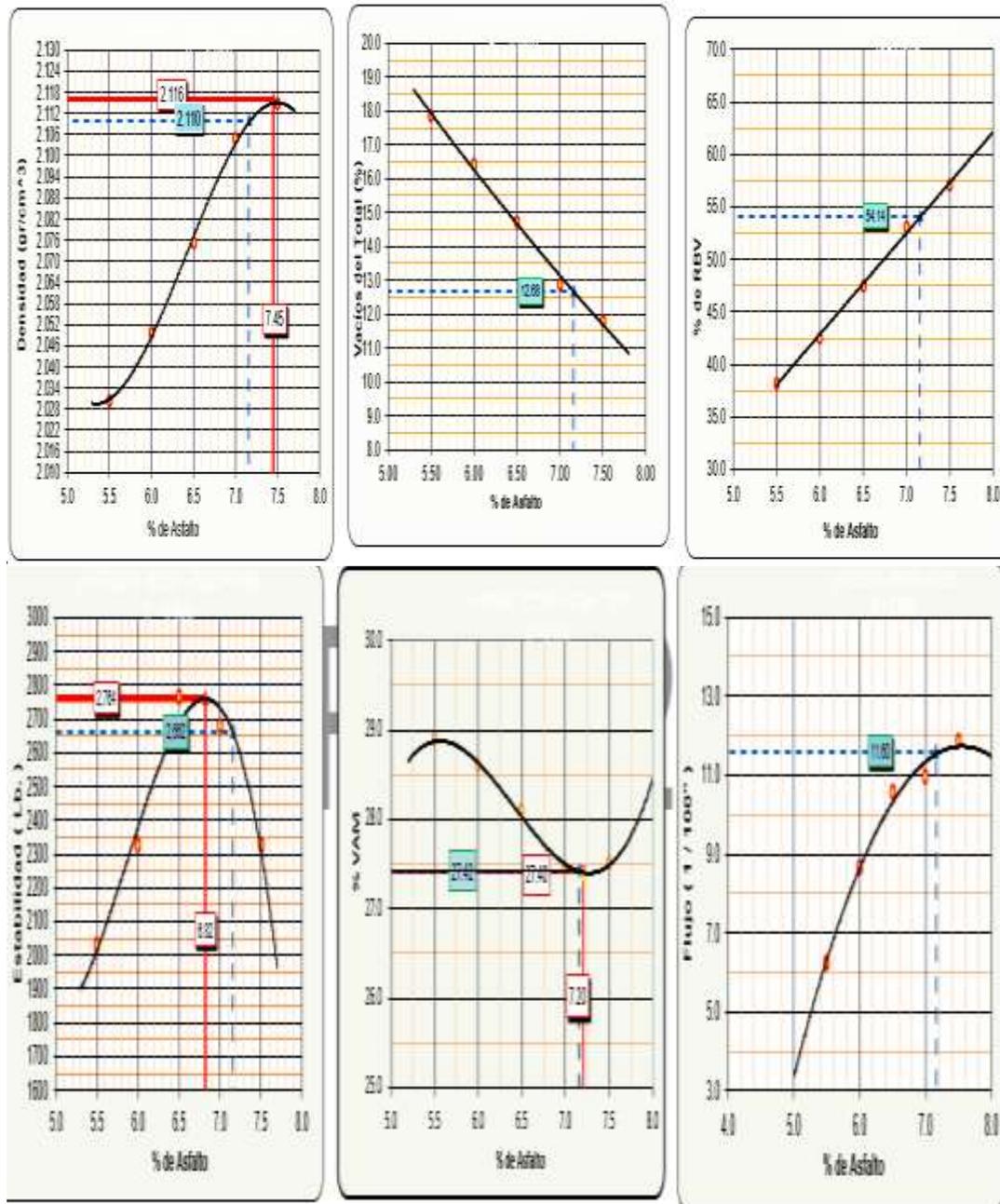


Fuente: Elaboración propia

De la figura los vacíos del agregado mineral generalmente disminuyen hasta un valor mínimo, y luego aumentan con los incrementos de % de asfalto. En este caso el porcentaje óptimo de asfalto expresa un valor intermedio de vacíos de agregado mineral.

3.12.2. Mezcla asfáltica modificada (agregado cerámico de descarte- arena)

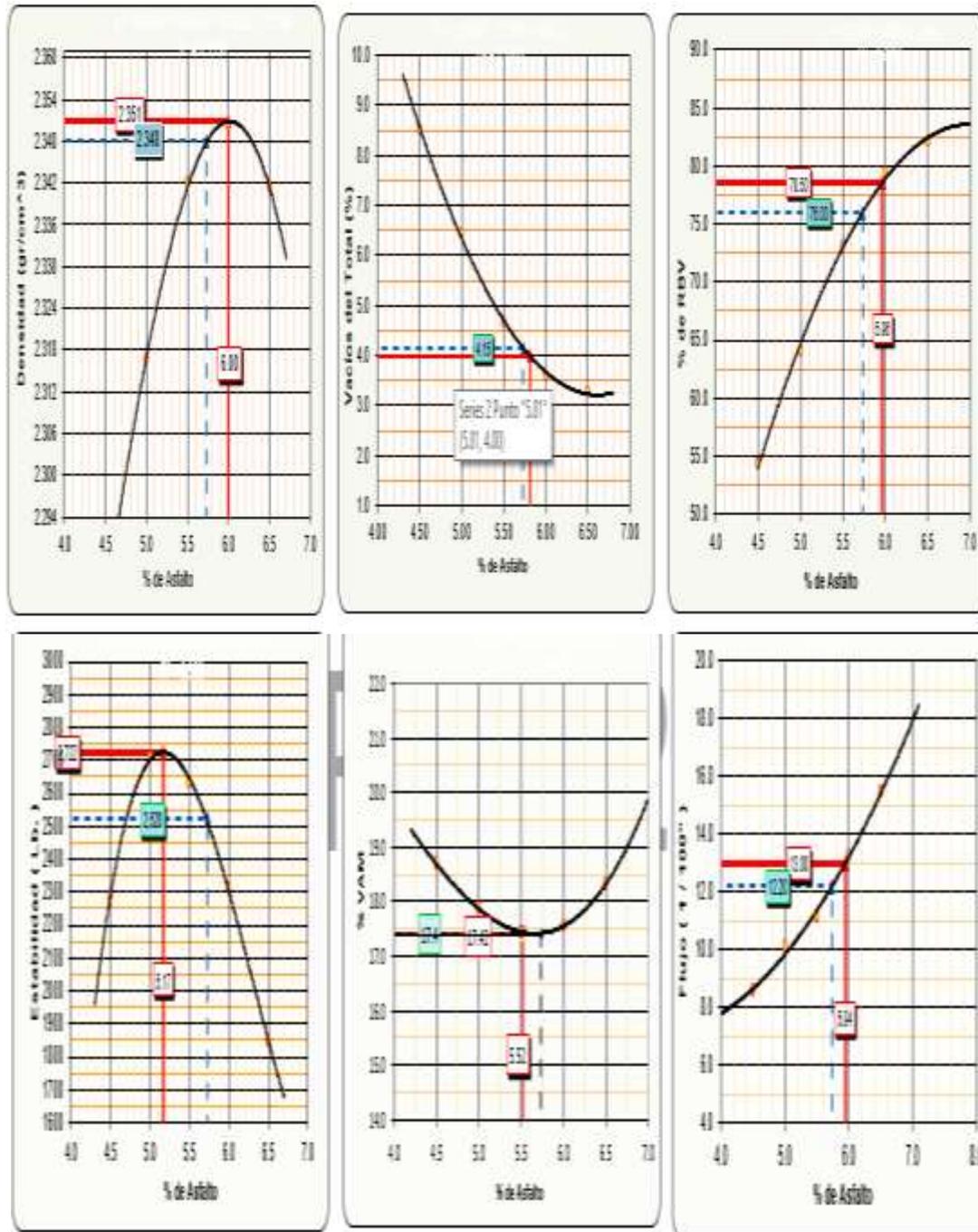
Figura 3.15: Curvas Marshall agregado (cerámico de descarte-arena)



Fuente: Elaboración Propia

3.12.3. Mezcla asfáltica modificada (agregado piedra caliza- arena)

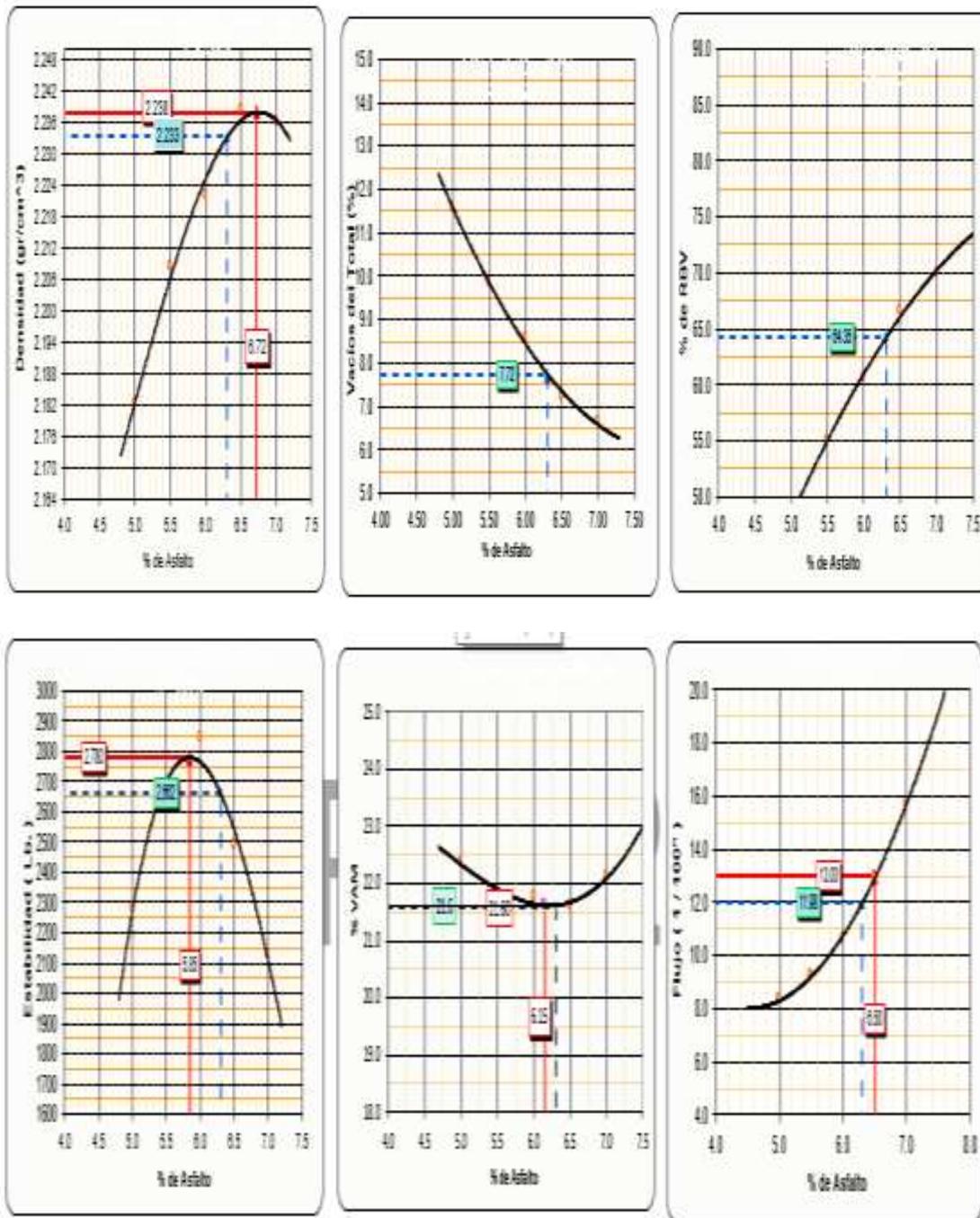
Figura 3.16: Curvas Marshall agregado (piedra caliza-arena)



Fuente: Elaboración propia

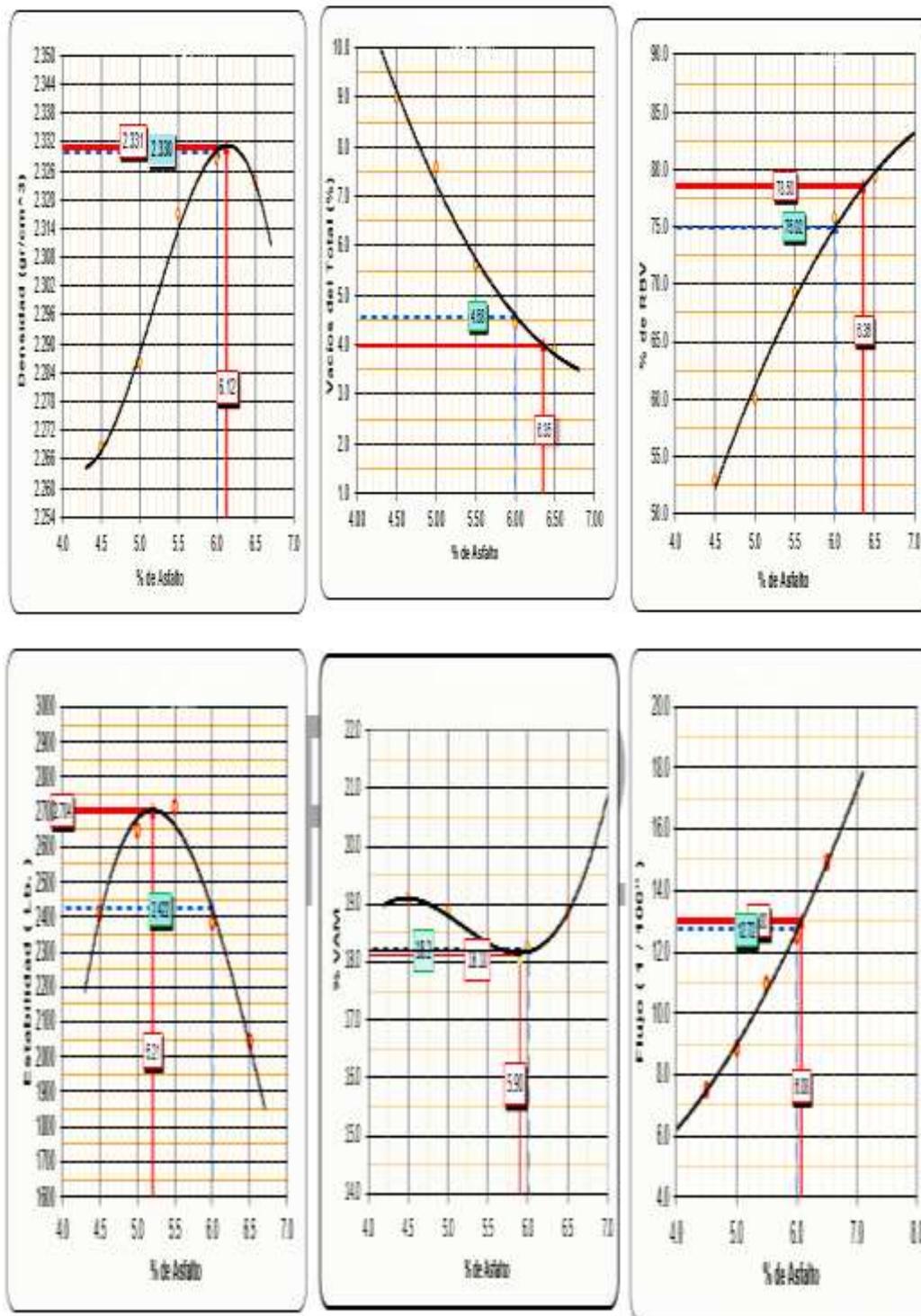
3.12.3 Mezcla asfáltica modificada (cerámico- piedra caliza- arena)

Figura 3.17: Curvas Marshall agregado (cerámico-piedra caliza-arena) (1)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.18: Curvas Marshall agregado (cerámico-piedra caliza-arena) (2)



Fuente: Elaboración propia

3.13. VALORES OBTENIDOS DEL DISEÑO MARSHALL

Una vez obtenido el contenido de asfalto óptimo sacando promedio de los resultados de las gráficas, se obtienen los valores para el diseño Marshall

Figura 3.19. Diseño Marshall- agregado chancadora Erika S.R.L.

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.54	2.36	-----	-----
% Vacíos	5.54	3.72	3.00	5.00
R.B.V.	5.54	77.32	75.00	82.00
V.A.M.	5.54	16.76		
Estabilidad (lb)	5.54	2625.00	> 1800.00 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5.54	11.80	8.00	18.00
% Óptimo de asfalto propuesto			5.54	

Fuente. Elaboración propia

Los valores para el agregado de chancadora Erika S.R.L.; da cumplimiento con las especificaciones técnicas para diseño Marshall.

Figura 3.20. Diseño Marshall- agregado cerámico de descarte-arena

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	7.16	2.11	-----	-----
% Vacíos	7.16	12.68	3.00	5.00
R.B.V.	7.16	54.14	75.00	82.00
V.A.M.	7.16	27.42		
Estabilidad (lb)	7.16	2662.00	> 1800 lb. (75 golpes)	
Fluencia 1/100"	7.16	11.60	8.00	18.00
% Óptimo de asfalto propuesto			7.16	

Fuente: Elaboración Propia

Para el agregado cerámico de descarte- arena; se observa que el material cumple con las propiedades mecánicas, pero no así las propiedades volumétricas y esto puede tener ciertas complicaciones para emplearlo en pavimentos.

Figura 3.21 Diseño Marshall- agregado piedra caliza-arena

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.73	2.34	-----	-----
% Vacíos	5.73	4.15	3.00	5.00
R.B.V.	5.73	76.00	75.00	82.00
V.A.M.	5.73	17.40		
Estabilidad (lb)	5.73	2520.00	> 1800.00 lb. (75 golpes)	
Fluencia 1/100"	5.73	12.20	8.00	18.00
% Óptimo de asfalto propuesto			5.73	

Fuente: Elaboración propia

Empleando el agregado de piedra caliza- arena de chancadora Erika S.R.L.; se demuestra que cumple con las especificaciones técnicas y se lo puede considerar para emplearlo en pavimentos como agregado grueso.

Figura 3.22. Diseño Marshall- agregado cerámico-caliza-arena (1)

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	6.30	2.233	-----	-----
% Vacíos	6.30	7.72	3.00	5.00
R.B.V.	6.30	64.35	75.00	82.00
V.A.M	6.30	21.60		
Estabilidad (lb)	6.30	2662.00	> 1800.00 lb. (75 golpes)	
Fluencia 1/100"	6.30	11.98	8.00	18.00
% Óptimo de asfalto propuesto			6.30	

Fuente: Elaboración Propia

Realizando la combinación de agregados entre cerámico de descarte-caliza-arena de chancadora Erika S.R.L.; en este caso se emplea mayor porcentaje de agregado cerámico y se observa que esto hace que no cumpla con las especificaciones técnicas de las propiedades volumétricas, pero si da cumplimiento con las propiedades mecánicas.

Figura 3.23. Diseño Marshall- agregado cerámico-caliza-arena (2)

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	6.00	2.33	-----	-----
% Vacíos	6.00	4.58	3.00	5.00
R.B.V.	6.00	75.02	75.00	82.00
V.A.M	6.00	18.20		
Estabilidad (lb)	6.00	2422.00	> 1800 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	6.00	12.72	8.00	18.00
% Óptimo de asfalto propuesto			6.00	

Fuente: Elaboración propia

Para este diseño se empleó más porcentaje de agregado grueso de piedra caliza y menor porcentaje de material cerámico de descarte y es de notar que cumple con las especificaciones técnicas, pero esto porque es mínimo porcentaje de material cerámico a la vez se nota que afecta de cierta manera emplear agregado cerámico material.

3.13.1. Análisis de resultados para contenido óptimo de cemento asfalto

Tabla 3.46 Resumen diseño Marshall con % asfalto variado

Agregados	%Asfalto	Erika			Cerámico		Caliza		Cerámico-caliza. (1)			Cerámico-Caliza (2)		
		30	24	46	54	46	54	46	30	24	46	10	44	46
Estabilidad Lb	4.50	2293.70			-----		2289.20		-----			2410.90		
Fluencia 1/100 plg		8.67			-----		8.57		-----			7.50		
Estabilidad Lb	5.00	2557.90			-----		2710.90		2284.10			2645.70		
Fluencia 1/100 plg		9.97			-----		10.10		8.30			8.87		
Estabilidad Lb	5.50	2662.00			2028.70		2629.10		2648.90			2716.20		
Fluencia 1/100 plg		11.93			6.27		11.17		9.23			10.93		
Estabilidad Lb	6.00	2362.20			2326.30		2312.00		2841.70			2386.10		
Fluencia 1/100 plg		13.40			8.67		13.23		10.63			12.50		
Estabilidad Lb	6.50	1865.50			2767.10		1846.80		2491.10			2043.20		
Fluencia 1/100 plg		15.57			10.57		15.43		13.00			14.93		
Estabilidad Lb	7.00	-----			2680.30		-----		2123.40			-----		
Fluencia 1/100 plg		-----			10.97		-----		15.67			-----		
Estabilidad Lb	7.50	-----			2324.80		-----		-----			-----		
Fluencia 1/100 plg		-----			11.87		-----		-----			-----		

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar del cuadro 3.46 los resultados que presenta cada diseño y se puede apreciar que todos los diseños entran en los rangos establecidos presentados por la norma AASHTO; por otro lado, notar los porcentajes de asfalto varían de acuerdo al

tipo de agregado y al recubrimiento del mismo tienden a estar sobre el 5.5% de cemento asfáltico, el diseño con agregado cerámico con una variación de aproximadamente 1% y haciendo una comparación se puede descartar ese diseño ya que tiene necesidad de cemento asfáltico y el presente trabajo relaciona y compara resultados; se puede decir que tiene resultados buenos pero exceso de asfalto en relación a los otros diseños realizados.

3.14. APLICACIÓN ESTADÍSTICA PROGRAMA STATGRAPHICS

3.14.1. Estadística Descriptiva

Figura 3.24 Estabilidad - agregado chancadora Erika resultados

SnapStat: Análisis de muestra

Datos/Variable: Estabilidad

Recuento= 30,00

Promedio= 2623.20

Desviación estándar=49.98

Coefficiente de variación=1.90%

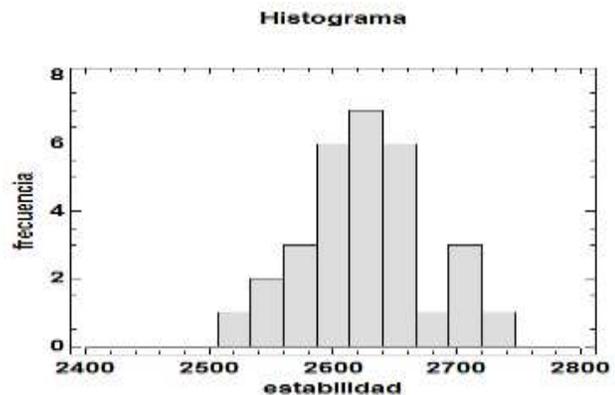
Mínimo=2509.20

Máximo=2728.20

Rango=219.00

Intervalos de confianza del 95%

Media: 2623.28 +/- 18.66 (2176.25, 2641.95)



Programa statgraphics: Elaboración propia

La estabilidad para el agregado de chancadora Erika S.R.L. se encuentra dentro del rango de lo que es un tráfico pesado; se ajusta a lo establecido en el trabajo; es decir mayor a 1800lb.

Prueba de hipótesis para estabilidad

Media muestral = 2623.28

Mediana muestral = 2620.8

Prueba-t

Hipótesis nula: Media = 2623.28

Alternativa: No igual

Estadístico t = 0.00

Valor-P = 1.00

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de estabilidad. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de estabilidad es igual a 2623.28 versus la hipótesis alterna de que la media de estabilidad es no igual a 2623.28. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95.00% de confianza.

Figura 3.25. Fluencia - agregado chancadora Erika resultados

SnapStat: Análisis de muestra

Datos/Variable: Fluencia

Recuento=30.00

Promedio= 11.79

Desviación estándar= 1.47

Coefficiente de variación=12.47%

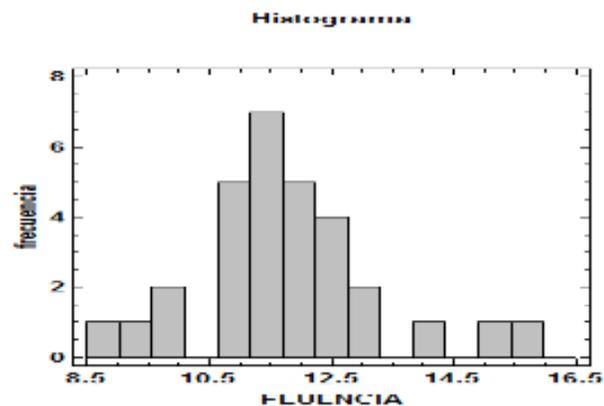
Mínimo=8.90

Máximo=15.60

Rango=6.70

Intervalos de confianza del 95%

Media: 11.79 +/- 0.55 (11.24, 13.34)



Programa statgraphics: Elaboración propia

La fluencia del agregado de chancadora Erika S.R.L. se ajusta a los valores que indica la norma es decir el resultado está dentro de (8" - 18") ; se ajusta de buena manera.

Prueba de hipótesis para fluencia

Media muestral = 11.79

Mediana muestral = 11.55

Prueba-t

Hipótesis nula: Media = 11.79

Alternativa: No igual

Estadístico t = -1.20exp-4

Valor-P = 0.99

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de fluencia. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de fluencia es igual a 11.79 versus la hipótesis alterna de que la media de fluencia es no igual a 11.79. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95.00% de confianza.

Figura 3.26 Estabilidad - agregado cerámico de descarte- arena

SnapStat: Análisis de muestra

Datos/Variable: Estabilidad

Recuento=30.00

Promedio= 2593.83

Desviación estándar=71.89

Coefficiente de variación=2.77%

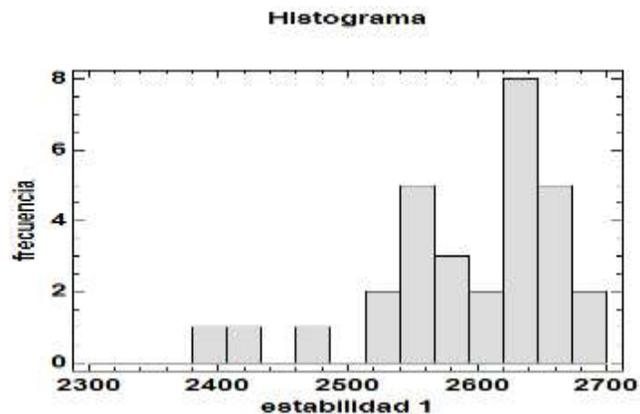
Mínimo=2405.50

Máximo=2685.40

Rango=279.90

Intervalos de confianza del 95%

Media: 2593.83 +/-26.84 (2566.99, 2620.68)



Programa statgraphics: Elaboración propia

El agregado cerámico de descarte- arena; con el programa statgraphics demuestra que se lo puede considerar como de mejor manera que el diseño de chancadora Erika S.R.L.; pero se debe mencionar que estos resultados, si se los puede considerar aceptable, pero a costo de aumento de cemento asfáltico; y a costo de que no cumpla las especificaciones en las propiedades volumétricas.

Prueba de hipótesis para estabilidad 1

Media muestral = 2593.83

Mediana muestral = 2622.40

Prueba-t

Hipótesis Nula: Media = 2593.83

Alternativa: No igual

Estadístico t = 2.50exp -4

Valor-P = 0.99

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de estabilidad 1. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de estabilidad 1 es igual a 2593.83 versus la hipótesis alterna de que la media de estabilidad 1 es no igual a 2593.83. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95.0% de confianza.

Figura 3.27 Fluencia - agregado cerámico de descarte- arena

SnapStat: Análisis de muestra

Datos/Variable: Fluencia

Recuento=30.00

Promedio= 11.47

Desviación estándar= 0.32

Coefficiente de variación=2.75%

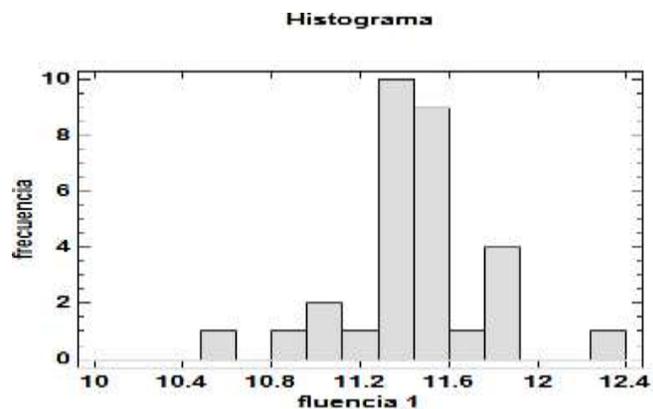
Mínimo=10.60

Máximo=12.30

Rango=1.70

Intervalos de confianza del 95%

Media: 11.46 +/- 0.11 (11.35, 11.58)



Programa statgraphics: Elaboración propia

Para el agregado cerámico de descarte se puede apreciar por el histograma que la fluencia no se reduce; a menos que se reduzca el porcentaje de asfalto, pero a la vez esto afecta al diseño mismo; la fluencia cumple por especificaciones técnicas.

Prueba de hipótesis para fluencia 1

Media muestral = 11.47

Mediana muestral = 11.45

Prueba-t

Hipótesis Nula: Media = 11.46

Alternativa: No igual

Estadístico t = -5.77exp-4

Valor-P = 0.99

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de fluencia 1. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de fluencia 1 es igual a 11.47 versus la hipótesis alterna de que la media de fluencia 1 es no igual a 11.47. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95.0% de confianza.

Figura 3.28 Estabilidad - agregado piedra caliza-arena

SnapStat: Análisis de muestra

Datos/Variable: Estabilidad

Recuento=30.00

Promedio= 2520.80

Desviación estándar=47.27

Coefficiente de variación=1.87%

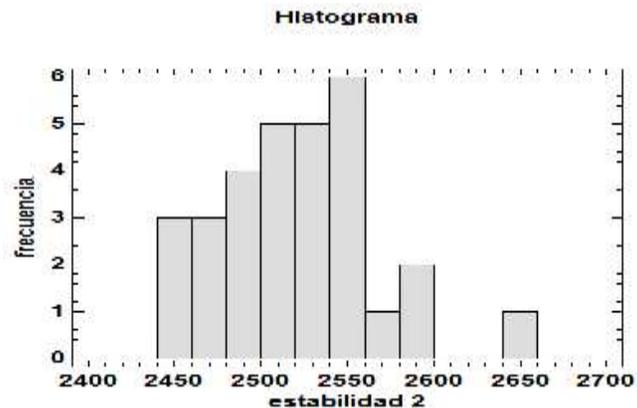
Mínimo=2443.20

Máximo=2647.70

Rango=204.50

Intervalos de confianza del 95%

Media: 2520.80 +/- 17.65 (2503.15, 2538.45)



Programa statgraphics: Elaboración propia

El agregado piedra caliza - arena; con el programa statgraphics demuestra que se ajusta a una confiabilidad del 95% y representa a ese porcentaje un valor muy semejante al que presenta el resultado de chancadora Erika S.R.L.; presenta buena estabilidad en relación a lo que indican especificaciones técnicas.

Prueba de hipótesis para estabilidad 2

Media muestral = 2520.80

Mediana muestral = 2521.30

Prueba-t

Hipótesis nula: Media = 2520.80

Alternativa: No igual

Estadístico t = 0.0

Valor-P = 1.00

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de estabilidad 2. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de estabilidad 2 es igual a 2520.80 versus la hipótesis alterna de que la media de estabilidad 2 es no igual a 2520.80. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95.0% de confianza.

Figura 3.29 Fluencia - agregado piedra caliza-arena

SnapStat: Análisis de muestra

Datos/Variable: Fluencia

Recuento=30.00

Promedio= 12.23

Desviación estándar= 0.43

Coefficiente de variación=3.55%

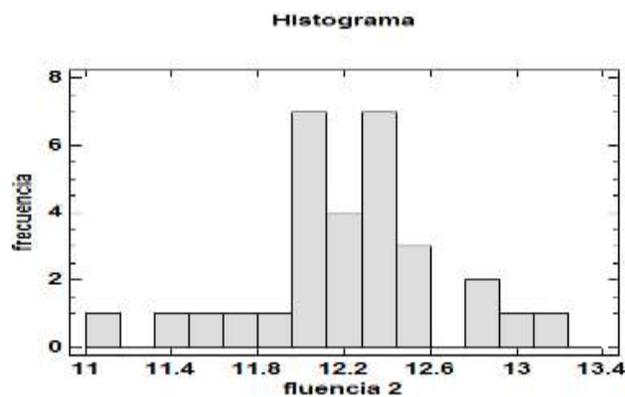
Mínimo=11.10

Máximo=13.10

Rango=2.00

Intervalos de confianza del 95%

Media: 12.23 +/- 0.16 (12.06, 12.39)



Programa statgraphics: Elaboración propia

La fluencia para el agregado de caliza y arena se mantiene dentro de las especificaciones técnicas.

Prueba de hipótesis para fluencia 2

Media muestral = 12.23

Mediana muestral = 12.20

Prueba- t

Hipótesis nula: Media = 12.23

Alternativa: No igual

Estadístico t = 00

Valor-P = 1.00

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de fluencia 2. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de fluencia 2 es igual a 12.23 versus la hipótesis alterna de que la media de fluencia 2 es no igual a 12.23. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95.0% de confianza.

Figura 3.30 Estabilidad - agregado cerámico-caliza-arena (1)

SnapStat: Análisis de muestra

Datos/Variable: Estabilidad

Recuento=30.00

Promedio= 2490.18

Desviación estándar=44.53

Coefficiente de variación=1.78%

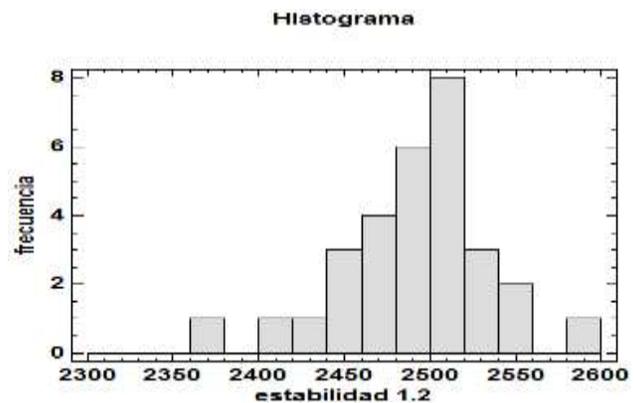
Mínimo=2370.10

Máximo=2587.70

Rango=217.60

Intervalos de confianza del 95%

Media: 2490.18 +/- 16.63 (2473.55, 2506.81)



Programa statgraphics: Elaboración propia

La estabilidad para la combinación entre agregado cerámico- piedra caliza- arena se ajusta ya que los internarlos para una confiabilidad del 95% se ajusta de buena manera; esta combinación da como resultado que está dentro del rango establecido para tráfico mediano con un valor mayor a las 18000Lb.

Prueba de hipótesis para estabilidad 1.2

Media Muestral = 2490.18

Mediana Muestral = 2488.50

Prueba-t

Hipótesis nula: Media = 2490.18

Alternativa: No igual

Estadístico t = 4.09×10^{-4}

Valor-P = 0.99

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de estabilidad 1.2. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de estabilidad 1.2 es igual a 2490.18 versus la hipótesis alterna de que la media de estabilidad 1.2 es no igual a 2490.18. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95.0% de confianza.

Figura 3.31 Fluencia - agregado cerámico-caliza-arena (1)

SnapStat: Análisis de muestra

Datos/Variable: Fluencia

Recuento=30.00

Promedio= 11.51

Desviación estándar= 0.34

Coefficiente de variación=3.02%

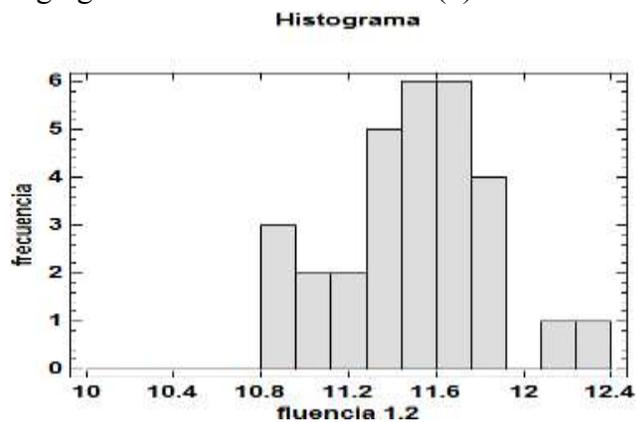
Mínimo=10.90

Máximo=12.30

Rango=1.40

Intervalos de confianza del 95%

Media: 11.51 +/- 0.13 (11.36, 11.64)



Programa statgraphics: Elaboración propia

La fluencia para esta combinación de agregados pétreos, se encuentra dentro de las especificaciones técnicas y es posible considerarlo para el uso en pavimentos.

Prueba de hipótesis para fluencia 1.2

Media muestral = 11.51

Mediana muestral = 11.60

Prueba-t

Hipótesis nula: Media = 11.51

Alternativa: No igual

Estadístico t = 0.00

Valor-P = 1.00

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de fluencia 1.2. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de fluencia 1.2 es igual a 11.51 versus la hipótesis alterna de que la media de fluencia 1.2 es no igual a 11.51. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95.0% de confianza.

Figura 3.32 Estabilidad - agregado cerámico-caliza-arena (2)

SnapStat: Análisis de muestra

Datos/Variable: Estabilidad

Recuento=30.00

Promedio= 2520.80

Desviación estándar=47.27

Coefficiente de variación=1.85%

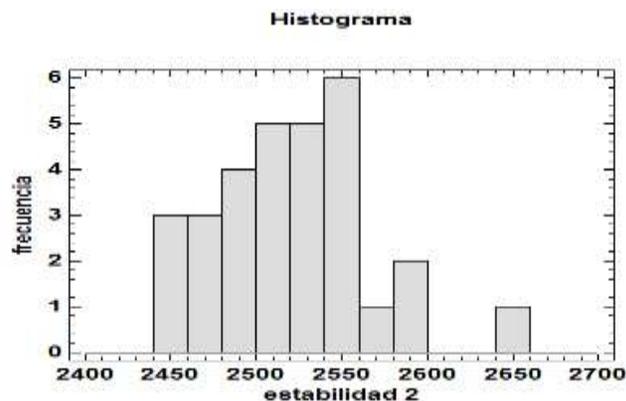
Mínimo=2443.20

Máximo=2647.70

Rango=204.50

Intervalos de confianza del 95%

Media: 2520.80 +/- 17.65 (2503.15, 2538.45)



Programa statgraphics: Elaboración propia

La estabilidad para la combinación entre agregado cerámico- piedra caliza- Arena se ajusta ya que los internarlos para una confiabilidad del 95% se ajusta de buena manera; esta combinación da como resultado que está dentro del rango establecido para tráfico pesado con un valor mayor a las 18000Lb.

Prueba de hipótesis para estabilidad 2

Media Muestral = 2520.80

Mediana Muestral = 2521.30

Prueba-t

Hipótesis nula: Media = 2520.80

Alternativa: No igual

Estadístico t = 0.00

Valor-P = 1.00

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de estabilidad 2. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de estabilidad 2 es igual a 2520.80 versus la hipótesis alterna de que la media de estabilidad 2 es no igual a 2520.80. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95.0% de confianza.

Figura 3.33 Fluencia - agregado cerámico-caliza-arena

SnapStat: Análisis de muestra

Datos/Variable: Fluencia

Recuento=30.00

Promedio= 12.45

Desviación estándar= 1.02

Coefficiente de variación=8.22%

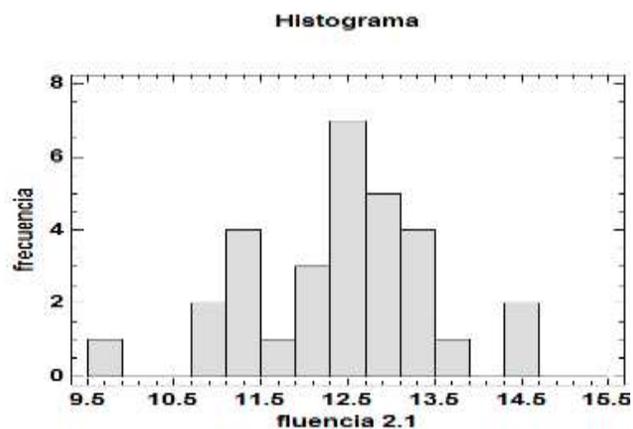
Mínimo=9.80

Máximo=14.50

Rango=4.70

Intervalos de confianza del 95%

Media: 12.45 +/- 0.38 (12.07, 12.83)



Programa statgraphics: Elaboración propia

La fluencia para esta combinación de agregados pétreos, se encuentra dentro de las especificaciones técnicas y es posible considerarlo para el uso en pavimentos.

Prueba de hipótesis para fluencia 2.1

Media muestral = 12.45

Mediana muestral = 12.45

Prueba-t

Hipótesis nula: Media = 12.45

Alternativa: No igual

Estadístico t = 1.78exp-4

Valor-P = 0.99

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de fluencia 2.1. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de fluencia 2.1 es igual a 12.45 versus la hipótesis alterna de que la media de fluencia 2.1 es no igual a 12.45. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95.0% de confianza.

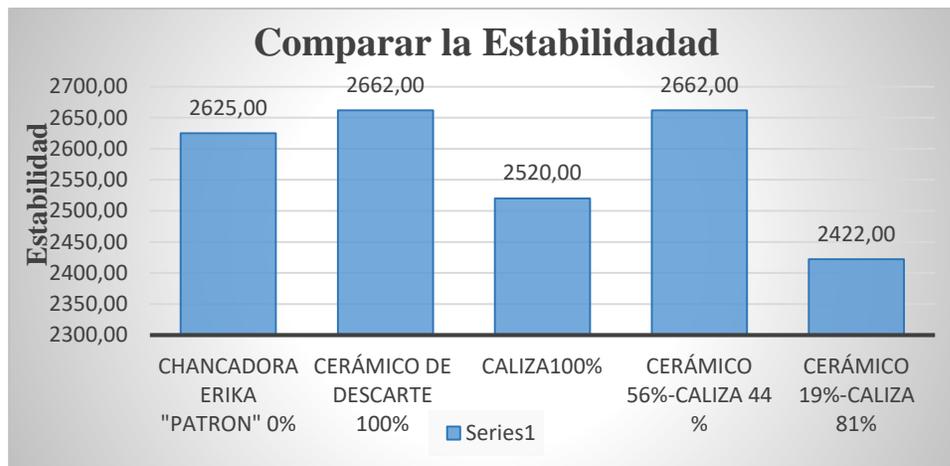
3.14.2. Statgraphics validación de resultados

Con el software statgraphics se puede validar los resultados en un 95% de confiabilidad con la prueba de hipótesis, esta prueba consiste en colocar el valor promedio de los datos analizados por cada variable, y luego seleccionar la hipótesis alternativa, el software ofrece 3 hipótesis alternativas (diferente de -mayor que -menor que); así mismo ofrece diferentes pruebas de hipótesis (prueba t, prueba de los signos y prueba de rangos con signos).

Una vez definido todo lo mencionado anteriormente se puede indicar que para validar la confiabilidad de resultados de cada variable (estabilidad y fluencia), de los diseños del presente trabajo, se seleccionó la alternativa de hipótesis “diferente de” el (valor promedio), ya que se requiere saber los puntos alejados de este dato promedio pueden tener o no cierta confiabilidad en los resultados; al realizar la prueba de hipótesis de cada variable seleccionando la prueba-t , se puede decir que los resultados cumplen en un 95% de confiabilidad; esto quiere decir que los resultados para los diseños Marshall son confiables.

3.14.3. Comparación de resultados propiedades mecánicas

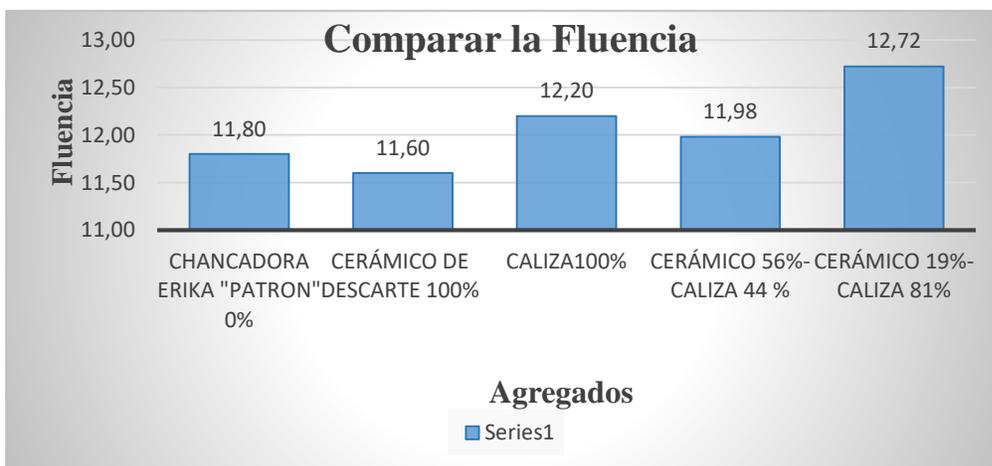
Figura 3.34. Relación estabilidad- agregados, contenido óptimo de asfalto



Fuente. Elaboración propia

Resumen de asfalto óptimo para los diseños Marshall, empleando diferentes agregados gruesos y tomando los resultados del diseño de chancadora Erika como patrón se puede apreciar de manera clara que por cada diseño se da cumplimiento a la estabilidad empleando diferentes agregados gruesos; y quienes están por encima del diseño de agregado patrón (agregados de chancadora Erika S.R.L.) es el agregado cerámico.

Figura 3.35. Relación fluencia- agregados, contenido óptimo de asfalto



Fuente: Elaboración propia

En relación de la fluencia y tomando en cuenta al agregado de chancadora Erika S.R.L., como dato patrón se puede apreciar de manera clara que empleando para el diseño Cerámico de descarte-arena tiene menor valor que los otros diseños y que quien mejor tiene un valor es la piedra caliza; también se aprecia que usando un menor o mayor porcentaje de agregado de piedra caliza aumenta su fluencia.

3.15. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Analizando cada uno de los diseños Marshall se observa que los resultados están cumpliendo las especificaciones técnicas y que los diseños se pueden tomar como opción en lugares donde no se tenga banco de agregados (grava y gravilla).

Realizando una comparación de resultados con el diseño patrón es decir agregado convencional (grava, gravilla y arena de chancadora Erika S.R.L.), con los diseños de cerámico de descarte y piedra caliza; se observa en tabla 3.47 de resumen de resultados para el diseño Marshall, se tiene resultados muy semejantes es decir parecidos y todos los agregados se pueden tomar como reemplazo del agregado convencional.

Tabla 3.47: Resumen resultados diseños Marshall

Agregados	% de asfalto	Estabilidad (Lb)	Fluencia (1/100) plg	% Vacíos	%RBV	%VAM
Chancadora Erika	5.54	2625.00	11.80	3.72	77.32	16.76
Cerámico de descarte-arena	7.16	2662.00	11.60	12.68	54.14	27.42
Caliza-Arena	5.73	2520.00	12.20	4.15	76.00	17.40
Cerámico-Caliza- Arena	6.30	2662.00	11.98	7.72	64.35	21.60
Cerámico-caliza-arena	6.00	2422.00	12.72	4.58	75.02	18.20
Especificaciones	-----	>1800.00 lb	8.00-18.00	3.00-5.00	75.00-82.00	-----

Fuente: Elaboración propia

Para hacer una comparación y realizar un análisis, si se puede optar por los agregados estudiados en el presente trabajo, se debe considerar que todos los diseños Marshall estén bajo el mismo criterio; es decir que todos cumplan las mismas especificaciones técnicas y así se podrá decir si es o no bueno el agregado para un determinado diseño.

En referencia a la tabla presentada en la tabla 3.47 se puede comentar que los agregados empleados para hacer diferentes diseños Marshall, son estables para un tráfico pesado ya que todos los resultados tienen estabilidad mayor a las 1800lb.

En referencia al agregado cerámico de descarte como un diseño Marshall se observa que cumple con las especificaciones técnicas, pero no se lo recomienda debido a que su peso específico es bajo entonces esto provoca un mayor porcentaje de vacíos en la mezcla y por esta razón ya en un pavimento presentaría grandes daños y deterioros y sería una mala idea considerarlo en gran magnitud.

3.16. PRESUPUESTO

Un presupuesto es considerado una suposición de valor de un producto para condiciones definidas y en un tiempo determinado.

Además, un presupuesto nos permite llevar un control de gastos, el seguimiento de gastos reales en los materiales, mano de obra y equipo.

Este análisis de precios unitarios se encuentra en anexo A-9.

3.16.1. Análisis de costos, mezcla convencional vs mezclas modificadas.

Para comparar los precios por m³ para cada diseño se tiene los siguientes costos.

- Mezcla asfáltica convencional= 11835 bs
- Mezcla asfáltica cerámico de descarte=13642 bs
- Mezcla asfáltica piedra caliza=12989 bs
- Mezcla asfáltica cerámico de descarte (30%) piedra caliza (24%) =13459 bs
- Mezcla asfáltica cerámico de descarte (10) piedra caliza (44) = 13294 bs

Nota: Los resultados de los precios se encuentran en el Anexo A-9

En relación a lo que es una mezcla asfáltica convencional y comparando por los diseños empleando agregado grueso en un 100% se puede decir que presenta menor costos el diseño de piedra caliza; este presenta resultados buenos en referencia a las propiedades mecánicas y muy similar en resultados al diseño convencional, a su vez es un material con buenas propiedades químicas y es confiable su resultado.

CAPÍTULO IV

4.1. CONCLUSIONES

- Para dar una conclusión en relación con el objetivo general se puede mencionar que los resultados presentados por los diseños Marshall en estabilidad y fluencia para todos los agregados son resultados aceptables; a su vez cabe mencionar que el diseño Marshall con agregado grueso material cerámico de descarte presenta resultados favorables; pero tiene una gran desventaja en relación a los demás agregados, tiene un peso específico bajo y por esta razón genera mayor porcentaje de vacíos en la mezcla y esto para emplearlo en pavimento afectaría de gran manera debido a que puede filtrar agua en las capas inferiores.

Agregados	Estabilidad (Lb)	Fluencia (1/100) plg
Chancadora Erika	2625	11.80
Cerámico de descarte-arena	2662	11.60
Caliza-Arena	2520	12.20
Cerámico-caliza-Arena	2662	11.98
Cerámico-caliza-arena	2422	12.72
Especificaciones	>1800 lb	8-18

- Se pudo comprender el método para la dosificación y contenido de asfalto óptimo en los diseños Marshall, así también se menciona que las propiedades mecánicas es decir estabilidad y fluencia son características importantes en la mezcla asfáltica, pero también se debe tomar a consideración las propiedades volumétricas esto para garantizar de una mejor manera los resultados de los diseños Marshall.
- De acuerdo a los resultados en la caracterización del agregado pétreo y cemento asfáltico CA 85-100, se puede decir que los resultados están cumpliendo lo especificado por la norma AASHTO T245 y no se tuvo problemas en laboratorio.

- La variación de los porcentajes de agregados que se tiene en la granulometría se debe realizar con sumo cuidado debido a que los resultados deben estar dentro de la faja seleccionada para poder realizar diseños Marshall con resultados óptimos.
- Los resultados de los diseños Marshall son buenos y éstos pueden ser considerados para un tráfico pesado, pero se debe tener en cuenta que no por tener buenos resultados en cuanto a las propiedades mecánicas quiera decir que es un diseño bueno, ya que interfiere como en el caso del agregado cerámico el porcentaje de vacíos que no exceda lo teórico porque puede dañar a las capas inferiores por infiltración de agua a la hora de tener un pavimento con esas características.
- El efecto del agua en la piedra caliza, es a considerar ya que la caliza sometida en agua potable y modificada en su pH demostró su comportamiento como un material con efecto estabilizador en el tiempo de estar sometido a este proceso.
- Haciendo relación de los resultados que presentan cada uno de los diseños empleados en el presente trabajo, se puede decir que los materiales que fueron modificados para el diseño Marshall pueden ser utilizados, pero haciendo ciertas consideraciones que se presentan en los resultados de cada diseño.

4.2 RECOMENDACIONES

- Considerar en los niveles inferiores de la carrera, estudios más a detalle de los agregados, ya que pueden surgir resultados provechosos y estos poder tomarlos para en cuenta en diferentes aplicaciones en lo referente a trabajos viales.
- Trabajar con mezcla asfáltica a temperaturas altas, se recomienda usar el equipo necesario de seguridad para su manipuleo: guantes de cuero o lona, gafas de seguridad, ropa adecuada de preferencia un overol y mascarillas (tipo barbijo) para evitar la inhalación de gases u otras sustancias; es decir aplicar lo que corresponde a la seguridad industrial.
- Tomar en cuenta el cuidado de los equipos para realizar el diseño Marshall, ya que puede alterar resultados por tener defecto en los equipos.