

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

Las vías de comunicación en una región resulta el eje fundamental de su desarrollo y bienestar. El desarrollo económico y social de las comunidades ha estado estrechamente ligado al mejoramiento de los sistemas de transporte, las comunidades crecen en lo cultural, en lo social y en lo económico en la medida de que existen posibilidades de comunicarse y trasladarse.

El proyecto expone la combinación entre el estudio experimental y el estudio teórico, llegando a establecer un sistema de diseño aplicable a obras de infraestructura vial combinando con diferentes de tipos de arena, analizando las distintas soluciones para los problemas de estabilidad en ellas, con la ayuda de la prueba de Marshall y los respectivos ensayos a los materiales que componen la mezcla.

Las mezclas arena asfalto están conformadas por material de fragmentos sueltos de roca o mineral de pequeño tamaño con criterios granulométricos y cemento asfáltico que este material resulta de la destilación natural de los crudos pesados que se encuentran a diferentes profundidades. Estas mezclas se han empleado para la fabricación de mezclas en frío o en caliente

El desarrollo de cualquier comunidad, población o país depende en gran medida de las vías de comunicación terrestre por eso debemos contar con este tipo de infraestructura adecuada y acorde que permitan el desarrollo de la región.

Bajo estas consideraciones, siguiendo las normativas correspondientes, se pretende realizar un estudio de caracterización del material arena-asfalto, con el fin de reconocer las aplicaciones más apropiadas para su empleo en proyectos de infraestructura vial.

1.2. Justificación

La actividad económica mundial y la necesidad de ocupar mejores lugares estratégicos a escala comercial, obligan a países en desarrollo, a reducir los costos de producción en infraestructura, para dar una mayor cobertura a la inversión de los recursos del estado. En este sentido, las carreteras, ocupan un lugar de preponderancia en este tipo de inversiones, de esta forma nace la necesidad de implementar procesos y materiales más eficientes y menos costosos con los cuales las regiones más apartadas tengan la oportunidad de acceder a corredores viales pavimentados con los cuales sus costos de producción se reduzcan y sus productos sean competitivos en los diferentes mercados.

En la actualidad las vías de comunicación permiten la integración de los pueblos y son una parte fundamental para el desarrollo de un país ya que es la forma más común de transporte, en nuestro país las vías de comunicación terrestre toman una característica muy importante para la economía del mismo ya que son la conexión entre las zonas productoras y las zonas de consumo.

Demostrar el comportamiento de los materiales provenientes de fuentes naturales en la aplicación de pavimento flexible. Para lo cual se hará una selección minuciosa de los agregados granulares es decir que se encuentren en los rangos establecidos por el investigador y basados en la bibliografía, se mantendrá el cemento asfáltico constante y se variara los bancos de material granular para la determinación de las características del agregado.

Consiguientemente se procederá a analizar la estabilidad y fluencia total ya que son los parámetros elegidos para determinar la eficiencia de la mezcla, se tomara en cuenta la caracterización de los materiales y la obtención del porcentaje óptimo de cemento asfáltico y así obtener una mezcla adecuada para el uso en infraestructuras viales.

La pavimentación de las carreteras tiene como uno de sus principales efectos el disminuir los costos de transporte terrestre, de tal manera que mejora la competitividad de los productos de la región y consecuentemente amplía el mercado para su venta.

En este sentido el mejoramiento de estas carreteras genera un mayor mercado para los recursos forestales, agrícolas, ganaderas y servicios que se pueden intercambiar tanto a nivel interno como nacional e incluso internacionalmente.

Con la metodología planteada se pretende que las alternativas de caracterización de arena-asfalto natural puedan reducir costos de construcción ya que el aspecto económico en nuestro país es un aspecto decisivo para la ejecución o no de un proyecto.

1.3. Diseño teórico

1.3.1. Situación problemática

El área de ingeniería vial en estos tiempos tiene mayores retos en forma general, el desarrollo acelerado del tráfico vehicular, las variaciones climatológicas que se hacen más extremas en el tiempo, sumando a la insuficiencia de recursos para la inversión en infraestructuras viales, retan a la ingeniería en investigar y plantear nuevas alternativas que permitan conservar y mantener el buen desempeño y conservación de nuestras redes viales.

Los cambios climatológicos es una variable fundamental en la ejecución de una obra civil. En las infraestructuras viales el progreso de la tecnología automotriz y la carencia de materiales granulares con propiedades mecánicas y físicas acorde con las necesidades, han hecho que las instituciones de investigación adelanten procesos para desarrollar aditivos los cuales generan o estabilizan las propiedades mecánicas de las capas que conforman la estructura de pavimento.

Uno de los problemas que permanentemente causa preocupación y es motivo de investigación son las carreteras no pavimentadas de nuestro departamento ya que estas integran al departamento además que forman parte del desarrollo del mismo.

1.3.2. Problema

¿Cómo serían las propiedades de una caracterización de arena-asfalto?

1.3.3. Alcance de la investigación

Los fines que se persigue con la elaboración del proyecto, por medio de la definición del objetivo general y objetivos específicos, que deberán cumplirse a cabalidad, es obtener una mezcla alternativa para la aplicación en la carpeta de rodadura de bajo tránsito vehicular y de esta manera utilizar la mezcla con una alta confiabilidad y así poder aplicar en infraestructuras viales de bajo tránsito vehicular.

Consecutivamente se presentará una introducción sobre las mezclas asfálticas y sus características, donde se estudiarán y definirán los componentes de las mezclas, las características de las carpetas asfálticas entre ellas los tipos de carpetas.

Así mismo, se definirá la caracterización de arena asfalto natural, haciendo ensayos Marshall, para obtener una mezcla adecuada y confiable para el uso en las infraestructuras viales.

De tal manera se hará un relevamiento de información de los tipos de arena proveniente de tres distintos bancos de material, teniendo como punto de partida los ensayos patrón de estas muestras.

De la misma manera también analizaremos las características del asfalto y determinaremos sus propiedades y comportamientos.

Se recabará toda la información necesaria de los parámetros de diseño que se consideren más apropiados para su aplicación, posteriormente se procederá al estudio teórico y práctico de los datos de entrada y los resultados obtenidos. Una vez realizados los estudios correspondientes se podrán elaborar las conclusiones y recomendaciones las cuales evidenciaran los aspectos que deben regir como proyectistas al momento de utilizar arena asfalto natural.

Se hará una valoración de las ventajas y desventajas desde sus datos de entrada, procesamiento y resultados, luego se dará paso a la aplicación práctica con el conocimiento adquirido en la parte teórica.

De acuerdo a los resultados que se obtengan, de la recolección de información que estará destinado a facilitar y uniformar criterios en la posterior valoración técnica del resultado se realizará un análisis comparativo de los valores obtenidos para poder determinar cuáles son sus ventajas y desventajas.

Finalmente, se rescataran todas las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a lo largo del desarrollo del proyecto, tanto en su parte teórica como en la práctica, para dejar un registro de datos y resultados que pueden ser de mucho beneficio para otros estudiantes o personas que requieran información sobre el tema de investigación.

Como conclusión se verificará los resultados de las mezclas conformadas por materiales provenientes de fuentes naturales obtenidas en el siguiente trabajo para verificar la hipótesis de la investigación presentando las características fisicomecánicas de las mezclas y tener los resultados si estas mezclas son alternativas para el uso en infraestructuras viales de bajo tránsito vehicular.

1.3.4. Objetivos de la investigación

1.3.5. Objetivo general

Caracterizar los materiales provenientes de fuentes naturales, en la elaboración de mezclas asfálticas arena-asfalto, considerando las propiedades de estabilidad y fluencia mediante el método Marshall, de tal manera que se pueda obtener una mezcla asfáltica aplicable en el diseño y construcción de pavimentos flexibles de bajo tránsito vehicular.

1.3.6. Objetivos específicos

- Analizar los componentes, características y procedimientos de elaboración de las mezclas asfálticas arena-cemento.
- Analizar la ubicación y caracterización de material arena y asfalto posteriores a estudiar.
- Diseñar la proporción adecuada de los diferentes materiales que componen la mezcla asfáltica arena-asfalto.
- Determinar el efecto que tienen los agregados provenientes de fuentes naturales y de trituración en el comportamiento mezclas arena-asfalto en las propiedades de estabilidad y fluencia.
- Procesar los resultados obtenidos y analizar los indicadores más importantes.
- Establecer conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos.

1.3.7. Hipótesis

Si caracterizamos la arena proveniente de fuentes naturales, y realizamos una mezcla arena-asfalto en especímenes realizados en laboratorio entonces se podrá obtener una mezcla asfáltica óptima en sus propiedades mecánico-resistente, aplicable a vías de bajo tránsito vehicular.

1.3.8. Definición de la variable independiente y dependiente

VARIABLES INDEPENDIENTES:

- Agregados (arena de 3 bancos).
- Cemento asfáltico (85-100).

VARIABLE DEPENDIENTE:

PROPIEDADES DE LA MEZCLA:

- Estabilidad
- Fluencia

Variable	Dimensión	Valor o Acción	Indicador
Agregado	Deberán ser sometidos a ensayos de caracterización y evaluadas en función de la normativa ASTM	ASTM C-71	Ensayo de granulometría indicado en la faja de trabajo
		ASTM D-2419	Ensayo de equivalente de la arena
		ASTM D-128	Peso específico del agregado fino
		ASTM D	Límites de Atterberg
Cemento asfáltico	Deberán ser sometidos a ensayos de caracterización y evaluadas en función de la normativa ASTM (Especificaciones del fabricante en función de la norma ASTM)	ASTM E-102	Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol
		ASTM D-113	Ensayo de ductilidad
		ASTM D	Peso específico del cemento asfáltico
		ASTM D-5	Ensayo de penetración
		ASTM D-92	Ensayo de punto de inflamación
Propiedades	Estabilidad - Tráfico liviano	Especificaciones de la norma	7500 N (Estabilidad mínima)
	Fluencia - Tráfico liviano	AASHTO	Tasa de la deformación 0,25 mm a 50 golpes

Tabla 1: Planilla de características de ensayos

Fuente: Propia

Definición conceptual

- Agregado fino: Se denomina agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75mm(Nº4) y 75 µm (No. 200). El agregado fino deberá proceder natural o de fuentes naturales de arena y de trituración de piedra de cantera.
- Cemento asfáltico: El asfalto es un material de propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, tiene características de flexibilidad, consistencia, adhesividad y durabilidad, pero es susceptible a cambios de temperatura.
- Propiedades: Es una característica mensurable capaz de calificar un comportamiento o una respuesta del mismo a sollicitaciones externas.

- Fluencia: Es la deformación total expresada en mm que experimenta la probeta desde el comienzo de la aplicación de la carga en el ensayo de estabilidad, hasta el instante de producirse la falla, se mide con la prensa del ensayo Marshall.
- Estabilidad: Esta propiedad se refiere a la capacidad de la mezclas asfálticas para resistir la deformación y el desplazamiento, debido a carga de tráfico vehicular calculada en libras en la prensa del ensayo Marshall.

1.4. Diseño metodológico

1.4.1. Componentes

1.4.2. Unidad de estudio

La unidad de estudio será el ensayo de laboratorio.

1.4.3. Población

En este proyecto de investigación la población a tomarse en cuenta serán todos los ensayos de laboratorio.

1.4.4. Muestra

La muestra que representa la población de este trabajo de investigación será:

Agregado fino

- Granulometría.
- Equivalente de arena
- Peso específico del agregado fino
- Índice de plasticidad.

Cemento asfáltico

- Penetración
- Punto de inflamación
- Viscosidad Saybol Forul
- Ductilidad
- Peso específico

Mezcla

- Marshall
 - Estabilidad
 - Fluencia

1.4.5. Muestreo

Se realizará la caracterización de la arena-asfalto natural propios de la región provenientes de diferentes bancos de materiales, dos arenas de fuentes naturales y una arena de trituración, se analizará mediante los ensayos respectivos de caracterización y se analizará la estabilidad y fluencia de las mezclas con dichos materiales mediante el ensayo Marshall.

PLANILLA TAMAÑO DE MUESTRA							
Ensayos	Cantidad (Ni)	pi	qi	pi*qi	Ni*pi*qi	wi	Realizado
Agregado fino							
Granulometría	9	0,5	0,5	0,25	2,25	0,0234	9
Equivalente de la arena	9	0,5	0,5	0,25	2,25	0,0234	9
Peso específico del agregado fino	9	0,5	0,5	0,25	2,25	0,0234	9
Índice de plasticidad	9	0,5	0,5	0,25	2,25	0,0234	9
Cemento asfáltico							
Penetración	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	3
Punto de inflamación	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	3
Viscosidad Saybol Forul	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	3
Ductilidad	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	3
Peso específico	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0078	3
Briquetas							
Porcentaje optimo de cemento asfáltico	29	0,5	0,5	0,25	7,25	0,0755	15
Propiedades mecánicas de la mezcla							
Estabilidad	152	0,5	0,5	0,25	38	0,3958	90
Fluencia	152	0,5	0,5	0,25	38	0,3958	90
Población	384				96	1	246

DATOS NIVEL DE CONFIANZA 95%	
z	1,96
p	0,5
q	0,5
e	0,05

Tabla 2: Planilla de muestreo tamaño de muestra

Fuente: Propia

$$N = \frac{z^2 * p * q}{e^2} = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2}$$

$$n = \frac{\sum N_i * p_i * q_i}{N * \frac{e^2}{z^2} + \frac{1}{N} * \sum N_i * p_i * q_i}$$

$N = 384$ Población

$n = 193$ Ensayos

- En el muestreo se tomó el método probabilístico estratificado con un nivel de confianza $z = 1,96$
- Probabilidad que ocurra el suceso $p = 0,5$
- No probabilidad que ocurra el suceso $q = 0,5$
- Error probable $e = 0,05$

1.4.6. Métodos y técnicas empleadas

Granulometría

Equipos.

Balanza: Deberán permitir lecturas con apreciación de 0,5gr. en el de caso de agregados finos y de 5gr. en el caso de agregados gruesos.

Cedazos: Estarán montados en marcos firmes y contruidos de una manera tal que impidan la pérdida de material. Además estos deberán ser de tamaños específicos permitiendo suministrar los datos que se requieren con esa práctica.

Horno: Debe ser capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Peso específico

Descripción del equipo y material

- Bascula con aproximación de 5 grs.
- Cucharón de lámina galvanizada.
- Rasero.

Equivalente de arena

El ensayo de equivalente de arena indica la proporción entre los elementos granulares y arcillosos de un árido. Es particularmente útil para analizar áridos que contienen alto contenido de tamaños inferior a 0,080 mm.

Dispositivo para ensayo equivalente de arena

Reactivo

- Se prepara una solución base disolviendo 240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico, en 1 litro de agua destilada y se filtra.

- Se agrega 1085 g de glicerina farmacéutica y 25 g de formaldehído mezclando bien y disolviendo 2 litros con agua destilada.
- Se toman 22,5 cm³ de esta solución base y se diluye a 1 litro con agua destilada. Esta es la solución de ensayo.
- Muestra de ensayo
- La muestra original debe ser de un tamaño igual o mayor a 2000 g de arena.
- Se pasa la muestra original en estado húmedo por el tamiz de 5 mm, disgregando con la mano los terrones arcillosos.
- Se reduce por cuarteo hasta lograr material suficiente para obtener cuatro medidas. La medida o tamaño de la muestra de ensayo es de 85 ± 5 cm³.
- Se seca a masa constante a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y se deja enfriar.

Cemento asfáltico

Penetración

La consistencia del asfalto puede medirse con un método antiguo y empírico, como es el ensayo de penetración, en el cual se basó la clasificación de los cementos asfálticos en grados normalizados.

Equipos utilizados:

- Penetrómetro.
- Aguja de penetración:
- Muestra de asfalto
- Cronómetro para medir el tiempo
- Termómetro
- Cuando ya está diluido según la norma y a temperatura de 25°C aproximadamente se coloca en el equipo de penetración.

Viscosidad

Permite conocer los valores de la resistencia del asfalto a fluir. Este ensayo se puede realizar a temperaturas de 60°C o de 135°C. A 60°.

Ductilidad

Ensayo de ductilidad:

El procedimiento consiste en formar una probeta de cemento asfáltico con dimensiones determinadas y sostenerlas a un proceso de elongación. Este proceso se efectúa a una temperatura normalizada de 25°C y a una velocidad de 5 cm/min. El ensayo de ductilidad nos da la distancia a la cual se rompe la muestra y se mide en cm.

Punto de inflamación

- Termómetro de inmersión parcial con bulbo de 25 mm de longitud, con rango de -6 a 400°C y aproximación de 2°C.

Mezcla

Método Marshall

Este método tradicionalmente se aplica a mezclas asfálticas en caliente, donde el asfalto ha sido clasificado por penetración o viscosidad, y que contiene agregados con tamaños máximos de 25.0 mm (1 pulgada o menos). El Método Marshall es una serie de ensayos que utilizan muestras normalizadas de prueba (probetas) de 64 mm (2.5 pulgadas) de espesor por 102 mm (4 pulgadas) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son:

- Análisis de la relación de vacíos-densidad,
- Prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

Ensayo Marshall

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall, estos son:

- Determinación del peso específico total
- Medición de la estabilidad y la fluencia Marshall
- Análisis de la densidad y el contenido de vacíos

Ensayos de estabilidad y fluencia

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

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60°C esta temperatura representa, normalmente la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta y uno de los medidores de carga y deformación (fluencia).
- La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm por minuto hasta que la muestra falle, La falla está definida como la carga máxima que la briqueta pueda resistir.
- La carga falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

Valor de estabilidad Marshall

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

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

Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente una medida de su calidad, sin embargo este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente, Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.

Valor de fluencia Marshall

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

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

Herramientas y equipos

Materiales: Filler, Arena, Grava, Cemento asfáltico, parafina, espátula, franelas, balanza, tapa boca, guantes de cuero, termómetro, cucharón, bandejas.

Equipo para sacar briquetas de los moldes

- Martillo Marshall
- Molde
- Base

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

Para el tratamiento de los datos emplearemos la estadística.

La estadística es una técnica la cual nos facilita una serie de métodos que se utilizan para recolectar, resumir, clasificar, analizar e interpretar las pautas de los datos con relación a una característica o cuerpo de estudio de una investigación.

Es una herramienta indispensable para las decisiones. También es ampliamente empleada para mostrar los aspectos cuantitativos de una Situación. La estadística está relacionada con el estudio de proceso cuyo resultado es más o menos imprescindible y con la finalidad de obtener conclusiones para tomar decisiones razonables de acuerdo con tales observaciones. El resultado de estudio de dichos procesos, denominados procesos aleatorios, puede ser de naturaleza cualitativa o cuantitativa y en este último caso, discreto o continua. Son muchas las predicciones de tipo sociólogo, o económico, que pueden hacerse a partir de la aplicación exclusiva de razonamientos probabilísticos a conjuntos de datos objetivos como son, por ejemplo, los de naturaleza demográfica. Las predicciones estadísticas, difícilmente hacen referencia a sucesos concretos, pero describen con considerable precisión en el comportamiento global de grandes conjuntos de sucesos particulares

EL objetivo de esta técnica es la obtención de conclusiones basadas en los datos experimentales teniendo como apoyo las distintas variables, datos e investigaciones ya realizadas.

Su función es obtener información, analizarla, elaborarla y simplificarla lo más posible, para que pueda ser interpretada fácilmente, por tanto, pueda utilizarse para el fin que se desee.

- **Tratamiento estadístico**

Tratamiento estadístico a ejecutarse:

Procedimiento para el análisis e interpretación de la información:

Tenemos seleccionado que la investigación que realizaremos es de Estadística explicativa No Probabilística.

Para la evaluación y validación de nuestra investigación utilizaremos la estadística cuyas fórmulas son las siguientes:

- **Media:** Es la media aritmética (promedio) de los valores de una variable. Suma de los valores dividido por el tamaño muestra.

Conveniente cuando los datos se encuentran simétricamente con respecto a ese valor. Muy sensible a valores extremos. Centro de gravedad de los datos.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

- **Mediana:** Es un conjunto de datos ordenados de menor a mayor, a mediana corresponde al dato central. Aquél que deja un 50% de la información bajo él y el otro 50% es mayor o igual. Es un valor que divide a las observaciones en dos grupos con el mismo número de individuos. Si el número es de datos par, se elige la media de los datos centrales.

Es conveniente cuando los datos son asimétricos. No es sensible a valores extremos.

$$Me = \begin{cases} \frac{x_{(\frac{n}{2})} + x_{(\frac{n}{2}+1)}}{2}, & \text{si } n \text{ es par} \\ x_{(\frac{n+1}{2})}, & \text{si } n \text{ es impar} \end{cases}$$

- **Moda:** Es el valor o valores donde la distribución de frecuencias alcanza un máximo.
- **Desviación estándar:** Es la raíz cuadrada de la varianza es la más usada de las medidas de dispersión.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- **Media**

En matemáticas y estadística, la media aritmética (también llamada promedio o simplemente media) de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

Expresada de forma más intuitiva, podemos decir que la media (aritmética) es la cantidad total de la variable distribuida a partes iguales entre cada observación.

Por ejemplo, si en una habitación hay tres personas, la media de dinero que tienen en sus bolsillos sería el resultado de tomar todo el dinero de los tres y dividirlo a partes iguales entre cada uno de ellos. Es decir, la media es una forma de resumir la

información de una distribución (dinero en el bolsillo) suponiendo que cada observación (persona) tuviera la misma cantidad de la variable.

También la media aritmética puede ser denominada como centro de gravedad de una distribución, el cual no está necesariamente en la mitad.

Una de las limitaciones de la media aritmética es que se trata de una medida muy sensible a los valores extremos; valores muy grandes tienden a aumentarla mientras que valores muy pequeños tienden a reducirla, lo que implica que puede dejar de ser representativa de la población.

La media aritmética se calcula sumando todos los componentes y dividiendo el resultado entre el número de componentes. El resultado entero o decimal es la media aritmética.

Dados los 'n' números, la media aritmética se define como:

Se utiliza la letra X con una barra horizontal sobre el símbolo para representar la media de una muestra

Moda

En estadística, la moda es el valor con una mayor frecuencia en una distribución de datos.

Se hablará de una distribución bimodal de los datos adquiridos en una columna cuando encontremos dos modas, es decir, dos datos que tengan la misma frecuencia absoluta máxima. Una distribución trimodal de los datos es en la que encontramos tres modas. Si todas las variables tienen la misma frecuencia diremos que no hay moda.

El intervalo modal es el de mayor frecuencia absoluta. Cuando tratamos con datos agrupados antes de definir la moda, se ha de definir el intervalo modal.

La moda, cuando los datos están agrupados, es un punto que divide al intervalo modal en dos partes de la forma p y $c-p$, siendo c la amplitud del intervalo, que verifiquen que:

Siendo la frecuencia absoluta del intervalo modal las frecuencias absolutas de los intervalos anterior y posterior, respectivamente, al intervalo modal.

Desviación estándar

La desviación típica o desviación estándar (denotada con el símbolo σ o s , dependiendo de la procedencia del conjunto de datos) es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

Para conocer con detalle un conjunto de datos, no basta con conocer las medidas de tendencia central, sino que necesitamos conocer también la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad al momento de describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones.

CAPÍTULO II

2. GENERALIDADES Y DEFINICIONES SOBRE EL CEMENTO ASFÁLTICO, EMULSIONES ASFÁLTICAS, AGREGADOS, MEZCLA ASFÁLTICA, MEZCLAS ARENA - ASFALTO Y ENSAYO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS.

Se realizó una investigación sobre la utilización de arenas naturales para la conformación de mezclas asfálticas mediante la caracterización de la arena natural proveniente de diferentes bancos (Fuentes naturales) de la ciudad de Tarija, estas arenas no tienen el tratamiento debido, como por ejemplo ser lavadas, o procesadas mediante un mecanismo de trituración que se debe dar para poder hacer una mezcla asfáltica.

La caracterización se lo realizó de manera independiente por material empleado, el estudio se basó en conocer cómo actúa una arena de fuente natural en mezclas asfálticas y se comparó con arena de trituración para vías de bajo tránsito vehicular.

2.1. El cemento asfáltico

2.1.1. Definición

La American Society for Testing and Materials (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.

2.1.2. Refinación del petróleo crudo 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 1) 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 oil 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 soplados se producen insuflando aire a altas temperaturas al asfalto de consistencia apropiada.

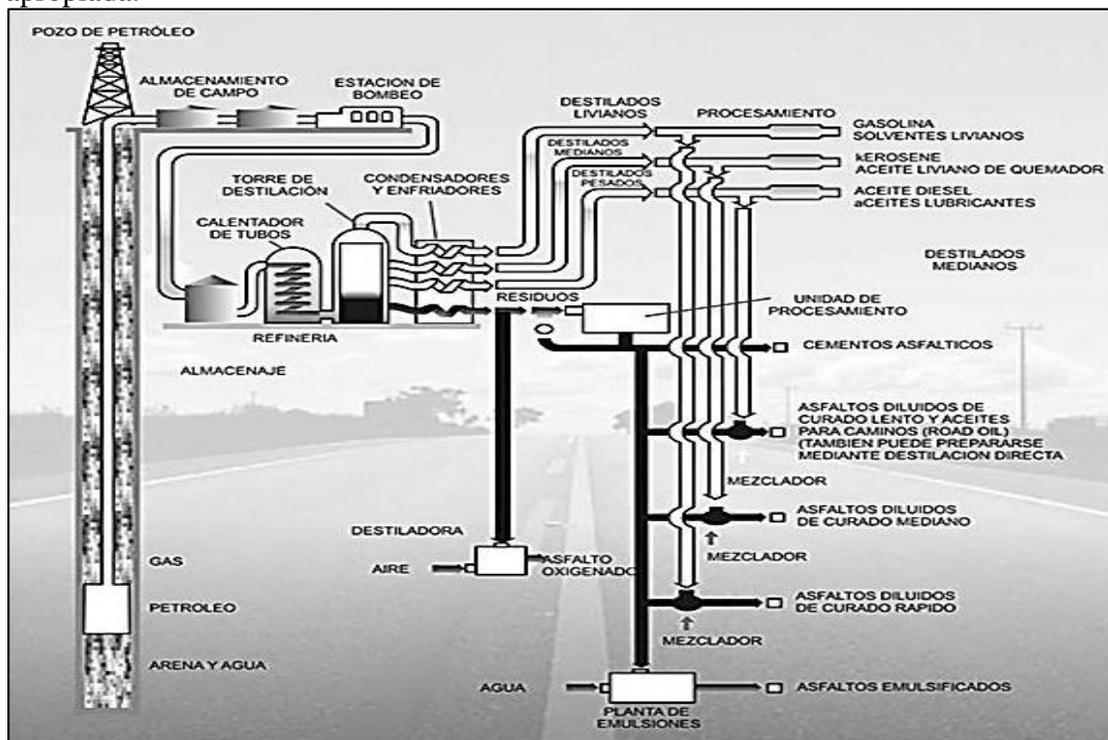


Figura 1. Diagrama del proceso para la extracción del asfalto

(Fuente: “<http://asfaltoenbracivil.blogspot.com/2012/07/5-obtencion-del-asfalto-en-refinerias.html>”)

2.1.3. Ensayos para caracterizar el cemento asfáltico

2.1.3.1. Ensayos de viscosidad

Las especificaciones de los cementos asfálticos clasificados según su viscosidad, se basan por lo común en los rangos de viscosidad a 60°C. También se especifica generalmente una viscosidad mínima a 135°C. El propósito es dar valores límites de consistencia a estas dos temperaturas. Se eligió la temperatura de 60°C por que se aproxima a la máxima temperatura superficial de las calzadas en servicio pavimentadas con mezclas asfálticas, y la de los 135°C, porque se aproxima a la temperatura de mezclado y distribución de mezclas asfálticas en caliente para pavimentación.

Para el ensayo de viscosidad a 60°C se emplea un viscosímetro de tubo capilar. Los dos tipos más comunes en uso son: el viscosímetro de vacío del Asphalt Institute y el viscosímetro de Cannon - Manning. Se calibran con aceites normalizados. Para cada viscosímetro se obtiene un “factor de calibración”. Generalmente los viscosímetros vienen calibrados por el fabricante quien suministra estos factores.

El viscosímetro se monta en un baño de agua a temperatura constante, controlado termostáticamente. Se vierte asfalto precalentado en el tubo más grande hasta que alcanza el nivel de la línea de llenado. El viscosímetro se mantiene en el baño por cierto tiempo hasta que el sistema alcance la temperatura de equilibrio de 60°C.

Se aplica un vacío parcial en el tubo pequeño para inducir el flujo, porque el cemento asfáltico a esta temperatura es muy viscoso para fluir fácilmente a través de los tubos capilares del viscosímetro.

Luego que el baño, viscosímetro y el asfalto se han estabilizado en 60°C se aplica vacío y se mide con un cronometro el tiempo, en segundos, que tarda el cemento asfáltico en fluir entre dos marcas. Multiplicando este tiempo por el factor de calibración del

viscosímetro se obtiene el valor de la viscosidad en poises, la unidad patrón para medir viscosidad absoluta.

El viscosímetro de vacío del Asphalt Institute tiene muchas marcas para medir el tiempo. Seleccionando el par apropiado, se puede usar para asfaltos con una amplia variación de consistencias.

Los cementos asfálticos para pavimentación son lo suficientemente fluidos a 135°C para fluir a lo largo de los tubos capilares bajo fuerzas de gravitacionales únicamente. Por lo tanto se usa un tipo diferente de viscosímetro, ya que no se requiere el vacío. El método utilizado por su disponibilidad en el medio es el de Saybolt Furol, AASHTO (T 72) - ASTM (D 88).

Este método se refiere a procedimientos empíricos para determinar la viscosidad de Saybolt universal o Saybolt Furol de productos del petróleo a temperaturas especificadas.

La viscosidad Saybolt Furol es el tiempo en segundos, corregido durante el cual fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio Furol calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en segundos Saybolt Furol (SSF) a una temperatura especificada.

La palabra Furol es una contracción de las palabras “Fuel and road oils” (aceites y combustibles para carreteras)

La viscosidad Saybolt Furol es aproximadamente 1/10 de la viscosidad Saybolt Universal, y es recomendada para la caracterización de productos del petróleo.

2.1.3.2. Ensayos de penetración

La consistencia de un asfalto puede medirse con un método empírico, como el ensayo de penetración, en el cual se basó la clasificación de los cementos asfálticos en grados

normalizados. Consiste en calentar un recipiente con cemento asfáltico a una temperatura de referencia, 25°C, en un baño de agua a temperatura controlada. Se apoya una aguja normalizada de 100 gramos de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de la penetración es la longitud que penetra la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0,1 mm.

Ocasionalmente el ensayo de penetración se realiza a distinta temperatura en cuyo caso puede variarse la carga de la aguja, el tiempo de penetración o ambos.

2.1.3.3. Ensayo de punto de inflamación

Cuando se calienta el asfalto, libera vapores que son combustibles. El punto de inflamación, es la temperatura a la cual puede ser calentado con seguridad un asfalto, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados, en presencia de una llama libre. Esta temperatura está sin embargo muy por debajo de la temperatura en la que el material entra en estado de combustión permanente. Se la denomina punto de combustión y es muy raro que se use en especificaciones para asfalto.

El ensayo más usado para medir el punto de inflamación del cemento asfáltico es el de “vaso abierto Cleveland” (COC) que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto, y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado. Se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo estipulados. El punto de inflamación es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes vapores volátiles como para provocar una inflamación instantánea.

2.1.3.4. Ensayo de ductilidad

Algunos ingenieros consideran que la ductilidad es una característica importante de los cementos asfálticos. Sin embargo, generalmente se considera más significativa la presencia o ausencia de la misma, que su grado real. Algunos cementos asfálticos que

tienen un grado muy alto de ductilidad son también más susceptibles a la temperatura. Es decir, que la variación de la consistencia puede ser mayor debido al cambio de temperatura.

La ductilidad de un cemento asfáltico se mide con un ensayo tipo “extensión” para el que se moldea una probeta de cemento asfáltico en condiciones medias normalizadas. Se la lleva a temperatura de ensayo de la norma, generalmente a 25°C y se separa una parte de la probeta de la otra a cierta velocidad, normalmente 5 cm por minuto, hasta que se rompa el hilo de asfalto que une ambos extremos de la muestra. La ductilidad del asfalto es la distancia (en centímetros) a la cual se rompe dicho hilo.

2.1.3.5. Ensayo de destilación y contenido de agua

El ensayo de destilación se usa para determinar la proporción de agua presente en el cemento asfáltico, algunos cementos asfálticos pueden contener aceites. La destilación del cemento asfáltico entrega información acerca de su calidad.

El procedimiento es muy similar al de los ensayos de emulsiones asfálticas y de asfaltos cortados. Una muestra de 200 gr de asfalto se destila a 260°C durante 15 minutos con el objeto de obtener un residuo homogéneo.

Para un cemento asfáltico la tolerancia al agua es casi nula, esta tiene que estar por debajo del 0,2% y es el resultado de la división del peso del agua entre el peso del asfalto “seco”.

2.2. Emulsiones asfálticas

2.2.1. Generalidades

Se define una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante)

y la otra la fase discreta (o dispersa). Esto puede apreciarse en la Figura 2.2, en donde se muestra un dibujo esquemático de una emulsión.

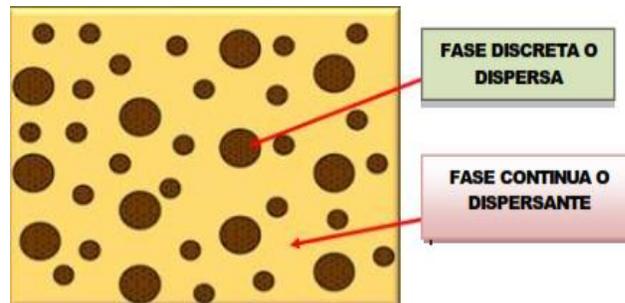


Figura 2. Diagrama de una emulsión

Generalmente el tamaño de la fase discreta tiene alguna dimensión lineal entre 1 nanómetro y 1 micra. Son estos tamaños tan pequeños los que dan a las emulsiones sus importantes e interesantes propiedades. La ciencia que trata con las emulsiones es multidisciplinaria, ya que involucra física, química, biología, etc. (Gonzales Escobar y otros, 2007)

Existen varios tipos de dispersiones de partículas de diferentes tamaños en diferentes tipos de medios; es entre estas dispersiones que se encuentran las emulsiones, las cuales como ya se mencionó son dispersiones de un líquido en otro. En el siguiente cuadro se muestran los diferentes tipos de suspensiones que existen.

Fase continua	Fase discreta	Sistema
Gas	Líquido	Aerosoles, niebla, rocío
Gas	Sólido	Simoke, aerosol
Líquido	Gas	Espuma
Líquido	Líquido	Emulsión, solución coloidal
Líquido	Sólido	Sol, solución coloidal
Sólido	Gas	Espumas solidas(Piedras poma), Zeolitas
Sólido	Líquido	Gel, emulsión solida
Sólido	Sólido	Aleación

Tabla 3. Tipos de dispersiones

Fuente: Manual serie 19 Instituto del Asfalto

Definición de emulsión asfáltica: Las emulsiones asfálticas son una mezcla de asfalto con emulsificantes que con el agua forman una emulsión estable que permite tender las carpetas asfálticas "en frío", es decir, a temperatura ambiente.

2.2.2. Clasificación de las emulsiones asfálticas

Podemos mencionar que existen dos tipos de emulsiones:

- Emulsiones formadas por macromoléculas en solución (sistemas de una fase)
- Emulsiones formadas por materia finamente dividida (sistema de 2 o más fases)

Las podemos dividir en:

- Liofílicas: si la partícula no repele el solvente
- Liofóbicas; si la partícula repele el solvente.

Si el medio es agua, entonces:

- Liofílico = Hidrofílico y Liofóbico = Hidrofóbico.

Las emulsiones liofílicas son verdaderas soluciones (desde el punto de vista termodinámico), por lo que no es fácil hablar de la superficie de la emulsión.

Por el contrario, para emulsiones liofóbicas, debido a la diferencia de fases entre las partículas en la emulsión y el medio donde se encuentran dispersas, no existe ningún problema para definir la superficie de la emulsión. Por lo tanto, el concepto de superficie sólo es aplicable a sistemas multifásicos.

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas de acuerdo al tipo de estabilizador usado. En este caso podemos hablar de dos tipos, aniónicas y catiónicas:

Emulsiones aniónicas

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad negativa a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga negativa

Emulsiones catiónicas

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad positiva a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga positiva.

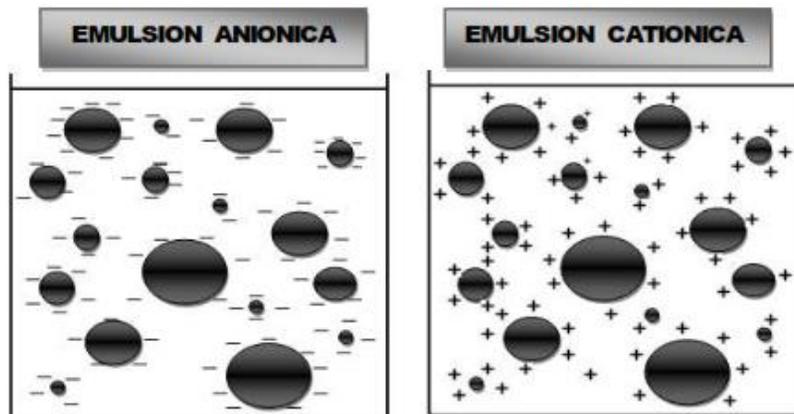


Figura 3. Representación pictórica

Fuente. Doc. Técnico No. 23. “Emulsiones Asfálticas”. Instituto mexicano del Transporte.

Respecto a la estabilidad de las emulsiones asfálticas, éstas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

De rompimiento rápido

Estas se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos (con excepción de la emulsión conocida como ECR-60), la cual no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.

De rompimiento medio

Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, re nivelaciones y sobre carpetas.

De rompimiento lento

Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.

Para impregnación

Estas se utilizan para impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas.

Súper estables

Estas se emplean en la estabilización de materiales y en la recuperación de pavimentos.

Según el contenido de asfalto en la emulsión, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas de clasifican como se muestra en la tabla 2.

Clasificación	Contenido de asfalto (% en masa)	Tipo de rompimiento	Polaridad
EAR - 55	55	Rápido	Aniónica
EAR - 60	60	Rápido	Aniónica
EAM - 60	60	Medio	Aniónica
EAM - 65	65	Medio	Aniónica
EAL - 55	55	Lento	Aniónica
EAL - 60	60	Lento	Aniónica
EAI - 60	60	Para impregnación	Aniónica
ECR - 60	60	Rápido	Catiónica
ECR - 65	65	Rápido	Catiónica
ECR - 70	70	Rápido	Catiónica
ECM - 65	65	Medio	Catiónica
ECL - 65	65	Lento	Catiónica
ECI - 60	60	Para impregnación	Catiónica
ECS - 60	60	Sobre-estabilizada	Catiónica

Tabla 4. Clasificación de emulsiones

Fuente: Manual Serie – 19. Instituto del Asfalto.

2.3. Agregados para el uso en mezclas asfálticas**2.3.1. Generalidades**

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.

2.3.2. Tipos de agregados utilizados en mezclas asfálticas

2.3.2.1. Agregado grueso

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

2.3.2.1. 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.

2.3.2.2. 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”.

2.3.2.3. Agregado fino

Los agregados finos, presentan tamaños menores de aproximadamente 2.5mm (o.1plg). Son obtenidos de arena natural proveniente de las facciones 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.

- **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 rio, 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°4 y quedan retenidas en el N° 200; y dentro de estas se encuentran las arenas finas, que son el material que pasa el tamiz N° 40 y quedan retenidas en el N°200, y el material que pasa el tamiz N°10 y retenidos en el tamiz N°40 se consideran arenas gruesas. Las partículas que pasan el tamiz N° 8 o menos, que se obtienen durante la producción de piedra triturada, se mencionan como “polvo de trituración”

- **Filler**

O relleno mineral es un producto mineral finamente dividido del que al menos el 65% pasa por el tamiz N° 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 N° 200), y otros fillers.

Filler mineral			
Tamiz	N° 30	N° 100	N° 200
% que pasa	100	90-100	65-100

Tabla 5. Grados estándar del filler mineral

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°200. 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.

2.3.2.4. 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.

A continuación se detalla brevemente los ensayos normalizados que son realizados sobre los áridos y se hace referencia a los procedimientos normalizados para la realización de estos ensayos.

2.3.2.5. Granulometría

Este método de ensayo abarca el procedimiento para la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas de agregado grueso y de agregado fino, empleando tamices de aberturas cuadradas, siendo también aplicable el empleo de cribas de laboratorio de aberturas circulares.

Hay dos métodos para determinar las proporciones relativas de los diversos tamaños de partículas en una muestra de áridos:

- **Análisis granulométrico por vía seca**

Este método consiste en el tamizado por vía seca, el procedimiento es de agitar una cantidad pesada de áridos perfectamente secos sobre una serie de tamices con aberturas cuadradas. Los tamices están unidos de forma que el de mayor abertura está en la parte superior y los de abertura más pequeña están situados debajo. Bajo el último tamiz se

coloca una bandeja que recoge todo el material que pasa a través de él. La agitación se aplica normalmente con aparatos automáticos, pero si no se disponen de estos se puede realizar manualmente sin pérdida de áridos.

Se determina el peso de material retenido en cada tamiz y se expresa en porcentaje del peso de la muestra original. Usualmente resulta conveniente anotar estos datos en un gráfico. En estos gráficos debe indicarse el porcentaje total, el peso, que pasa por cada tamiz. Las curvas así obtenidas son instrumentos que dan rápidamente idea de las características granulométricas de los áridos.

2.3.2.6. Resistencia al desgaste por abrasión

El agregado pétreo está sujeto a una rotura adicional y a un desgaste por abrasión durante la elaboración, colocación y compactación de la mezcla asfáltica para pavimentación. El agregado sufre, además, la abrasión debido a las cargas del tránsito.

Deben tener por lo tanto, en cierto grado, capacidad de resistir la trituración degradación y desintegración.

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 4.

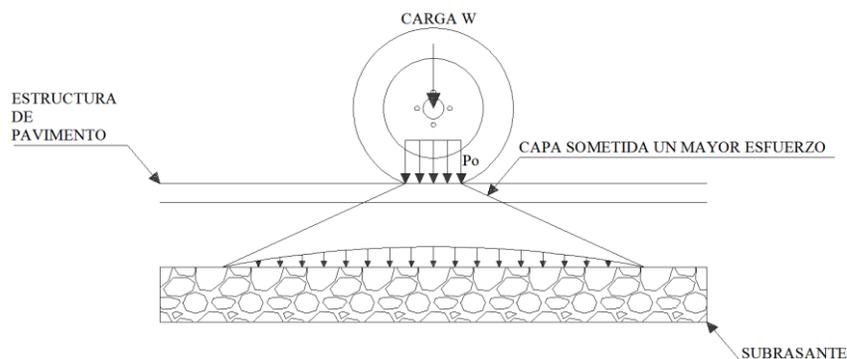


Figura 4. Distribución de esfuerzos

El ensayo de abrasión o desgaste “Los Ángeles” mide la resistencia al uso o abrasión del agregado mineral cuando el pavimento es sometido al tráfico vehicular. El porcentaje de desgaste medido por el ensayo de Los Ángeles no tiene en general ninguna relación con el pulimento de los áridos bajo el desgaste del tráfico.

El tambor de la máquina de desgaste, el cual es cargado con un peso determinado de partículas de agregado grueso con una graduación prefijada que se asemeja al material propuesto para el diseño en la mezcla asfáltica, así como un peso normalizado de esferas de acero que han de actuar como carga abrasiva. A continuación se hace dar al tambor 500 vueltas, después de lo cual se extrae el material y se determina el porcentaje de material que pasa por el tamiz número 12, que se define como porcentaje de desgaste.

La elevada resistencia al desgaste indica por un bajo porcentaje de pérdida por la abrasión es una característica deseable de los áridos que han de emplearse en la construcción de pavimentos asfálticos.

2.3.2.7. Peso específico y absorción del agregado

- **Peso específico**

Usualmente se determina el peso específico de los áridos por dos razones:

- Para determinar el cálculo de los huecos de las mezclas asfálticas compactadas.
- Para corregir las cantidades de áridos empleadas en una mezcla para pavimentación cuando su peso específico varía apreciablemente.

Los vacíos en la capa de pavimento asfáltico compactada, aparecen en la muestra como pequeñas cavidades de aire entre las partículas de agregado recubiertas por asfalto. La elección del peso específico de un agregado usado en los cálculos de una mezcla asfáltica podría tener un efecto sustancial sobre la cantidad calculada de vacíos en el pavimento compactado. El peso específico del agregado en la mezcla depende del

grado en el que el mismo absorbe asfalto. Cuando se usa el peso específico aparente se asume que el asfalto será absorbido por todos los poros permeables al agua. Si se usa el peso específico bruto, se acepta que el asfalto no será absorbido por los poros permeables al agua. Excepto en algunos casos, ninguno de los dos es correcto. El concepto de peso específico efectivo se aproxima más al valor verdadero para la determinación de los vacíos de la mezcla asfáltica compactada. El peso específico bruto puede ser usado, sin embargo si se considera una tolerancia por asfalto absorbido por el agregado.

Para una combinación de agregados, los porcentajes de componentes del agregado total deberán requerir un ajuste por la diferencia de pesos específicos de cada uno de ellos. Cuando esto es necesario, los pesos específicos brutos son los que usualmente se emplean en los cálculos.

El peso específico de un agregado es el cociente entre el peso de un volumen unitario de material y el peso de igual volumen de agua a una temperatura entre 20° y 25°C (68 y 77°F). Existen tres tipos aceptados de pesos específicos de los agregados, los que dependen de la definición de volumen de la partícula:

Hay tres tipos ampliamente usados de pesos específicos de los áridos:

- **Peso específico aparente (G)**

Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada a esa temperatura. El volumen incluye los poros impermeables del material (esto es, la materia sólida, incluyendo sus huecos o poros impermeables).

Considera al volumen del agregado como el volumen total excluyendo el volumen de poros o capilares que pueden llenarse de agua en 24 horas de embebimiento.

- **Peso específico masivo del agregado seco (real-efectivo) (Gb)**

Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada estando el material en condición de saturado a superficie seca. El volumen incluye los vacíos permeables e impermeables del material.

Considera el volumen total del agregado excluyendo al volumen de poros que absorbe el asfalto.

- **Peso específico aparente con agregado saturado (bruto)**

Es la relación entre el peso saturado a superficie seca de un volumen del material a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada.

El volumen incluye los vacíos permeables e impermeables del material (incluyendo tanto los huecos permeables como los impermeables propios del material).

Considera el volumen total de las partículas del agregado, incluye los poros que pueden ser llenados con agua en 24 horas de embebimiento.

- **Absorción del Agregado**

Es el volumen de los vacíos permeables del material expresado en por cientos del peso en el aire del mismo secado en estufa.

Como se ve por estas definiciones, la diferencia entre el peso específico aparente y el peso específico aparente con áridos saturados, indica la proporción de huecos permeables al agua de los áridos. Como el volumen medido para determinar el peso específico aparente con áridos saturados incluye los huecos impermeables, mientras que el volumen para el peso específico aparente excluye los huecos, es evidente que el volumen correspondiente al peso específico aparente es más pequeño que el empleado

para el peso específico aparente con áridos saturados, si los áridos tienen huecos permeables. Si no existen tales huecos, ambos volúmenes son iguales.

Como el peso específico es una relación peso-volumen, se deduce que el peso específico aparente es mayor que el peso específico aparente con áridos saturados en áridos que contienen huecos permeables, y que ambos valores son iguales para áridos que no contienen huecos de este tipo. De esta forma, en áridos que contienen huecos permeables, la elección de uno u otro tipo de peso específico puede tener un efecto apreciable sobre la proporción de huecos calculada en una mezcla asfáltica compactada.

El peso específico aparente de los áridos en una mezcla asfáltica depende de la proporción en que el asfalto penetre en los huecos permeables. Como el asfalto es más viscoso que el agua, usualmente penetrara en los huecos menos que el agua. Por ello ha empezado a usarse el término “peso específico efectivo” para indicar la proporción en que el árido es permeable al asfalto empleado en la mezcla.

Como puede verse, el peso específico efectivo estará normalmente comprendido entre el peso específico aparente y el peso específico aparente con áridos saturados.

2.3.2.8. Cubicidad de las partículas

La cubicidad es un método que establece el procedimiento para determinar la masa de angularidad (chancado), canto rodado, alargamiento y laminaridad. Consiste en calcular el porcentaje de cada una de estas fracciones presentes en la muestra de agregado.

Este método se aplicara a todos los agregados pétreos que se emplearan en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente.

- **Angularidad del agregado grueso**

Esta propiedad asegura un alto grado de fricción interna del agregado y resistencia al ahuellamiento. Se define como el porcentaje en peso del agregado mayor de 4.75mm, con una o más caras fracturadas.

Para medir la angularidad del agregado grueso, deben contarse las partículas manualmente para determinar las caras fracturadas. Una cara fracturada se define como alguna superficie fracturada que ocupa más del 25% del área del contorno de la partícula del agregado visible en esa orientación.

- **Angularidad del agregado fino**

Esta propiedad asegura un alto grado de la fricción interna del agregado fino y de la resistencia al ahuellamiento. Se define como el porcentaje de vacíos de aire presente en los agregados, menores de 2.36mm levemente compactados, contenidos de vacíos mayores significan más caras fracturadas.

- **Alargamiento y laminaridad**

El concepto es el porcentaje en peso del agregado grueso cuya relación entre las dimensiones máxima y mínima es mayor que 5. Las partículas alargadas son indeseables porque tienden a quebrarse durante la construcción y cuando es sometido al tráfico vehicular.

Para medir la relación de dimensiones de una muestra representativa de las partículas del agregado se emplea un calibrador.

2.4. Mezcla asfáltica

2.4.1. Definición

Una mezcla asfáltica en general es una combinación de emulsiones y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes o pavimentos. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente para el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

La mezcla tiene que ser duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, elevadas temperaturas, etc. Debe ser resistente a las sollicitaciones de tránsito a través de su estabilidad. Una mezcla debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos y debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno. Cada una de estas y otras propiedades deseables de las mezclas en frío.

Según sus propiedades y espesores de capa, se considera que aportan capacidad estructural al pavimento.

Con la finalidad de que la mezcla tenga la suficiente trabajabilidad, existen métodos alternativos de producción de mezclas sin necesidad de calentar los ingredientes, puede ser con emulsiones asfálticas o la alternativa que se plantea en el presente proyecto de investigación.

2.4.2. Tipos de mezclas asfálticas

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

2.4.2.2. 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.

2.4.2.3. 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 normales, se aplican en vías secundarias, en vías urbanas o en capas de base bajo los pavimentos de hormigón. Utilizadas como mezclas en caliente para tráficos 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.

2.4.2.4. *Microaglomerados*

Son mezclas con un tamaño máximo de agregado pétreo limitado inferior a 10 mm. lo que permite aplicarlas en capas de pequeño espesor. Tanto los microaglomerados en Frío (se le suele llamar a las lechadas asfálticas más gruesas) como los microaglomerados en Caliente son por su pequeño espesor (que es inferior a 3 cm.) tratamientos superficiales con una gran variedad de aplicaciones. 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 microaglomerados con texturas rugosas hechas con agregados pétreos de gran calidad y asfaltos modificados, para las vías de alta velocidad de circulación.

2.4.2.5. *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.

2.4.2.6. 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.

2.4.3. Características y propiedades de las mezclas asfálticas

2.4.3.1. 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:

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

(Ecuación. 2.1 Peso específico de los agregados)

Dónde:

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

2.4.3.2. *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:

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

(Ecuación. 2.2 Densidad Máxima Real de la Mezcla)

Dónde:

Dr= Densidad real de la mezcla (briqueta)

PB= Peso de la briqueta sin parafina

VP= Volumen de la briqueta sin parafina

2.4.3.3. 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:

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

(Ecuación. 2.3 Densidad Máxima Teórica)

Dónde:

Dmt= 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/m^3), gramos por centímetro cubico (gr/cm^3), o libras por pie cubico (lb/ft^3). La densidad es calculada de multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m^3) o (62.416 lb/ft^3). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada 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%).

2.4.3.4. 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 esta entre 3 y 5 % dependiendo del diseño específico. La fórmula para su cálculo es:

$$Vm(\%) = \frac{Dmt - Dm}{Dmt} * 100$$

(Ecuación. 2.4 Vacíos de la Mezcla)

Dónde:

Vm= Vacíos de la mezcla compactada

Dmt= Densidad máxima teórica

Dm= 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.

2.4.3.4. 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 5. Distribución de volúmenes en una mezcla asfáltica

El espacio intergranular está ocupado por el asfalto y aire en una mezcla compacta denominada vacíos del agregado mineral (V.A.M.). 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.

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 vacíos del agregado mineral, VAM. En el diagrama de componentes, la suma del volumen de aire y el volumen de asfalto efectivo, es el VAM. El volumen de asfalto absorbido por el agregado no es usualmente considerado como parte del VAM. 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 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. de acuerdo al tamaño de las partículas se indican en la siguiente tabla.

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	N° 8	2,36	0,093	21,0
4,75	N° 4	4,75	0,187	18,0
9,50	3/8	9,50	0,375	16,0
12,50	½	12,50	0,5	15,0
19,00	¾	19,00	0,75	14,0
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

Tabla 6. Valores recomendados para los V.A.M.

Cuanto mayor sea el VAM, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para el VAM 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. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VAM 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 para economizar en contenido de asfalto.

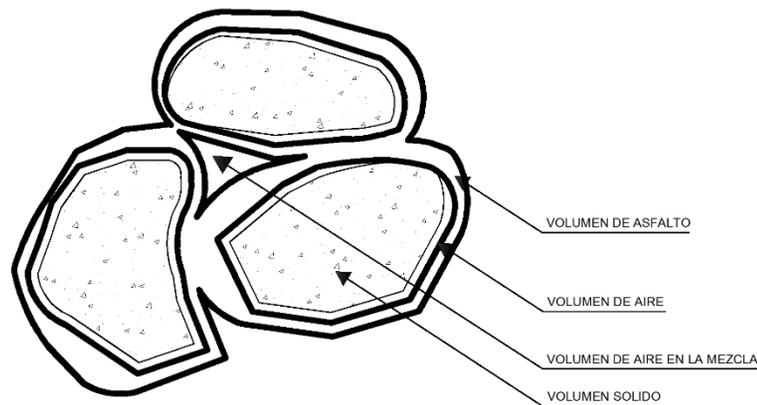


Figura 6. Diagrama de partículas en la mezcla asfáltica

En el esquema grafico 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:

$$VAM (\%) = Vm(\%) + \frac{CA(\%) * D_{rm}}{GCA}$$

(Ecuación. 2.5 Vacíos del Agregado Mineral)

Dónde:

VAM (%)= Vacíos del agregado mineral

Vm(%)= 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, solo 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. y en caso de que una dosificación se hubiese obtenido un V.A.M 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.

2.4.3.4. 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 los vacíos del agregado mineral (VAM) que contiene asfalto. La fórmula de cálculo es la siguiente:

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

(Ecuación. 2.6 Relación Betumen-Vacíos)

Dónde:

RBV(%)= Relación betumen vacíos

VAM(%)= Vacíos del agregado mineral

Vm(%)= Vacíos de la mezcla compactada

2.4.3.5. 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.

2.4.3.5. 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.

2.4.3.6. 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 prematura de las capas asfálticas sometidas a tráfico pesado.

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, como una medida de su carácter deformable o quebradizo (dúctil o frágil). 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 relacione 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. Mezclas arena - asfalto

2.5.1. Introducción

El material arena-asfalto natural consiste en una mezcla natural de partículas de arena que han sido impregnadas de asfalto. El asfalto presente en este material resulta de la destilación natural de los crudos pesados que se encuentran a diferentes profundidades. Estas mezclas naturales se han empleado para la fabricación de mezclas en frío o en caliente y en la estabilización de capas granulares para bases y sub-bases.

Aunque existen varias fuentes de este material, no existen estudios detallados que permitan entender a cabalidad su comportamiento y promover su uso con altos niveles de confiabilidad.

Bajo estas consideraciones este trabajo presenta una caracterización detallada de la mezcla arena-asfalto natural con 3 tipos de arena de nuestra región, con el fin de reconocer las aplicaciones más apropiadas para su empleo en proyectos de infraestructura vial.

2.5.2. Técnicas con materiales asfálticos

2.5.2.1. Valor soporte Florida

Este ensayo se aplica sólo a arenas y con él se conoce “a priori” si las mismas son o no aptas para ser estabilizadas con asfalto, es decir, permite valorar si las arenas poseen la resistencia friccional mínima para soportar cargas una vez estabilizadas con asfalto.

La forma y rugosidad de la arena tiene mayor influencia en el desarrollo de la fricción interna que la granulometría de la misma.

La exigencia actual de la especificación del Departamento de Carreteras del Estado de Florida obliga la obtención, para la arena natural, de un valor mínimo de estabilidad en

el ensayo previo de 2,4 Kg/cm², a fin de que un suelo arenoso pueda considerarse apto para constituir una base estabilizada tipo “arena-asfalto” de adecuado soporte.

El ensayo se realiza mediante el dispositivo de la Figura 1 consistente en un sistema de aplicar cargas a la arena contenida en un molde cilíndrico, por medio de un brazo de palanca. El molde tiene 3 pulgadas de diámetro interno aproximadamente. Sobre la superficie de la arena compactada apoya en el centro un pequeño pistón circular de una pulgada cuadrada de sección (6,45 cm²). Un chorro de municiones calibre 10-12 es admitido, desde el depósito superior montado en el bastidor de la izquierda, dentro de un recipiente suspendido en el extremo del brazo de palanca. El molde cilíndrico descansa en un plato que se encuentra atornillado a un apoyo especial. Antes de comenzar el ensayo el sistema entero deberá ser nivelado, ajustando el tomillo existente bajo el molde cilíndrico, y el brazo de palanca será balanceado por un contrapeso existente en su extremo derecho.

Para operar la muestra de arena debe ser previamente secada hasta peso constante y tamizado por el tamiz N° 4. Se toma 600 gramos de arena tamizada y se le adiciona 10,5 cm³ de agua. Una vez mezclada uniformemente la muestra es colocada íntegramente en el molde cilíndrico presionándola a mano con un pistón de aproximadamente el mismo diámetro del molde. El molde con la muestra así preparada se ubica en una prensa para que la arena reciba una carga de 1200 libras en toda su sección. Luego el molde es colocado en el dispositivo anteriormente descrito y se centra sobre la superficie de la muestra el pequeño pistón de 1 pulgada cuadrada de sección. Una vez nivelado el brazo de palanca se permitirá un constante incremento de la carga mediante el chorro de municiones que deberán entrar al recipiente a razón de 3,6 Kg. por minuto hasta que se produzca la falla de la probeta de arena. En ese instante se corta automáticamente la salida de municiones y se pesa el total de las mismas que han penetrado en el recipiente inferior. Dicho peso, en kilogramos, multiplicado por 10, relación de los brazos de palanca del dispositivo, y dividido por 6,45 cm², sección

del pistón de carga, dará la carga máxima en Kg/cm² que ha soportado la arena ensayada.

2.5.2.2. Valor soporte Florida modificado

Por idea de Mc Kesson y Mohr se ha establecido otro ensayo, utilizando el mismo dispositivo, pero con ligeras modificaciones, que se realiza sobre mezclas de arena-emulsión para seleccionar el porcentaje óptimo de material estabilizante de los suelos arenosos.

La determinación de este valor soporte se efectúa sobre la fracción de arena que pasa el tamiz

Nº 4. Con 100 gramos de material se determina la granulometría con los tamices Nº 10 y 200. La cantidad de emulsión asfáltica a emplear se calcule por la siguiente fórmula:

Donde:

$$P = 0.43 / R * (0.05 * A + 0.10 * B + 0.50 * C)$$

A= Porcentaje de la arena retenido en el tamiz Nº 10.

B= Porcentaje de la arena que pasa el tamiz Nº 10 y retenido por el tamiz Nº 200.

C= Porcentaje de la arena que pasa el tamiz Nº 200.

R= Porcentaje del residuo asfáltico del material bituminoso.

P= Porcentaje de emulsión asfáltica, basado en el peso seco del suelo.

Se mezcla previamente 4 Kg. de arena secada al aire que pasa el tamiz Nº 4 (para tres probetas) con una cantidad de agua igual a la mitad del porcentaje de emulsión calculado con la fórmula anterior. Dicha emulsión debe ser incorporada a la arena así húmeda y el conjunto se mezcla uniformemente. Si fuera necesario agregar agua adicional para facilitar el mezclado, esta se hará incorporar luego de finalizar el mezclado mediante un secado parcial de la mezcla a 60 °C. La mezcla será posteriormente compactada en tres moldes cilíndricos de 4 pulgadas de diámetro por 4 pulgadas de altura, en tres capas con ligeros golpes de un pequeño pistón. El molde con

la mezcla es colocado en una prensa donde se le aplica una carga de 25.000 libras (11.350Kg) durante 2 minutos. Las tres probetas as compactadas deben curarse dentro de sus moldes durante 2 horas en estufa a 60 °C.

Finalizado el curado, las probetas en sus moldes serán colocadas para su ensayo en la máquina de valor soporte Florida, pero mantenidas en un baño de agua a 80 °C. La determinación de la estabilidad se efectúa aplicando la carga en el pistón de penetración de una pulgada cuadrada de sección (6,45 cm²) a una determinada progresión, hasta la falla de la probeta. Esta se produce cuando aparecen grietas en su superficie de 19 mm de largo o bien el pistón origina una deformación de 6 mm de profundidad.

El valor soporte se calcula en la forma descrita precedentemente.

Las arenas o suelos arenosos que en el ensayo previo soporten cargas superiores a 2,4 Kg/cm² y en el ensayo modificado obtengan valores soporte superiores a 10,5 Kg/cm², son susceptibles de formar bases de pavimentos estabilizados con emulsiones asfálticas.

2.5.2.3. Método de Mc Kesson

Este método se refiere al empleo de suelo con valor significativo de la plasticidad, por supuesto que en ningún caso se consideran suelos de plasticidad elevada, que ya se ha dicho no son de conveniencia estabilizar con betún por los métodos corrientes.

Nos vamos a referir en primer lugar al procedimiento seguido por Mc Kesson, quien emplea emulsiones bituminosas como agente estabilizante, pero antes de entrar a detallar el mismo diremos que esta segunda orientación se basa en general en la utilización de ensayos de Absorción y Resistencia al escurrimiento plástico de los suelos, antes y después de ser tratados. La resistencia mencionada se lleva a cabo siguiendo los mismos conceptos del clásico ensayo de Hubbard-Field, establecido para

mezclas asfálticas de recubrimiento con granulometría fina (sheet-asphalt) y luego hacia las de granulometría superior.

Para llevar a cabo los ensayos (según forma modificada) propuesta en “Procedures for Testing Soils”, (A.S.T.M. 1944) el suelo una vez secado al aire será tamizado por el tamiz N° 4 empleándose en las determinaciones, sólo la fracción librada por dicho tamiz; se necesitan por lo menos 250 gramos del material para cada probeta a formarse (tamaño dos pulgadas de diámetro por cuatro pulgadas de altura).

Con dicha cantidad se irán preparando las probetas de suelo sin tratar en número de tres, para lo cual el mismo será llevado a la consistencia del límite líquido. Las probetas de suelo tratado con emulsión se ejecutarán en igual número que en el caso anterior para cada porcentaje de estabilizante agregándosele al suelo la emulsión diluida en dos partes iguales de agua; la cantidad de estabilizante que debe adicionarse se calculará por la fórmula siguiente:

$$Q = W * \frac{S}{a}$$

Donde:

Q= Peso en gramos de emulsión no diluida a emplearse.

W= Peso en gramos del material tamizado a mezclarse.

S= Porcentaje de emulsión, que corresponde al suelo seco no tamizado.

A= Porcentaje de suelo librado por el tamiz N° 4.

En consecuencia, el porcentaje de emulsión a emplear se calcula como si la fracción del suelo retenida por el tamiz N° 4 hubiera sido restituida al mismo.

Una vez en contacto el suelo y la emulsión se mezclarán íntimamente, agregándose agua adicional hasta que la mezcla tome la consistencia del límite líquido de aquel. La proporción de estabilizante, denominada anteriormente con la designación S se determinará por la siguiente fórmula, tomando K los valores de 1,00, 1,25 y 1,50 para las tres series de probetas que deben ensayarse: si el valor de S determinado por la

fórmula resultara menor que 4%, los tres porcentajes se tomarán con el 4%, 4,5% y 5% de estabilizante.

$$S = K * \frac{n}{100} * (0.55 * a + 0.11 * b + 0.40 * c)$$

Donde:

a= Porcentaje del suelo pasando el tamiz N° 10, que es librado por el N° 200 (por análisis hidrométrico) y mayor que 0,005 mm,

b= Porcentaje, basado en la cantidad de suelo que pasa el tamiz N° 10, de arcilla inferior a 0,005 mm, mayor de 0,001 mm

c= Porcentaje, basado en la cantidad de suelo que pasa el tamiz N° 10, de arcilla coloidal más fina que 0,001 mm.

n= Porcentaje total de suelo (o mezcla de suelos) librados por el tamiz N° 10.

k= Constante para cada tipo de suelo, será determinada por los ensayos de absorción y estabilidad, excepto cuando se dan valores arbitrarios como en el caso presente.

Preparada la mezcla del suelo y estabilizante o de suelo sólo en la forma ya descrita, la misma será dejada secar al aire a temperatura ambiente del laboratorio hasta que adquiera la consistencia del límite plástico. Posteriormente, será colocada en un molde cilíndrico de 2 pulgadas de diámetro y 5 pulgadas de altura, a fin de moldear las probetas: éstas se formará en dos capas, golpeadas cada una 25 veces con un pisón de 1 pulgada de diámetro empleado en los ensayos de los suelos sin plasticidad, hasta alcanzar una altura compactada de 4 pulgadas más 1/8 pulgada. Las probetas así moldeadas se dejarán airear nuevamente hasta que puedan ser comprimidas bajo una carga de 3000 libras sin expulsar agua alrededor del pistón; esta carga compresora se mantendrá por un espacio de un minuto de modo que la altura final de la probeta alcance las 4 pulgadas. Posteriormente se sacarán del molde y dejarán airear en el

laboratorio hasta alcanzar un contenido de humedad, debajo del cual no se produce contracción aparente, después de lo cual, las probetas se colocarán en estufa a 60 °C, hasta peso constante.

2.5.3. Estabilización bituminosa

Cuando los materiales bituminosos se emplean como agentes estabilizantes de los suelos, tienden a producir distintos efectos según el tipo de suelo que deba estabilizarse.

En líneas generales, los efectos se dividen en tres grupos principales:

- Suministrar resistencia cohesiva a suelos sin cohesión propia, tales como arenas limpias, donde el asfalto actúa como agente ligante de las partículas. Este tipo de estabilización es generalmente llamada "arena-asfalto".
- Estabilizar el contenido de humedad de los suelos finos cohesivos. Este tipo de estabilización se denomina "suelo-asfalto".
- Suministrar resistencia cohesiva e impermeabilizar suelos granulares que poseen altos valores de resistencia friccional. Cuando en este tipo de estabilización se utilizan gravas de yacimiento, se la conoce con el nombre de "grava-arena-asfalto".

Los asfaltos son también usados en caminos de tierra o grava a los efectos de lograr una superficie libre de polvo, impermeable al agua y resistente a la abrasión del tránsito. Este tratamiento se utiliza para suelos gruesos o finos con plasticidad donde sólo se desea un tipo inferior de camino.

Sobre estas bases el HIGHWAY RESEARCH BOARD (HRB) establece cuatro tipos de estabilización bituminosa de uso común, y de acuerdo con la composición física del suelo disponible en cada caso y la función del asfalto incorporado, las designa de la siguiente forma:

- Suelo-asfalto: es un sistema de suelo cohesivo a prueba de agua (impermeabilizado).

- Arena-asfalto: es un sistema en el cual las arenas de playa, médanos, yacimientos o de ríos, que cumplen determinadas condiciones mínimas de estabilidad, son cementadas con material bituminoso.
- Estabilización granular impermeabilizada: es un sistema en el cual suelo grueso natural o mezcla granular, que posee buena graduación de partículas de gruesas a finas, es cementado e impermeabilizado mediante la distribución uniforme de pequeñas cantidades de asfalto.
- Suelo-aceitado (o emulsionado): es una superficie de camino de tierra o grava resistente al agua y a la abrasión del tránsito mediante la aplicación de “road-oils”, asfaltos diluidos de curado lento y medio, o emulsiones asfálticas de rotura lenta.

2.5.4. Principios de estabilización bituminosa

Cuando se tratan los suelos con o sin cohesión propia con ligantes bituminosos con un único propósito, lograr su estabilización, se debe destacar que existe una marcada diferencia en la conformación y comportamiento de la estructura inerte-betún según se utilice uno u otro material como árido. Por lo tanto, para comprender el papel que desempeña en dicha estructura cada uno de sus componentes, debe efectuarse el análisis teórico considerando las dos estructuras separadamente.

- Sistema suelo-betún.
- Sistema arena-betún.
- Sistema granular-betún (grava-arena-asfalto o suelo arena-asfalto)

En el primer sistema la estabilidad de la estructura depende esencialmente de la fricción interna del árido y de la cohesión del ligante arcilla-agua del mismo. El betún actúa como agente impermeabilizante impidiendo así el acceso de agua al suelo y su acción perjudicial sobre el ligante arcilla-agua.

Como concepto fundamental se debe destacar que en este sistema la función primordial del betún no es producir cohesión sino proteger la cohesión del ligante arcilla-agua.

Con respecto a la forma como actúa el asfalto para producir el efecto impermeabilizante en los suelos se admite que el ligante bituminoso obtura los conductos capilares del suelo impidiendo el acceso de agua una vez que la humedad de la mezcla se vaya parcialmente evaporando, permitiendo así adquirir a la misma, la estabilidad necesaria para soportar las solicitaciones a que estará sometida.

En apoyo a estas hipótesis puede citarse el hecho de que aumentando el tiempo de mezclado del suelo con el material bituminoso, más allá de ciertos límites, se verificaría una sensible disminución de la estabilidad de la mezcla a causa de una mayor distribución del betún que va recubriendo paulatinamente las partículas del suelo perturbando así el efecto cohesivo del ligante arcilla-agua. Por otra parte, es fácil verificar mediante observaciones con lupa de gran aumento que el betún se fija en los conductos capilares del suelo.

Asimismo, si a un suelo con plasticidad se le adiciona una cantidad excesiva de asfalto como para recubrir sus partículas, se observaría una sensible pérdida de estabilidad como consecuencia del mismo fenómeno.

En el segundo sistema donde el árido, de fricción interna adecuada, carece de cohesión propia, ésta debe ser aportada por el betún y por ello se observa que la cantidad de asfalto que interviene en estas estabilizaciones es superior a la del sistema anteriormente mencionado. En consecuencia la estabilización de estas arenas con materiales asfálticos implica la incorporación, hasta cierto límite, de mayores porcentajes de betún hasta recubrir las partículas y producir así el efecto ligante entre ellas. Un exceso de asfalto puede afectar la estabilidad del sistema por una disminución de la resistencia friccional de la arena. -

Por último, debe destacarse que pueden existir estabilizaciones bituminosas donde el betún cumpla, con ambas funciones, es decir, aportando cohesión faltante e impermeabilizando el sistema (por ejemplo material granulares de poca plasticidad).

2.5.5. Sello de arena asfalto

Este trabajo consiste en la aplicación de un material bituminoso sobre la superficie de un pavimento existente, seguida por la extensión y compactación de una capa de arena, de acuerdo con lo que establece esta especificación, los documentos del proyecto y las instrucciones del Interventor.

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3. CRITERIOS A UTILIZARSE

3.1. Criterio de selección de banco de materiales

El material proveniente de los distintos bancos debe presentar características uniformes. Las especificaciones de calidad para los materiales, se extrajeron de las "Standard Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway" de AASHTO.

Durante la fase de exploración de los materiales, se identificaron distintos bancos de materiales. La ubicación de los yacimientos se encuentra en proximidades de la ciudad de Tarija provincia Cercado.

Pueden obtenerse los materiales por un proceso de trituración o por simple clasificación, corrigiendo cuando sean necesarias sus deficiencias, tanto en granulometría como en plasticidad.

Para la investigación se utilizará agregados de la ciudad de Tarija con procedencia de fuentes naturales del río Santa Ana y del río Guadalquivir cuyos agregados se hayan limpios de impurezas, también se utilizará materiales procedentes de trituración perteneciente a la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija ubicada en la comunidad de la Pintada cuya procedencia de los agregados es de San Mateo.

A continuación, se describen las principales características de los materiales encontrados, así también se recomiendan las posibilidades de aprovechamiento, tanto en la conformación de terraplenes, del paquete estructural del pavimento, como en las diferentes obras complementarias:

Banco N° 1

Fuente: Natural

Ubicación: Río Guadalquivir

Coordenadas: -21.473383; -64.753658

Acceso Km: 0,2 Km.

Empleo del Banco:

- Terraplén
- Sub Base
- Base
- Pavimento flexible
- Hormigón y mampostería
- Subrasante mejorada

Observaciones: Se extrajo material proveniente de este banco porque es utilizado en varias infraestructuras en nuestro departamento, además que son mezclas alternativas para usar con materiales propias de la región que se pueden utilizar donde podemos pavimentar para bajo tránsito vehicular el lugar es de fácil acceso donde se puede extraer el material.

Banco N° 2

Fuente: Natural

Ubicación: Rio Santa Ana

Coordenadas: -21.634048;-64.648323

Acceso Km: 0,1 Km

Empleo del Banco:

- Terraplén
- Sub Base
- Base
- Pavimento flexible
- Hormigón y mampostería
- Subrasante mejorada

Observaciones: Se extrajo material proveniente de este banco ya que en la investigación planteada debemos tener de dos distintas fuentes naturales, además que son mezclas alternativas para usar con materiales propias de la región que se pueden utilizar donde podemos pavimentar para bajo tránsito vehicular la zona de este banco de material es alejada de la ciudad, el lugar es de fácil acceso donde se puede extraer el material

Banco N° 3

Fuente: Trituración

Ubicación: Pintada

Coordenadas: -21.726076;-62.3153149

Acceso Km: 0,05 Km

Empleo del Banco:

- Terraplén
- Sub Base
- Base
- Pavimento flexible
- Hormigón y mampostería
- Subrasante mejorada

Observaciones: Se escogió esta fuente de trituración para tener un parámetro de comparación con las arenas de fuentes naturales además que al momento de la selección era la única planta procesadora de áridos que tenía material proveniente de trituración en esa zona.

Tamiz (mm/U.S. Estándar)					
Arena	tamiz	4,75 mm	2 mm	0.425 mm	0.075 mm
		No. 4	No.10	No. 40	No. 200
	% contenido	25-40 %	18-32 %	10-20 %	7-10 %

Tabla 7. Faja de trabajo de las mezclas arena-asfalto. Norma de especificación AASTHO

Fuente: Norma de la Asociación de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO)

3.2. Criterios del uso de cemento asfáltico

El cemento asfáltico 85/100, es un material ligante de color marrón oscuro a negro de uso vial, constituido principalmente por hidrocarburos de alto peso molecular, como los asfaltos, alquitranes, breas, con cierto contenido de metales como Hierro, Níquel y Vanado, así como presencia de Azufre, Oxígeno y Nitrógeno. Se obtienen a partir de un proceso de desasfaltización por Propano a partir del Destilado Pesado de Petróleo.

Se aplica por dilución al agregado para la producción de pavimentos asfálticos de uso vial, aunque su aplicación por otros métodos como emulsionado, es también viable. Es un producto de excelentes calidades de penetración, adherencia y resistencia para climas fríos y templados.

Se lo adquiere en turriles o la entrega a Granel en cisternas.

Las dos cifras indican el índice máximo y mínimo de penetración.

Cemento Asfáltico 85 – 100: son aquellos fabricados a partir de la base asfáltica que proviene de los fondos de la destilación al vacío de crudos seleccionados y cuya característica de penetración está comprendida entre 85 y 100 mm/10.

Uso: el uso principal de los asfalto de penetración es en la construcción y la conservación de carreteras. El asfalto debe ser seleccionado en función de las características climáticas de la zona y las condiciones de operación de la vía a pavimentar. También se utiliza para la preparación de emulsiones asfálticas, en la industria de impermeabilizantes, y asfaltos modificados con polímeros.

Composición química del asfalto

El cemento asfáltico está compuesto por asfaltenos, resinas, aromáticos y saturados. Los asfaltenos proporcionan la dureza del asfalto, las resinas son los que aglutinan los

asfaltenos, brindando la capacidad de liga. Los aromáticos y saturados son aceites, que le dan la consistencia para que sean trabajables.

Usos del cemento asfáltico

Como el asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, presenta las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos.
- Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

Características o propiedades deseables del cemento asfáltico

Para los estudios técnicos y la construcción hay tres características o propiedades del asfalto importantes a considerar:

Consistencia:

Para caracterizar el asfalto es necesario conocer su consistencia a distintas temperaturas, puesto que son materiales termoplásticos que se licúan gradualmente al calentarlos. Consistencia es el término usado para describir el grado de fluidez o plasticidad del asfalto a cualquier temperatura dada. Para poder comparar la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro, es necesario fijar una temperatura de referencia.

Si se expone al aire el cemento asfáltico en películas delgadas y se le somete a un calentamiento prolongado, como por ejemplo en las mezclas con agregado pétreo, el asfalto tiende a endurecerse y aumentar su consistencia. Se permite un aumento limitado de ésta, por lo cual un control no adecuado de la temperatura y del mezclado puede provocar un daño al cemento asfáltico, tanto como el servicio en el camino terminado.

Comúnmente, para especificar y medir la consistencia de un asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o de penetración.

Pureza

El cemento asfáltico se compone casi enteramente de betunes, los cuales por definición, son solubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos refinados son, generalmente, más del 99,5 % solubles en bisulfuro de carbono y por lo tanto, casi betunes puros. Las impurezas son inertes o insolubles, si existieran. Normalmente el cemento asfáltico, cuando sale de la refinería, está libre de humedad, pero puede haberla en los tanques de transporte. Si hay agua inadvertida, ésta provoca espumas cuando se calienta por encima de los 100 °C (212 °F).

Seguridad

La espuma puede constituir un riesgo para la seguridad, por lo tanto las normas requieren que el asfalto no forme espuma hasta temperaturas de 175 °C (347 °F). El cemento asfáltico, si se le somete a temperaturas suficientemente elevadas, despiden vapores que arden en presencia de una chispa o llama. La temperatura a que esto ocurre, normalmente es más elevada que la de trabajo en obras de pavimentación. Sin embargo, para tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad, se debe conocer el punto de inflamación del asfalto.

Son recomendados para la construcción de carreteras, autopistas, caminos y demás vías y forman parte de la capa estructural de una vía, brindando propiedades de impermeabilidad, flexibilidad y durabilidad aún en presencia de los diferentes agentes

la externos tales como el clima, la atura, la temperatura ambiental y condiciones severas de tráfico.

Se realizó la selección del cemento asfaltico siguiendo los siguientes criterios:

Prácticamente el asfalto que utilizan en el departamento de Tarija tanto por la Honorable Alcaldía Municipal y por el SEDECA es 85-100 este asfalto es de procedencia del Brasil y es comercializado en el medio con la finalidad de ser usado en la pavimentación de carreteras.

Uno de los puntos más importantes para la selección de este asfalto es que en el Departamento de Tarija es utilizado en obras de construcción y mantenimiento de caminos y calles por La Honorable Alcaldía Municipal y por el SEDECA y estas dos instituciones mencionadas están a cargo de la pavimentación de las vías en el departamento de Tarija por eso se escogió trabajar con este cemento asfáltico para realizar trabajos de investigación enfocados en combinación de material granular con el ligante asfaltico

El cemento asfaltico 85-100, se adquirió de La Honorable Alcaldía Municipal del Departamento de Tarija para la elaboración de la investigación.

En nuestra región se utiliza este cemento asfáltico por las características de clima temperatura y humedad que presenta a comparación de otros cementos asfálticos que su tecnología todavía no ha sido bien adecuada a nuestra región

3.3. Criterio para el número de ensayos a realizarse

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

Caracterización de la arena

Granulometría: Se realizará 3 ensayos de granulometría por cada tipo de arena de los cuales se sacará un promedio.

Equivalente de la arena: Se realizara 3 ensayos de equivalente por cada tipo de arena de los cuales se sacará un promedio.

Peso específico del agregado fino: Se realizara 3 ensayos del agregado fino por cada tipo de arena de los cuales se sacará un promedio.

Índice de plasticidad: Se realizara 3 ensayos del índice de plasticidad por cada tipo de arena de los cuales se sacará un promedio.

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizarse
Granulometría	9
Equivalente de la arena	9
Peso específico del agregado fino	9
Índice de plasticidad	9

Tabla 8. Número de ensayos para el agregado

Fuente: Elaboración propia

Caracterización del cemento asfáltico

Ensayo de penetración: Se realizarán 3 ensayos de penetración para el cemento asfáltico 85-100 y se sacará su promedio.

Ensayo de viscosidad SAYBOL-FORUL: Se realizarán 3 ensayos de viscosidad para el cemento asfáltico 85-100 y se sacará su promedio.

Ensayo de ductilidad: Se realizara 3 ensayos de ductilidad del cemento asfáltico 85-100 y luego se sacará su promedio.

Ensayo de punto de inflamación: Se realizara 3 ensayos del punto de inflamación con el cemento asfáltico 85-100 y se obtendrá su promedio.

Ensayo de peso específico: Se realizará 3 ensayos de peso específico para el cemento asfáltico 85-100 y se obtendrá su promedio.

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Penetración	3
Punto de inflamación	3
Viscosidad Saybol Forul	3
Ductilidad	3
Peso específico	3

Tabla 9. Número de ensayos para el cemento asfáltico

Fuente: Elaboración propia

Mezcla asfáltica arena-cemento para la determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico:

Se procederá a realizar la dosificación con la granulometría de los agregados se tiene una dosificación tentativa con la cual se procederá a pesar 3 briquetas por cada tipo de arena con un porcentaje de cemento asfáltico que fueron asumidos a través de la extensa bibliografía consultada, en la siguiente tabla se muestran las cantidades:

Porcentaje de cemento asfáltico	Número de briquetas (unidad)
5,2%	9
5,7%	9
6,2%	9
6,7%	9
7,2%	9
Total de briquetas elaboradas	45

Tabla 10. Variaciones del porcentaje de cemento asfáltico para obtener el porcentaje óptimo.

Fuente: Elaboración propia

Detalle de la investigación:

La caracterización de los agregados provenientes de fuentes naturales y trituradas se las realizara en laboratorio, realizando 3 medidas de cada ensayo para luego obtener un promedio.

Se realizará 90 briquetas con mezcla arena-asfalto de las cuales las desglosaremos de la siguiente manera.

30 briquetas con arena de fuente natural obtenida del rio Santa Ana.

30 briquetas con arena de fuente natural obtenida del rio Guadalquivir.

30 briquetas con arena de trituración proveniente de la planta asfaltadora perteneciente a la Alcaldía Municipal de Tarija.

Descripción	Cantidad (unidad)
Arena de fuente natural 1	30
Arena de fuente natural 2	30
Arena de trituración	30
Briquetas para hallar el óptimo de cemento asfaltico	15
Número total de briquetas para los ensayos	105

Tabla 11. Cantidad de ensayos a realizarse para obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

Fuente: Elaboración propia

3.4. Muestra

Agregados de la región de distintas fuentes repartidas en dos fuentes de material natural y una fuente de material triturado, dicho agregado debe localizarse entre los tamices N° 4 y N° 200.

3.5. Muestreo

El muestreo se lo realizara mediante los ensayos respectivos de caracterización de la arena y del cemento asfaltico, y mediante el ensayo Marshall (ASTM D-1559) se analizar el comportamiento de la estabilidad y fluencia para analizar su comportamiento en pavimentos de bajo tráfico vehicular.

3.6. Levantamiento de la información

3.6.1. Ubicación de la fuente de los materiales a utilizarse

Agregado pétreo: Los materiales componentes de la investigación son de procedencia natural y triturada:

Material 1. Arena natural (procedente de fuente natural rio Guadalquivir).

Material 2. Arena natural (procedente de fuente natural rio Santa Ana).

Material 3. Arena triturada (procedente de la planta chancadora de la Honorable Alcaldía Municipal).

Cemento asfáltico: El cemento asfaltico a utilizarse es de la marca BETUNEL 85-100 cuyo distribuidor es una empresa de Brasil la ficha técnica se adjunta en el siguiente recuadro.

N°	Características	Detalle			Exigencia 85-100
		AASTHO	ASTM	NCh	
1	Penetración muestra original 25°C	T-49	D-5		85-100
2	Vaso abierto Cleveland punto de inflación °C	T-48	D92	2338	>a 232°C
5	Ductilidad 25°C	T-51	D-113	2342	>a 100cm
6	Ensayo de la mancha heptanoxilol, (20% máximo de xilol)	T-102	-	2343	(-) Negativo
7	Ensayo en horno película delgada	T-179	D-1754	2346	<a 1
8	Penetración del residuo de perdida, x calentamiento % original	T-49	D-5	2340	>a 50
9	Porcentaje de agua	T-55	-	-	<a 0,2

Tabla 12. Especificación técnica del cemento asfáltico BETUNEL

Fuente: Especificación técnica del fabricante.

CAPÍTULO IV

4. ENSAYOS

4.1. Ensayo en el agregado (arena)

Los respectivos ensayos de caracterización de la arena a realizarse en la presente investigación son los siguientes con el fin de conocer el comportamiento que tendrá en la obra a momento de construir.

4.1.1 Granulometría (ASTM C-71)

El análisis granulométrico de un material tiene por objeto separar y clasificar los gránulos de los que está formado según su tamaño, esta separación se hace mediante una colección de tamices de malla cuadrada, para disponer a la dosificación de las briquetas.

Procedimiento

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.

Granulometría del agregado fino

Tomamos la muestra y colocamos sobre la torre de tamices de N°4, N°8, N°10, N°40, N°80, N°200, inmediatamente con movimientos circulares facilitamos que las partículas puedan retenerse o pasar en cada uno de los tamices.

Los resultados del ensayo se dan en porcentajes del peso total del material 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 divide 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 el porcentaje que deja pasar el tamiz correspondiente.

Pesamos una muestra de masa de agregado fino y procedemos a tamizar dando giros circulares y procurando que pase o se retenga el material en el tamiz.

MATERIAL FINO													
Arena Natural (Fuente Natural Rio Guadalquivir)													
N°	Origen	Granulometría											
		3"	2"	1"	3/4"	1/2 "	3/8"	N°4	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
1	Granulometria 1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,60	24,60	18,10	16,10	11,30	9,10
2	Granulometria 2	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,50	25,10	17,80	16,50	11,40	7,90
2	Granulometria 3	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,40	23,90	17,40	16,40	11,00	8,40
Ensayos realiaados 3 (Fuente Natural Rio Guadalquivir)													
RESUMEN DE DATOS													
Número de Datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Promedio		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,50	24,53	17,77	16,33	11,23	8,47
Dato Máximo		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,60	25,10	18,10	16,50	11,40	9,10
Dato Mínimo		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,40	23,90	17,40	16,10	11,00	7,90
Desviación Estándar		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,60	0,35	0,21	0,21	0,60

MATERIAL FINO													
Arena Natural (Fuente Natural Rio Santa Ana)													
N°	Origen	Granulometría											
		3"	2"	1"	3/4"	1/2 "	3/8"	N°4	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
1	Granulometria 1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	27,70	28,50	9,90	11,30	10,50	8,70
2	Granulometria 2	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	28,10	27,60	9,70	12,50	11,30	9,20
2	Granulometria 3	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	28,30	27,80	10,30	11,90	10,80	8,90
Ensayos realiaados 3 (Fuente Natural Rio Santa Ana)													
RESUMEN DE DATOS													
Número de Datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Promedio		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	28,03	27,97	9,97	11,90	10,87	8,93
Dato Máximo		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	28,30	28,50	10,30	12,50	11,30	9,20
Dato Mínimo		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	27,70	27,60	9,70	11,30	10,50	8,70
Desviación Estándar		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,47	0,31	0,60	0,40	0,25

MATERIAL FINO													
Arena Natural (Fuente de trituración)													
N°	Origen	Granulometría											
		3"	2"	1"	3/4"	1/2 "	3/8"	N°4	N°10	N°16	N°40	N°80	N°200
1	Granulometria 1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,70	19,60	14,80	14,80	14,40	8,70
2	Granulometria 2	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,50	19,90	15,60	14,60	14,80	7,90
2	Granulometria 3	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,20	20,40	15,10	15,20	14,20	8,50
Ensayos realizados 3 (Fuente Natural Rio Santa Ana)													
RESUMEN DE DATOS													
Número de Datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Promedio		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,47	19,97	15,17	14,87	14,47	8,37
Dato Máximo		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,70	20,40	15,60	15,20	14,80	8,70
Dato Mínimo		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,20	19,60	14,80	14,60	14,20	7,90
Desviación Estándar		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,40	0,40	0,31	0,31	0,42

4.1.2. Equivalente de la arena y agregado fino (ASTM D 2419)

Este ensayo tiene por objetivo asignar un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino, polvo nocivo o material arcilloso presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular.

Procedimiento:

Primero debemos hacer pasar el material por el tamiz N° 4 para tener una muestra representativa.

Con ayuda del embudo, se vierte la muestra aproximada de 40 gr de arena en el cilindro graduado.

Golpear varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y remojar la muestra completamente. Dejar en reposo durante 10 ± 1 minuto.

Procedimiento de irrigación.

Colocar el tubo irrigador en la parte superior del cilindro y lavar el material de las paredes del cilindro, Dejar el cilindro y el contenido en reposo por $20 \text{ min} \pm 15\text{s}$. Comenzar a medir el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador.

Al finalizar los 20 min del periodo de sedimentación, leer y anotar los niveles alcanzados.



Ensayo	Lecturas			Promedio
	1	2	3	
Ensayo n°				
Lectura nivel superior	4,80	4,90	4,70	
Lectura nivel inferior	3,90	3,80	3,80	
% de arena	81,25	77,55	80,85	79,90

Tabla 13. Equivalente de la arena (Fuente natural: Procedencia rio Guadalquivir)

Utilizamos el promedio para realizar los cálculos:

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

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{3,80}{4,80} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = 79,90 \%$$

Ensayo	Lecturas			Promedio
	1	2	3	
Ensayo n°				
Lectura nivel superior	5,20	5,40	5,30	
Lectura nivel inferior	3,50	3,60	3,80	
% de arena	67,31	66,67	71,70	68,60

Tabla 14. Equivalente de la arena (Fuente natural: Procedencia rio Santa Ana)

Utilizamos el promedio para realizar los cálculos:

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

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{3,80}{5,30} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = 68,60 \%$$

Ensayo	Lecturas			Promedio
Ensayo n°	1	2	3	
Lectura nivel superior	23,80	24,10	23,80	
Lectura nivel inferior	12,40	12,50	12,70	
% de arena	52,10	51,90	53,40	52,40

Tabla 15. Equivalente de la arena (Fuente: Procedencia de trituración Planta asfaltadora de La Pintada)

Utilizamos el promedio para realizar los cálculos:

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

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{12,50}{23,90} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = 52,40 \%$$

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

Definición.- Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso. El peso específico aparente es la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente.

- **Procedimiento**

Se debe primeramente homogeneizar completamente la muestra y eliminar el material de tamaño superior al tamiz No.4, se selecciona, por cuarteo, una cantidad de aproximadamente 1000 g, que se seca en el horno a 100 - 110°C, se enfría luego al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante. A continuación se cubre la muestra completamente con agua y se la deja así sumergida durante 24 ± 4 horas.

Esta muestra se la deseca de forma uniforme, se lo coloca en un molde cónico que se apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla.

Inmediatamente, se introducen en el picnómetro previamente tarado, y se lo pesa sacando antes las burbujas que pudieron quedar atrapadas en su interior.



Descripción	Unidad	Arena triturada	Arena triturada	Arena triturada
Peso Frasco Seco Vacío (u)	grs.	0	0	0
Peso Frasco+Muestra(f)	grs.	311,900	311,000	311,200
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca(x=f-u)	grs.	500,000	500,000	500,000
Peso Muestra Seca (a)	grs.	490,500	491,100	490,800
Peso Agua (t)	grs.	826,600	826,600	826,600

Peso Muestra + Agua (b)	grs.	1138,500	1137,600	1137,800
Peso Espec. del Agreg. Seco (a/((x+t)-b))	grs./cm ³	2,608	2,598	2,600
P. E. A. Saturado Sup. Seco(x/((x+t)-b))	grs./cm ³	2,658	2,646	2,648
Peso Específico Aparente (a/(a+t)- b))	grs./cm ³	2,746	2,727	2,733
% de Absorción ((x-a)/a)*100	%	1,937	1,812	1,874

Tabla 16. Peso específico de la arena (Fuente: Procedencia de trituración Planta asfáltadora de La Pintada)

Peso específico del agregado seco =

$$\frac{\text{Peso muestra seca}}{((\text{Peso muestr. sat. sup seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso muestra} + \text{agua})}$$

$$\text{Peso esp. del agre. seco} = \frac{490,8 \text{ gr}}{((500 \text{ gr} + 826,6 \text{ gr}) - 1137,8)}$$

$$\text{Peso esp. del agre. seco} = 2,6 \text{ gr/cm}^3$$

Peso específico saturado superficie seco =

$$\frac{\text{Peso muestra saturada superficie seca}}{((\text{Peso muestr. sat. sup seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso muestra} + \text{agua})}$$

Peso específico saturado superficie seco =

$$\frac{\text{Peso muestra saturada superficie seca}}{((\text{Peso muestr. sat. sup seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso muestra} + \text{agua})}$$

$$\text{Peso espec. satur. superficie seco} = \frac{500 \text{ gr}}{((500 \text{ gr} + 826,6 \text{ gr}) - 1137,8 \text{ gr})}$$

$$\text{Peso espec. satur. superficie seco} = 2,65 \text{ gr/cm}^3$$

Peso específico aparente =

$$\frac{\text{Peso muestra seca}}{((\text{Peso muestr. seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso muestra} + \text{agua})}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{490,8\text{gr}}{((490,8\text{gr} + 826,6\text{ gr}) - 1137,8\text{gr})}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,733 \text{ gr/cm}^3$$

Descripción	Unidad	Arena	Arena	Arena
Peso frasco seco vacío (u)	grs.	0	0	0
Peso frasco+muestra(f)	grs.	312,100	312,500	309,100
Peso muestra saturada de superficie seca(x=f-u)	grs.	500,000	500,000	500,000
Peso muestra seca (a)	grs.	492,600	493,300	491,100
Peso agua (t)	grs.	828,500	826,600	826,600
Peso muestra + agua (b)	grs.	1140,600	1139,100	1135,700
Peso espec. del agreg. seco (a/((x+t)-b))	grs./cm3	2,622	2,631	2,573
P. E. A. saturado sup. seco(x/((x+t)-b))	grs./cm3	2,661	2,667	2,619
Peso específico aparente (a/(a+t)-b))	grs./cm3	2,729	2,728	2,698
% de absorción ((x-a)/a)*100	%	1,502	1,358	1,812

Tabla 17. Peso específico de la arena (Fuente natural: Procedencia río Guadalquivir)

Descripción	Unidad	Arena	Arena	Arena
Peso frasco seco vacío (u)	grs.	0	0	0
Peso frasco+muestra(f)	grs.	312,800	312,200	310,600
Peso muestra saturada de superficie seca(x=f-u)	grs.	500,000	500,000	500,000
Peso muestra seca (a)	grs.	492,600	490,400	491,600
Peso agua (t)	grs.	826,700	826,700	820,700
Peso muestra + agua (b)	grs.	1139,500	1138,900	1136,800
Peso espec. del agreg. seco (a/((x+t)-b))	grs./cm3	2,631	2,611	2,673
P. E. A. saturado sup. seco(x/((x+t)-b))	grs./cm3	2,671	2,662	2,719

Límites de Atterberg (Límite Plástico) AASHTO T-90							
							N.P.

Límite Líquido	12,8		Límite Plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0,0	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145	
Coefficiente de uniformidad	47,50	D60=	D30=	8,47	D10=	0,58	AASHTO	A - 1a(0)
							Unificada	

Tabla 19. Límites de Atterberg (Límite Líquido) (Fuente: Procedencia de trituración Planta asfáltadora de La Pintada)

Límites de Atterberg (Límite líquido) AASHTO T-89							
N° Tara	Peso suelo hum. + tara	Peso suelo seco + tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo	% de hum.	N° de golpes
85	31,65	29,63	2,02	15,79	13,84	14,60	7

Límites de Atterberg (Límite Plástico) AASHTO T-90							
							N.P.

Límite Líquido	12,5		Límite Plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0,0	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145	
Coefficiente de uniformidad	47,50	D60=	D30=	8,47	D10=	0,58	AASHTO	A - 1a(0)
							Unificada	

Tabla 20. Límites de Atterberg (Límite Líquido) (Fuente natural: Procedencia río Guadalquivir)

Límites de Atterberg (Límite líquido) AASHTO T-89							
N° Tara	Peso suelo hum. + tara	Peso suelo seco + tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo	% de hum.	N° de golpes
89	31,70	30,30	1,40	18,50	11,80	11,86	8

Límites de Atterberg (Límite Plástico) AASHTO T-90							
							N.P.

Límite Líquido	10,3		Límite Plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0,0	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145	
Coefficiente de uniformidad	47,50	D60=	D30=	8,47	D10=	0,58	AASHTO	A - 1a(0)
							Unificada	

Tabla 21. Límites de Atterberg (Límite Líquido) (Fuente natural: Procedencia río Santa Ana)

TABLA DE RESULTADOS

De los ensayos realizados a los agregados pétreos se tiene los siguientes resultados, los mismos que son comparados con su respectiva especificación exigida por la norma AASTHO y se presentan en la siguiente tabla. Observándose que todos y cada uno de los ensayos realizados cumplen con los requerimientos.

Ensayos	Especificación		Resultado			Norma
	Mínimo	Máximo	Fuente natural 1 rio Guadalquivir	Fuente natural 2 rio Santa Ana	Fuente trituración	
Equivalente de la arena (%)			79,900	68,600	52,400	ASTM D-2419
Peso específico de finos (Tn/m ³)	-		2,695	2,700	2,702	ASTM D-128
Absorción de agregado Fino (%)	-		1,556	1,723	1,874	ASTM D-128
Límites de Attemberg	-		NP	NP	NP	

Tabla 22. Resultados y comparaciones del agregado con la norma ASTM

Fuente 1: Agregado fino procedente de fuente natural en específico de río Guadalquivir.

Fuente 2: Agregado fino procedente de fuente natural en específico de río Santa Ana.

Fuente 3 de Trituración: Agregado fino procedente de la planta asfaltadora ubicada en la comunidad de La Pintada.

4.2. Ensayo en el ligante asfáltico

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

4.2.1. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol(ASTM E-102)

Este ensayo se emplea normalmente para cementos asfálticos, emulsiones y aceites y sirve para determinar el tiempo en segundos, necesarios para que pasen 60 centímetros cúbicos de líquido, a una temperatura determinada, a través de un tubo de dimensiones específicas.

Procedimiento

Se comienza el ensayo limpiando perfectamente el recipiente con un disolvente eficaz, por ejemplo, gasolina, teniendo cuidado de que no quede disolvente en el interior del cilindro.

Se echa en el recipiente ya limpio una cantidad de muestra que sea suficiente para mojar completamente su superficie dejando que fluya el exceso. Se coloca el tapón en la parte inferior del tubo de salida, de manera que quede introducido más de 6.3 mm. y menos de 9.5 mm.

Se vierte la muestra en el tubo hasta que deje de rebosar dentro del cilindro de rebose tras lo cual se mantendrá bien revuelta por medio del termómetro. La temperatura del baño se debe graduar hasta que la temperatura de la muestra dentro del tubo sea constante.

Se coloca el frasco calibrado de 60 cm³ en una posición tal que quede centrado con respecto al orificio de salida y que el material al fluir no toque las paredes del frasco.

El ensayo se empieza sacando rápidamente el tapón del corcho del tubo, poniendo en marcha al mismo tiempo el cronómetro. Se para el cronómetro cuando la parte inferior del menisco alcanza la graduación del cuello del frasco calibrado.

Datos obtenidos en los ensayos de laboratorio:

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Viscosidad Saybolt 135 °C AASHTO T-72	seg.	130	132	132
Número de ensayos realizados	3			

Tabla 23. Datos del ensayo de viscosidad.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados:

Resultado: 131,333 segundos.

4.2.2. Ensayo de penetración (ASTM D-5)

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C (77°F) durante un tiempo de 5 s y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 gramos, aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas.

Procedimiento.

Se separarán con una espátula caliente unos 400 a 500 gramos de material que se colocarán en un recipiente, que se calienta cuidadosamente hasta que este fluido se lo

coloca en 3 moldes. Se lo deja enfriar por una hora a temperatura ambiente y se lo coloca en el baño María por una hora a de 25°C.

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

Datos obtenidos en los ensayos de laboratorio:

Ensayo		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Penetración a 25°C, 100s. 5seg.(0.1mm)	Lectura N°1	mm.	91	90	90
	Lectura N°2	mm.	90	93	90
	Lectura N°3	mm.	93	91	92
Número de ensayos realizados		3			

Tabla 24. Datos del ensayo de penetración.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: 91,111 a 25°C, 100grs. 5seg. (0.1mm)

4.2.3. Ensayo de ductilidad (ASTM D-113)

El ensayo de ductilidad, da la distancia en centímetros que una muestra normalizada de ligante asfáltico puede alargarse antes de que se rompa en dos.

Procedimiento

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

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

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

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

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

Datos obtenidos en los ensayos de laboratorio:

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	132	128	130
Número de ensayos realizados		3		

Tabla 25. Datos del ensayo de ductilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos:

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: 130 cm 25°C

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

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

Procedimiento

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

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

Datos obtenidos en los ensayos de laboratorio:

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	258	256	258
Número de ensayos realizados	3			

Tabla 26. Datos del ensayo de punto de inflamación.

Fuente: Elaboración propia.

Realizando el cálculo de la medio de los ensayos realizados.

Resultado: 257.333 °C

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

Se entiende como peso específico de un material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25°C.

Procedimiento

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

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

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

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

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

Mantener el picnómetro dentro del baño de agua durante un período no menor de 30 minutos. Sacar y pesar, este peso del picnómetro con la muestra y con agua, se designa como D.

Datos obtenidos en los ensayos de laboratorio:

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso picnómetro	gr.	62,02	62,02	62,02
Peso picnómetro + Agua (25°C)	gr.	142,75	142,75	142,75
Peso picnómetro + Muestra	gr.	126,72	123,55	124,23
Peso picnómetro + Agua + muestra	gr.	143,90	143,96	143,92
Número de ensayos realizados	3			

Tabla 27. Datos del ensayo de peso específico.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo:

Peso específico del cemento asfáltico =

$$\frac{\text{Peso picnómetro+muestra}}{(\text{Peso picn.}+\text{agua})(\text{Peso pic+muestra}-\text{peso picnómetro})(\text{Pesopic.}+\text{agua+muestra})} * 0,997$$

$$\text{Peso Esp. del CA.} = \frac{126,72\text{gr}}{((142,75\text{gr}) + 126,72\text{gr} - 62,02\text{gr}) - (143,9)} * 0,997$$

$$\text{Peso Esp. del CA.} = 1,015 \text{ gr/cm}^3$$

De igual manera se calcula el peso específico de cemento asfáltico con los datos del ensayo 2, 3 y se obtiene un promedio.

Resultado:

$$\text{Peso específico del CA} = 1,016 \text{ gr/cm}^3$$

TABLA DE RESULTADOS

De los ensayos realizados al cemento asfáltico BETUMEN 85-100 se tiene los siguientes resultados, los mismos que son comparados con su respectiva especificación exigida, proveniente de la normativa AASTHO y del distribuidor, valores se encuentran en la siguiente tabla.

Ensayos	85-100		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Viscosidad Saybolt-Furol a 135C, °C (seg)	85	-	131,3	ASTM D-102
Penetración muestra original (25 °C, 100gr, 5s)mm/10	85	100	91	ASTM D-5
Ductilidad a 25°C AASTHO T-51 (cm)	100	-	130	ASTM D-113
Punto de inflamación, Copa Cleveland, °C	232	-	257,3	ASTM D-92
Peso específico (gr/cm ³)	1	1,05	1,	ASTM D-70

Tabla 28. Resultados y comparaciones de Cemento Asfáltico con norma ASTM.

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Mezcla asfáltica

4.3.1. Mezcla del agregado fino

En la presente investigación se realizará la mezcla de agregados provenientes de fuentes naturales del río Guadalquivir y Santa Ana, así también de la planta de asfalto de la Honorable Alcaldía Municipal de la ciudad de Tarija ubicada en la comunidad de La Pintada, para la cual se debe cumplir con una faja granulométrica especificada en normativa.

Para el diseño de dicha faja se utilizó los materiales que se disponía, en el agregado fino, con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 100% de agregado fino y un pequeño porcentaje de filler especificada en la faja granulométrica de la mezcla.

En la siguiente tabla se presenta los pesos del material retenidos en cada tamiz.

AGREGADO		Grava		Gravilla		Arena		Arena		Arena		% QUE PASA	FAJA		TOLERANCIAS (+/-)	FAJA		
%USADO						100%				0%			CURVA DE TRABAJO			ESPECIF. GRAD. MEDIA		
TAMICES		%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.		INF.	SUP.			INF.	SUP.
PULG	mm.																	
1"	25,40		0,0		0,0	100,0	100,0				0,0	100,0	100	100	□%	0	0	
3/4"	19,10		0,0		0,0	100,0	100,0				0,0	100,0	100	100	□%	100	0	
1/2"	12,50		0,0		0,0	100,0	100,0				0,0	100,0	100	100	5%	100	100	
3/8"	9,50		0,0		0,0	100,0	100,0				0,0	100,0	100	100		100	100	
#4	4,75		0,0		0,0	32,5	32,5				0,0	32,5	25	40	7%	25	40	
#10	2,360		0,0		0,0	24,5	24,5				0,0	24,5	18	32	5%	18	32	
#16	1,180		0,0		0,0	17,8	17,8				0,0	17,8	0	0		0	42	
#40	0,425		0,0		0,0	16,3	16,3				0,0	16,3	10	20	3%	10	20	
#80	0,180		0,0		0,0	11,2	11,2				0,0	11,2	0	0		0	0	
#200	0,075		0,0		0,0	8,5	8,5				0,0	8,5	7	10	2%	7	11	

Tabla 29. Dosificación de los materiales planilla de granulometría proyectada (fuente natural: río Guadalquivir)

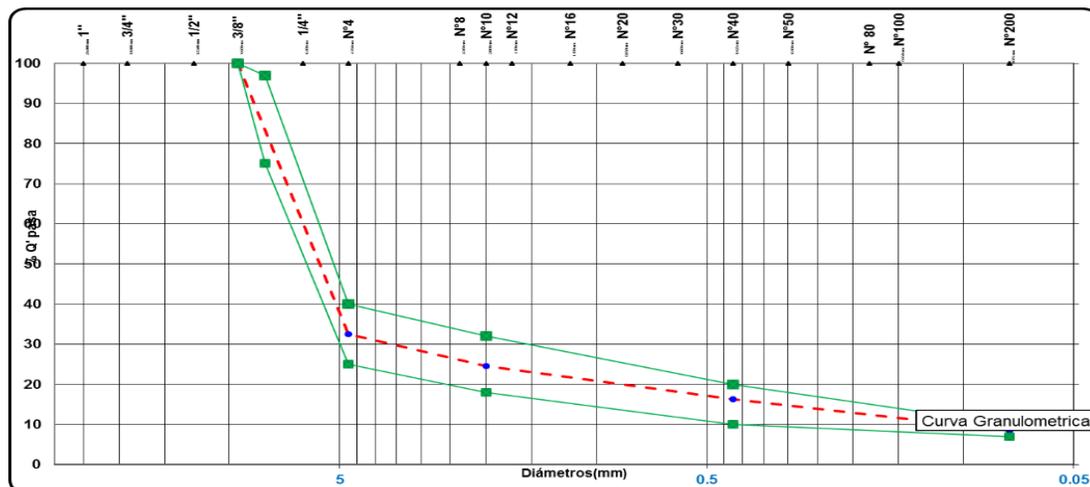


Gráfico 1. Granulometría y su respectiva faja de trabajo para una mezcla arena-asfalto.

AGREGADO		Grava		Gravilla		Arena		Arena		Arena		% QUE PASA	FAJA		TOLERANCIAS (+/-)	FAJA		
% USADO						100%				0%			CURVA DE TRABAJO			ESPECIF. GRAD. MEDIA		
PULG	mm.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.		INF.	SUP.			INF.	SUP.
1"	25,40		0,0		0,0	100,0	100,0		0,0		0,0	100,0	100	100	□%	0	0	
3/4"	19,10		0,0		0,0	100,0	100,0		0,0		0,0	100,0	100	100	□%	100	0	
1/2"	12,50		0,0		0,0	100,0	100,0		0,0		0,0	100,0	100	100	5%	100	100	
3/8"	9,50		0,0		0,0	100,0	100,0		0,0		0,0	100,0	100	100	□%	100	100	
#4	4,75		0,0		0,0	28,0	28,0		0,0		0,0	28,0	25	40	7%	25	40	
#10	2,360		0,0		0,0	28,0	28,0		0,0		0,0	28,0	18	32	5%	18	32	
#16	1,180		0,0		0,0	10,0	10,0		0,0		0,0	10,0	0	0		0	42	
#40	0,425		0,0		0,0	11,9	11,9		0,0		0,0	11,9	10	20	3%	10	20	
#80	0,180		0,0		0,0	10,9	10,9		0,0		0,0	10,9	0	0	□%	0	0	
#200	0,075		0,0		0,0	8,9	8,9		0,0		0,0	8,9	7	11	2%	7	11	

Tabla 30. Dosificación de los materiales planilla de granulometría proyectada (fuente natural: río Santa Ana)

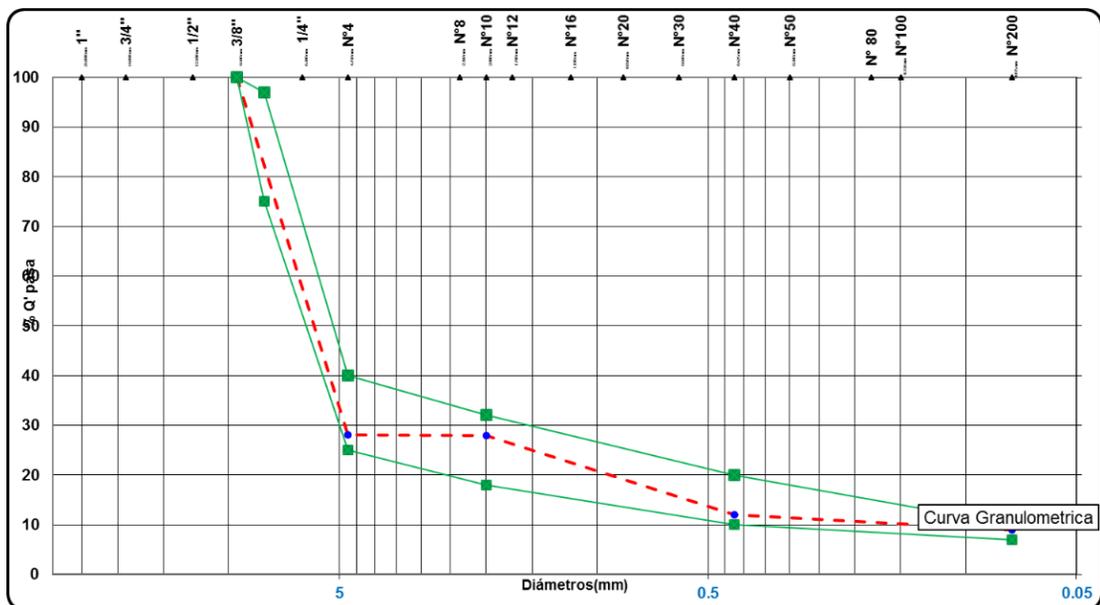


Gráfico 2. Granulometría y su respectiva faja de trabajo para una mezcla arena-asfalto.

AGREGADO		Grava		Gravilla		Arena Triturada		Arena		Arena		% QUE PASA	FAJA		TOLERANCIAS (+/-)	FAJA		
% USADO						100%				0%			CURVA DE TRABAJO			ESPECIF. GRAD. MEDIA	ESPECIF. GRAD. MEDIA	
TAMICES		% TOTAL	% ENC.	% TOTAL	% ENC.	% TOTAL	% ENC.	% TOTAL	% ENC.	% TOTAL	% ENC.		INF.	SUP.			INF.	SUP.
PULG	mm.																	
1"	25,40		0,0		0,0	100,0	100,0		0,0		0,0	100,0	100	100	0%	0	0	
3/4"	19,10		0,0		0,0	100,0	100,0		0,0		0,0	100,0	100	100	0%	100	0	
1/2"	12,50		0,0		0,0	100,0	100,0		0,0		0,0	100,0	100	100	5%	100	100	
3/8"	9,50		0,0		0,0	100,0	100,0		0,0		0,0	100,0	100	100	0%	100	100	
#4	4,75		0,0		0,0	32,5	32,5		0,0		0,0	32,5	25	40	7%	25	40	
#10	2,360		0,0		0,0	20,0	20,0		0,0		0,0	20,0	18	32	5%	18	32	
#16	1,180		0,0		0,0	15,2	15,2		0,0		0,0	15,2	0	0	5%	0	42	
#40	0,425		0,0		0,0	14,9	14,9		0,0		0,0	14,9	10	20	3%	10	20	
#80	0,180		0,0		0,0	14,5	14,5		0,0		0,0	14,5	0	0	0%	0	0	
#200	0,075		0,0		0,0	8,4	8,4		0,0		0,0	8,4	7	10	2%	7	11	

Tabla 31. Dosificación de los materiales planilla de granulometría proyectada (fuente triturada)

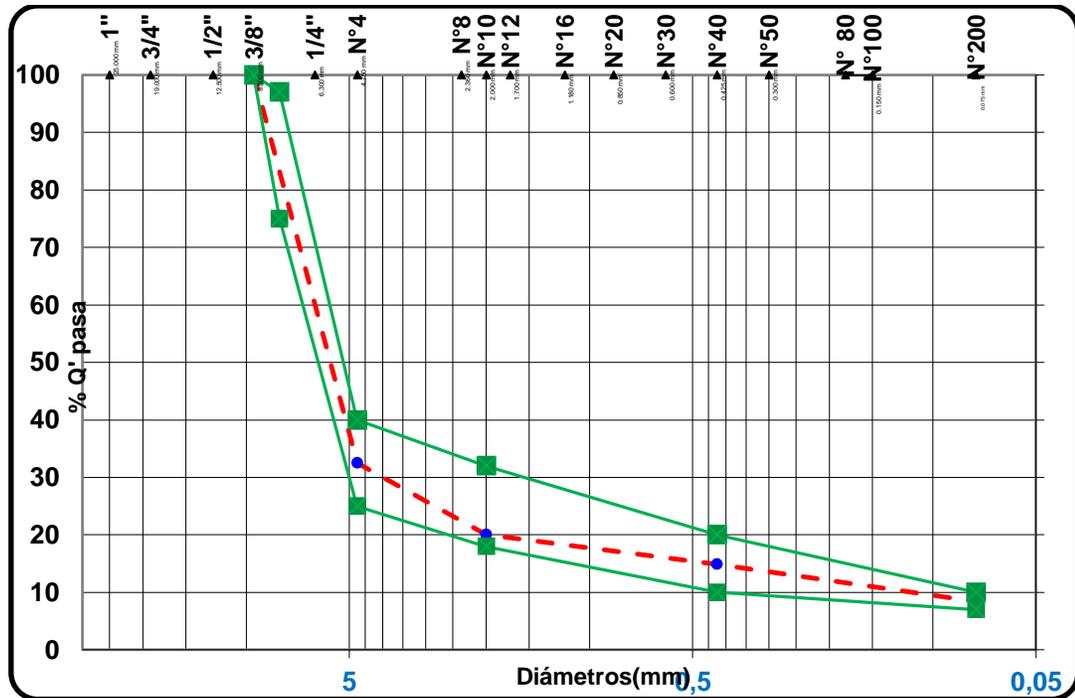


Gráfico 3. Granulometría y su respectiva faja de trabajo para una mezcla arena-asfalto.

4.3.2. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico 85-100

4.3.2.1. *Diseño de la mezcla asfáltica con el Método Marshall (ASTM D-1559).*

Para la determinación del contenido óptimo del cemento asfáltico se procede a realizar el diseño de 15 briquetas mediante el método Marshall, con porcentajes diferentes de cemento asfáltico para conocer el porcentaje óptimo a utilizar.

1. **Determinación del porcentaje óptimo de asfalto:**

1.1. Ecuación N° 1 Determinación de la cantidad aproximada de asfalto.

$$\%A = 0,035a + 0,045b + K.c + F$$

%A= % de asfalto en la mezcla.

a= % Retenido tamiz N°8.

b= % Pasante tamiz N°8.

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

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

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

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

F= de 0 a 2% que varía según la absorción del material.

Cálculo: arena de río Guadalquivir

$$a = 24,6\%$$

$$b = 32,5\%$$

$$c = 8,5\%$$

k= Se toma el valor de 0,2.

$$F \text{ (porcentaje de absorción de la mezcla de los agregados)} = (0,4 * 1,218) + (0,6 * 1,9) = 1,627$$

$$\%A = 0.035a + 0.045b + K.c + F$$

$$\%A = 0,035(24,6) + 0,045(32,5) + (0,2) * (8,5) + (1,627) \Rightarrow \%A = 5,65 \%$$

Los porcentajes de asfalto para los que se trabajaran en las diferentes briquetas son los siguientes: 5,2%, 5,7%, 6,2%, 6,7%, 7,2%.

4.3.2.2. Preparación de las probetas

Para la dosificación de las probetas se utilizó la granulometría ya calculada anteriormente:

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se prepararán 5 grupos de briquetas para la mezcla de agregados, de forma que en las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido, cada grupo con diferente contenido de asfalto. Este contenido variara con incrementos de 0.5% de un grupo a otro grupo.

1. Porcentaje de cemento asfáltico 5,20%, con arena del río Guadalquivir.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Retenido tamiz	5.20%	
				Peso parcial gr.	Peso acumulado gr.
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nº4	32,50	67,50	67,50	767,90	767,90
Nº10	24,50	75,50	8,00	91,00	858,90
Nº16	17,80	82,20	6,70	76,20	935,10
Nº40	16,30	83,70	1,50	16,60	951,70
Nº80	11,20	88,90	5,20	59,00	1010,80
Nº200	8,50	91,60	2,70	30,70	1041,50
Filler	0,00	100,00	8,50	96,10	1137,60
Peso total=				1137,60	
Peso muestra=				1137,60	
Peso asfalto=				62,40	
Peso total material + c. asf.=				1200,00	

2. Porcentaje de cemento asfáltico 5,70%, con arena del río Guadalquivir.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	5.70%	
				Peso parcial gr.	Peso acumulado gr.
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nº4	32,50	67,50	67,50	763,80	763,80
Nº10	24,50	75,50	8,00	90,50	854,40
Nº16	17,80	82,20	6,70	75,80	930,20
Nº40	16,30	83,70	1,50	16,50	946,70
Nº80	11,20	88,90	5,20	58,70	1005,40
Nº200	8,50	91,60	2,70	30,60	1036,00
Filler	0,00	100,00	8,50	95,60	1131,60
Peso total=				1131,60	
Peso muestra=				1131,60	
Peso asfalto=				68,40	
Peso total material + c. asf.=				1200,00	

3. Porcentaje de cemento asfáltico 6,20%, con arena del río Guadalquivir.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	6.20%	
				Peso parcial gr.	Peso acumulado gr.
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nº4	32,50	67,50	67,50	759,80	759,80
Nº10	24,50	75,50	8,00	90,00	849,80
Nº16	17,80	82,20	6,70	75,40	925,20
Nº40	16,30	83,70	1,50	16,40	941,70
Nº80	11,20	88,90	5,20	58,40	1000,10
Nº200	8,50	91,60	2,70	30,40	1030,50
Filler	0,00	100,00	8,50	95,10	1125,60
Peso total=				1125,60	
Peso muestra=				1125,60	
Peso asfalto=				74,40	
Peso total material + c. asf.=				1200,00	

4. Porcentaje de cemento asfáltico 6,70%, con arena del río Guadalquivir.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	6.70%	
				Peso parcial gr.	Peso acumulado gr.
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nº4	32,50	67,50	67,50	755,70	755,70
Nº10	24,50	75,50	8,00	89,60	845,30
Nº16	17,80	82,20	6,70	75,00	920,30
Nº40	16,30	83,70	1,50	16,30	936,70
Nº80	11,20	88,90	5,20	58,10	994,80
Nº200	8,50	91,60	2,70	30,20	1025,00
Filler	0,00	100,00	8,50	94,60	1119,60
Peso total=				1119,60	
Peso muestra=				1119,60	
Peso asfalto=				80,40	
Peso total material + c. asf.=				1200,00	

5. Porcentaje de cemento asfáltico 7.20%, con arena del río Guadalquivir.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	7.20%	
				Peso parcial gr.	Peso acumulado gr.
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nº4	32,50	67,50	67,50	751,70	751,70
Nº10	24,50	75,50	8,00	89,10	840,80
Nº16	17,80	82,20	6,70	74,60	915,40
Nº40	16,30	83,70	1,50	16,30	931,60
Nº80	11,20	88,90	5,20	57,80	989,40
Nº200	8,50	91,60	2,70	30,10	1019,50
Filler	0,00	100,00	8,50	94,10	1113,60
Peso total=				1113,60	
Peso muestra=				1113,60	
Peso asfalto=				86,40	
Peso total material + c. asf.=				1200,00	

Las tablas vistas anteriormente nos muestran las cantidades de agregado fino y cemento asfáltico a utilizar para realizar las briquetas y obtener los diferentes puntos, de esta manera poder obtener mediante una gráfica un porcentaje óptimo de cemento asfáltico para el diseño de la mezcla asfáltica arena-cemento.

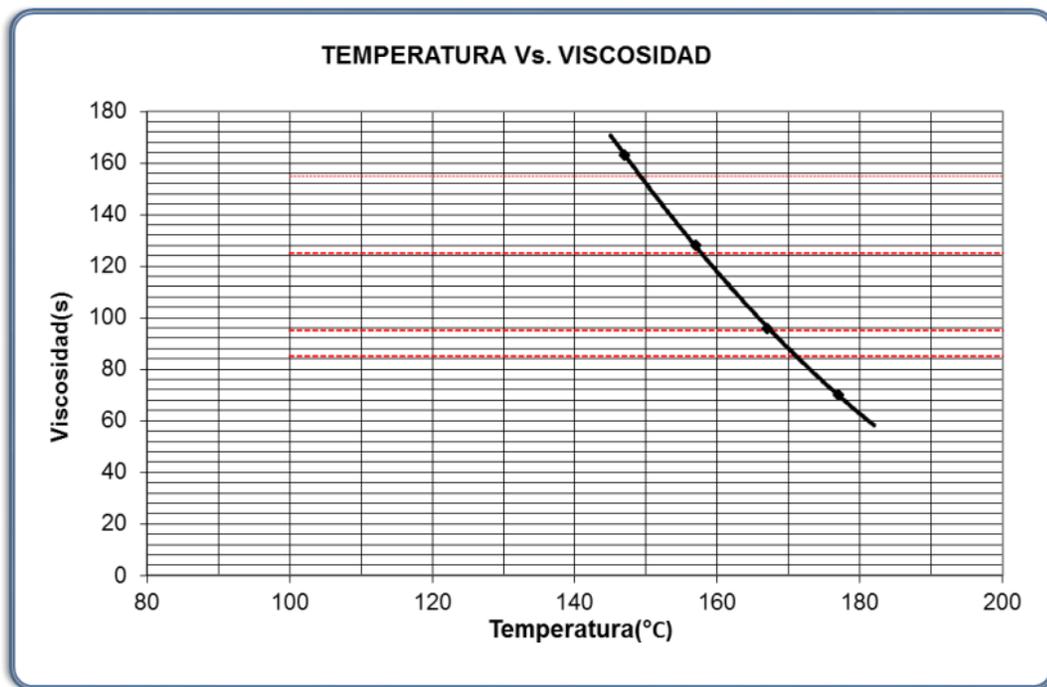
4.3.2.2. *Ensayo de viscosidad vs temperatura para la elaboración de mezclas de asfálticas convencionales*

Ensayo de viscosidad vs temperatura del cemento asfáltico 85-100:

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

Punto	Temperatura °C	Viscosidad
1	125	163
2	135	128
3	145	96
4	155	70

- **Aplicación:** Específico: Viscosidad 85 – 95 Saybolt Furol
Temperatura 146 y 149 °C
- **Compactado:** Específico Viscosidad 125 - 155 Saybolt Furol
Temperatura 127 y 136 °C



4.4. Desarrollo de las briquetas

Equipo:

- Martillo de compactación.
- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de probetas.
- Balanza $A \pm 0.1$ gr.
- Bandejas metálicas.
- Placa de calentamiento.
- Termómetro
- Espátula.
- Medidor de la estabilidad.
- Mezcla de agregados propios de la región.
- Asfalto 85-100

Procedimiento:

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

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

Se pesan luego sobre un plato las diversas fracciones de áridos de acuerdo con los pesos acumulativos. Se mezclan perfectamente los agregados y se forma un cráter en la mezcla, se coloca la bandeja sobre la balanza y se vierte sobre los agregados el asfalto

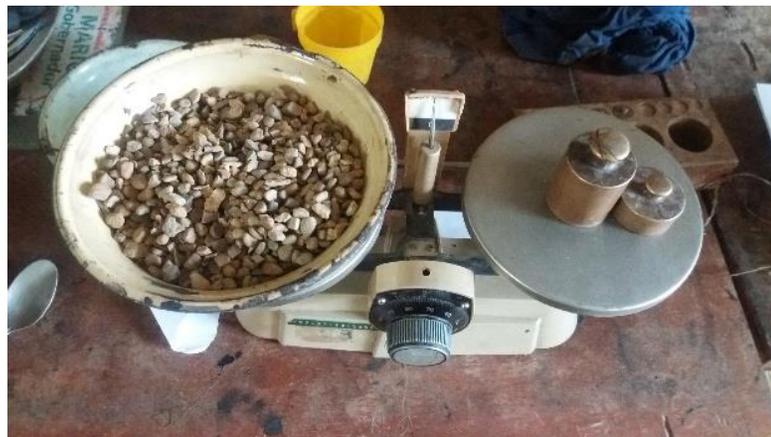
caliente, hasta completar el peso total de agregados más asfalto calculado para un porcentaje de la mezcla total.

Se mezcla el asfalto con los agregados, hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 107°C ni en ningún caso someterse a recalentamiento.

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

Un disco circular de 4" de diámetro que se fija sobre la superficie de la mezcla a compactarse; un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza a lo largo de una guía y cae sobre el disco, el peso del martillo es de 10 libras y la altura de caída libre es de 18".

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 50 golpes por cada cara de la briqueta especificado en mezclas asfálticas de bajo tránsito vehicular.





4.5. Ensayo de estabilidad y fluencia

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

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

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

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

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

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





Desarrollo de la planilla

1.2. Se realizará un cálculo demostrativo para la briqueta con porcentaje de cemento asfáltico de 5.2%

- Identificación

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

- Altura de la briqueta

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 5,2% sus alturas correspondientes son las siguientes:

Identificación	Altura briqueta (cm)
1	6.54
2	6,58
3	6,60

- Porcentaje de asfalto
- Base de agregado

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

$$\text{Base de agregado} = \frac{5,2 * 100}{100 - 5,2}$$

$$\text{Base de agregado} = 5,49$$

- Base de la mezcla

Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 5,2%.

- Peso de la briqueta en el aire

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

Identificación	Peso briqueta en el aire (gr)
1	1189,70
2	1191,50
3	1190,80

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

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

Identificación	Peso briqueta en el aire S.S.S. (gr)
1	1190,50
2	1192,80
3	1192,50

- Peso de la briqueta sumergida en el agua

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

Identificación	Peso briqueta sumergida (gr)
1	675,50
2	672,00
3	676,60

- Volumen de la briqueta

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

Vol. de briq. = 1190,5gr – 675,5 gr

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

- Densidad de la briqueta

Densidad real de la briqueta

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

$$D \text{ real} = \frac{1189.7 \text{ gr}}{515 \text{ cm}^3}$$

$$D \text{ real} = 2,31 \text{ gr/cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

Densidad máxima teórica de la briqueta

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

$$D \text{ maxt} = \left(\frac{5,2}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right)^{100} + \left(\frac{100 - 5,2}{2,302 \text{ gr/cm}^3} \right)$$

$$D_{\text{max t.}} = 2,486 \text{ gr/cm}^3$$

- Porcentaje de vacíos

Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

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

$$Vv = \left(\frac{2,486 \text{ gr/cm}^3 - 2,302 \text{ gr/cm}^3}{2,486 \text{ gr/cm}^3} \right) * 100$$

$$Vv = 7,39\%$$

Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM)

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

$$VAM = \left(\frac{5,2 * 2,302 \text{ gr/cm}^3}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right) + 7,39\%$$

$$VAM = 19,17\%$$

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

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

$$RBV = \left(\frac{19,17 - 7,39}{19,17} \right) * 100$$

$$RBV = 61,45\%$$

- Estabilidad (Lb)

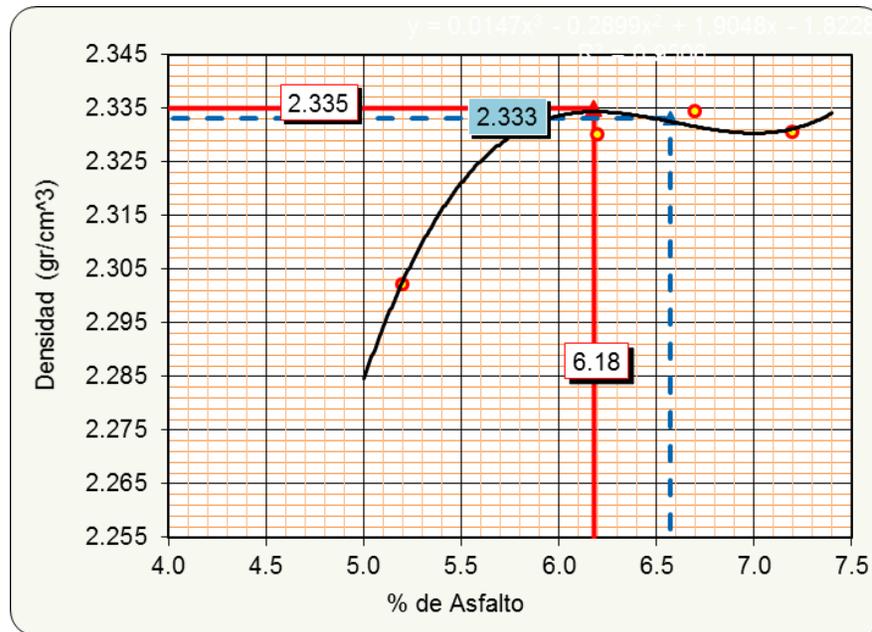
La estabilidad se determina después de realizar el ensayo en la prensa Marshall.

Identificación	Lectura dial (1/100")
1	722
2	705
3	800

Estabilidad corregida para cada probeta.

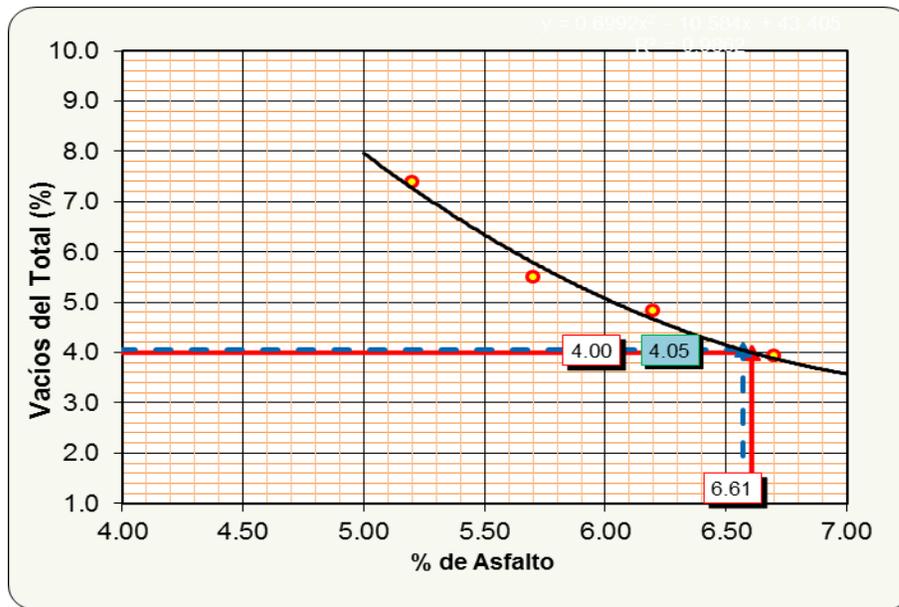
Obtenido todos estos valores como se indican en la siguiente Tabla se procedió a dibujar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones.

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



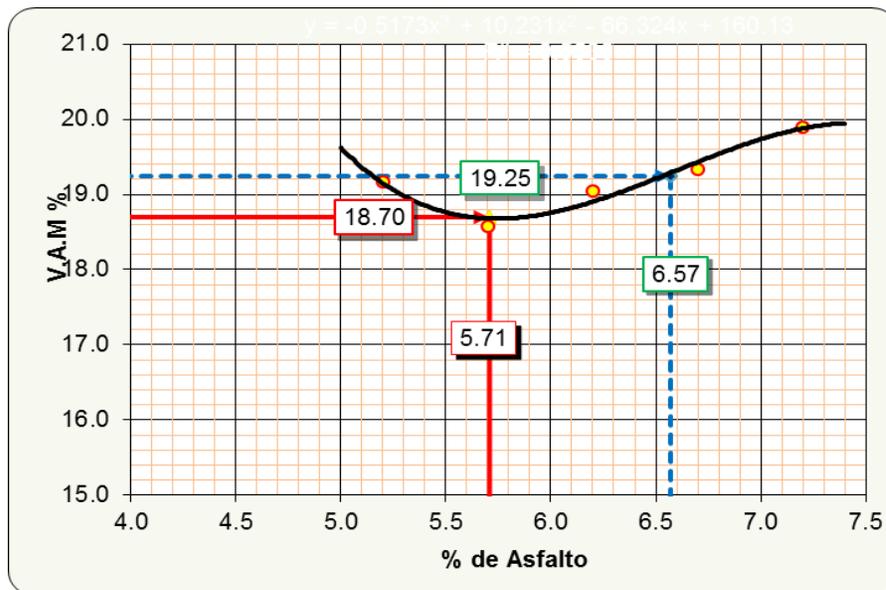
Gráficos de curvas de diseño de la mezcla asfáltica método Marshall

Gráficos de ensayos Marshall // cemento asfáltico



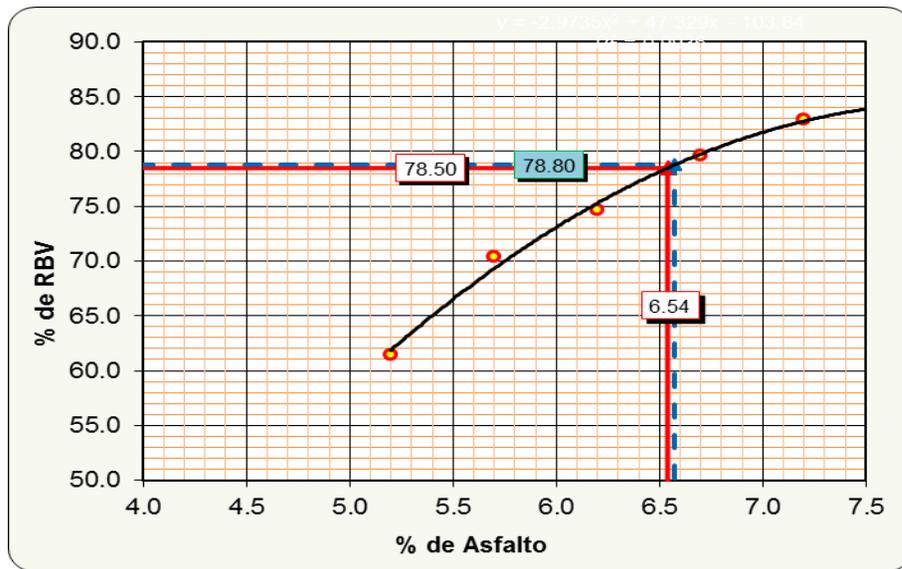
Gráficos de curvas de diseño de la mezcla asfáltica método Marshall

Gráficos de ensayos Marshall // cemento asfáltico



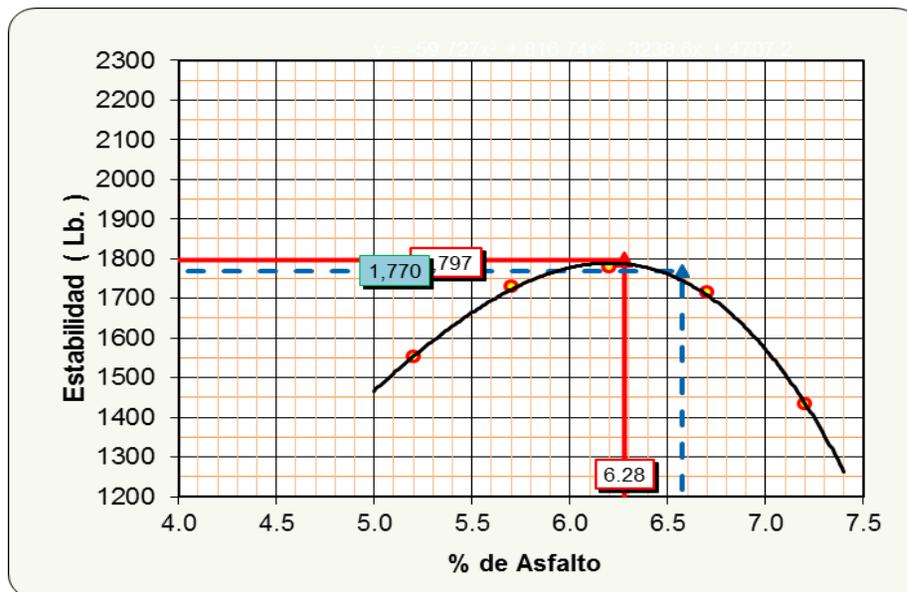
Gráficos de curvas de diseño de la mezcla asfáltica método Marshall

Gráficos de ensayos Marshall // cemento asfáltico



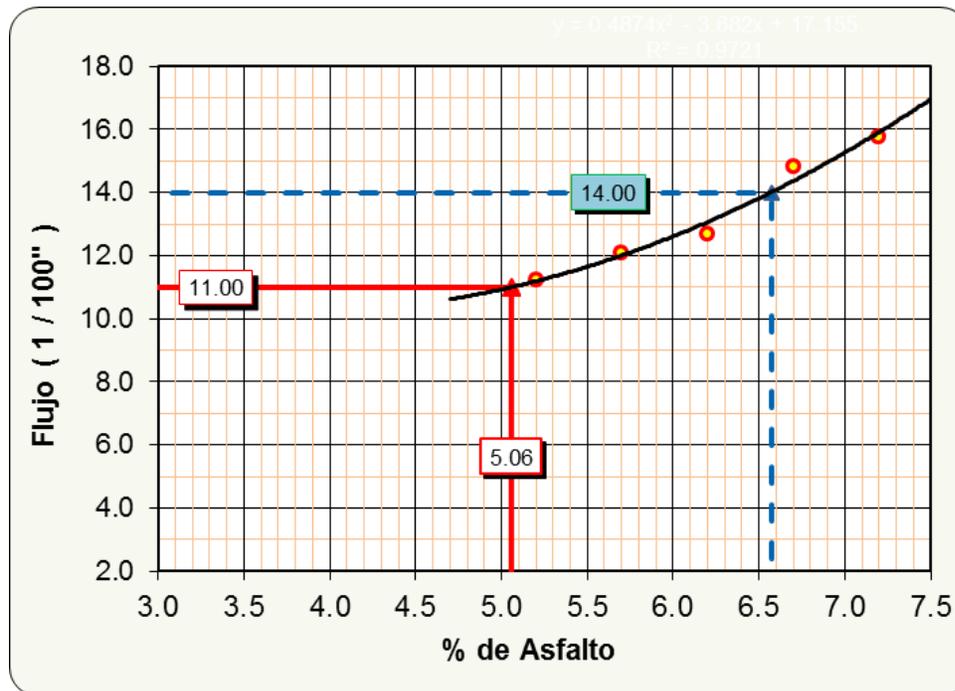
Gráficos de curvas de diseño de la mezcla asfáltica método Marshall

Gráficos de ensayos Marshall // cemento asfáltico



Gráficos de curvas de diseño de la mezcla asfáltica método Marshall

Gráficos de ensayos Marshall // cemento asfáltico



Gráficos de curvas de diseño de la mezcla asfáltica método Marshall

Gráficos de ensayos Marshall // cemento asfáltico

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	6,57	2,33	-----	-----
% Vacios	6,57	4,05	3	5
V.A.M.	6,57	19,25	15	
R.B.V.	6,57	78,80	75	82
Estabilidad (Lb)	6,57	1770,00		
Fluencia 1/100"	6,57	14,00	8	14
% Óptimo de asfalto propuesto			6,57	

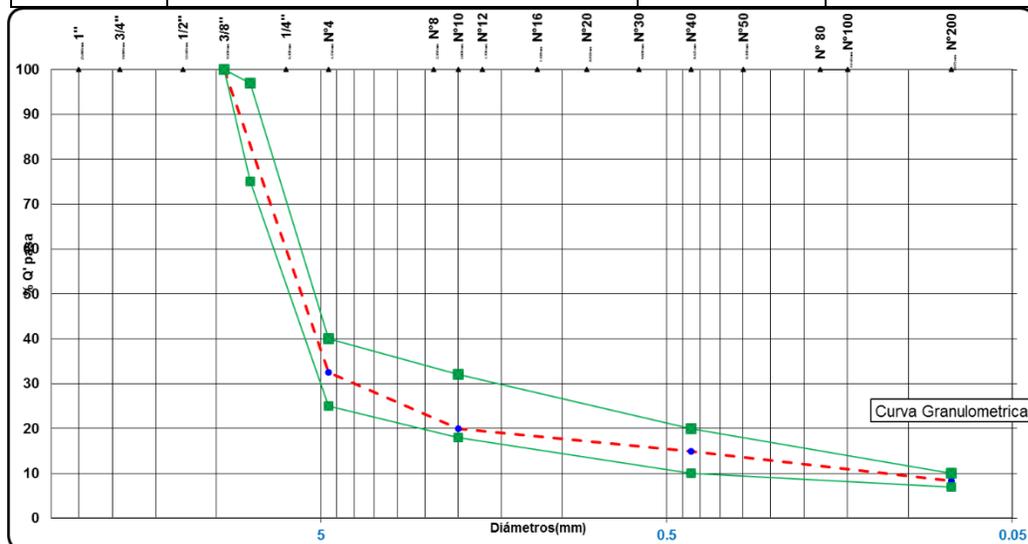
El porcentaje óptimo de asfalto es de 6,57% que será utilizado para la realización de las mezclas asfálticas arena-asfalto, utilizando los áridos provenientes de fuente natural y de fuente de trituración.

4.6. Preparación de briquetas con arena procedente de trituración

Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico que es igual al 6,57% del total de la briketa de 1200 gramos, y calculado anteriormente la temperatura de mezclado y compactado de las briquetas se procede a pesar las muestras para su respectiva comparación, en la siguiente tabla se muestran los pesos retenidos en cada tamiz repartidos de manera homogénea para la realización de briquetas con cemento asfáltico 85-100.

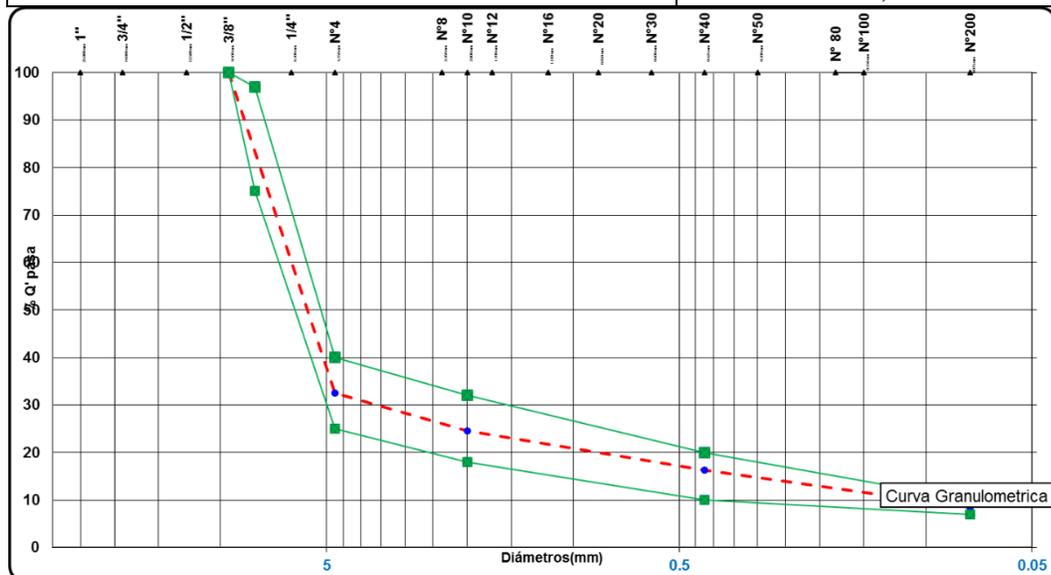
Planilla de dosificación para la elaboración de mezclas arena-asfalto con áridos procedentes de trituración:

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Retenido tamiz	6,57%	
				Peso parcial gr.	Peso acumulado gr.
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nº4	32,50	67,50	67,50	756,80	756,80
Nº10	20,00	80,00	12,50	140,10	896,90
Nº16	15,20	84,80	4,80	53,80	950,70
Nº40	14,90	85,10	0,30	3,40	954,10
Nº80	14,50	85,50	0,40	4,50	958,60
Nº200	8,40	91,60	6,10	68,40	1027,00
Filler	0,00	100,00	8,40	94,20	1121,20
		Peso total=		1121,20	
		Peso muestra=		1121,20	
		Peso asfalto=		78,80	
		Peso total material + c. asf.=		1200,00	



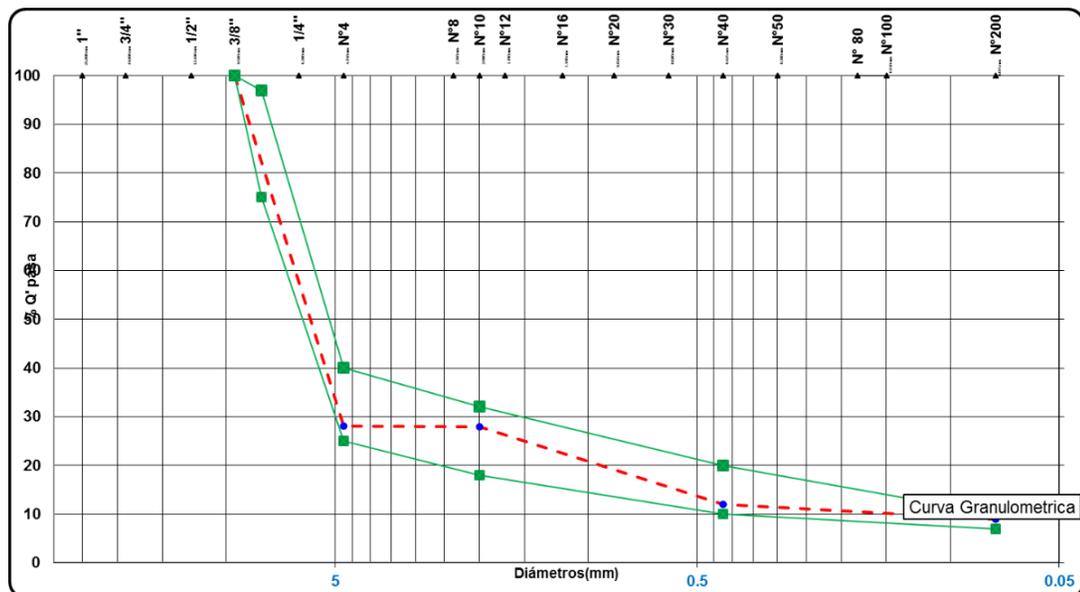
Planilla de dosificación para la elaboración de mezclas arena-asfalto con áridos procedentes del río Guadalquivir fuente natural:

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Retenido tamiz	6.57%	
				Peso parcial gr.	Peso acumulado gr.
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,000	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nº4	32,50	67,50	67,50	756,80	756,80
Nº10	24,50	75,50	8,00	89,70	846,50
Nº16	17,80	82,20	6,70	75,10	921,60
Nº40	16,30	83,70	1,50	16,40	938,00
Nº80	11,20	88,90	5,20	58,20	996,20
Nº200	8,50	91,60	2,70	30,30	1026,40
Filler	0,00	100,00	8,50	94,70	1121,20
Peso total=				1121,20	
Peso muestra=				1121,20	
Peso asfalto=				78,80	
Peso total material + c. asf.=				1200,00	



Planilla de dosificación para la elaboración de mezclas arena-asfalto con áridos procedentes del río Santa Ana fuente natural:

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Retenido tamiz	6,57%	
				Peso parcial gr.	Peso acumulado gr.
1 1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nº4	28,00	72,00	72,00	807,20	807,20
Nº10	28,00	72,00	0,00	0,10	807,30
Nº16	10,00	90,10	18,00	202,30	1009,60
Nº40	11,90	88,10	2,00	22,20	987,40
Nº80	10,90	89,10	1,00	11,30	998,70
Nº200	8,90	91,10	2,00	22,30	1021,00
Filler	0,00	100,00	8,90	100,10	1121,20
Peso total=				1137,60	
Peso muestra=				1137,60	
Peso asfalto=				62,40	
Peso total material + c. asf.=				1200,00	

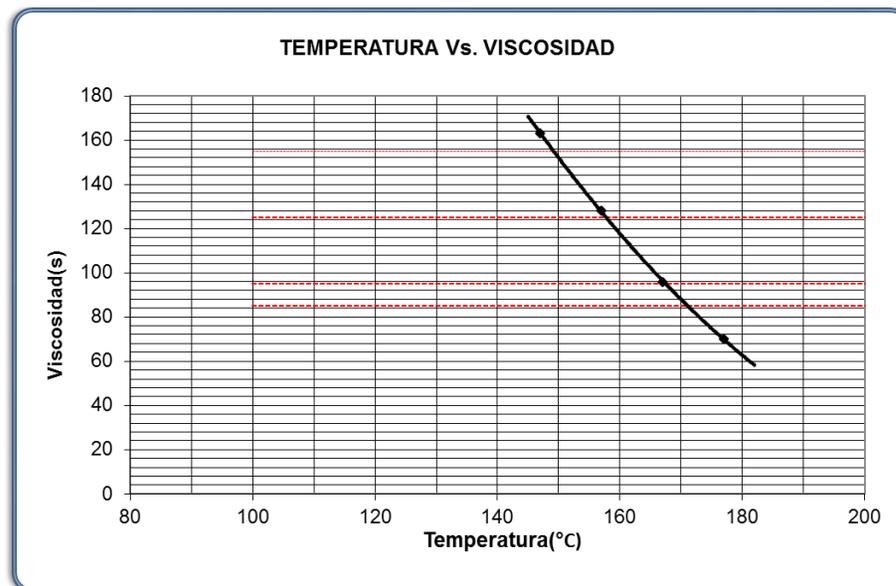


Ensayo de viscosidad vs temperatura del cemento asfáltico 85-100

Se utiliza el mismo ensayo de viscosidad vs temperatura utilizado en la elaboración de las briquetas para determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico en la realización del aplicado y compactado de las briquetas.

Punto	Temperatura °C	Viscosidad
1	125	163
2	135	128
3	145	96
4	155	70

- **Aplicación:** Específico: Viscosidad 85 – 95 Saybolt Furol
Temperatura 146 y 149 °C
- **Compactado:** Específico Viscosidad 125 - 155 Saybolt Furol
Temperatura 127 y 136 °C



4.7. Corrección de la estabilidad y la fluencia

El cálculo de corrección se lo realizará para las briquetas de la mezcla arena-asfalto, áridos procedentes de fuente de trituración, los mismos cálculos son repetitivos para los demás especímenes fabricados con áridos de fuentes naturales, dichos cálculos demostrativos se lo realizara para 10 briquetas correspondientes el resultado final se verá en las tabla de resultados.

Briquetas realizadas con cemento asfáltico 85-100:

Desarrollo de la planilla:

- Identificación:

Las Briquetas C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C19, C20, C21, C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C30 serán las que analizaremos en el documento:

- Altura de la briketa:

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 6,57 % sus alturas correspondientes son las siguientes:

Arena trituración		Arena río Santa Ana		Arena río Guadalquivir	
Descripción	H (cm)	Descripción	H (cm)	Descripción	H (cm)
C1	6,54	C1	6,46	C1	6,32
C2	6,50	C2	6,48	C2	6,40
C3	6,65	C3	6,82	C3	6,46
C4	6,68	C4	6,58	C4	6,47
C5	6,62	C5	6,62	C5	6,54
C6	6,56	C6	6,55	C6	6,55
C7	6,59	C7	6,50	C7	6,50
C8	6,61	C8	6,52	C8	6,54
C9	6,50	C9	6,57	C9	6,62
C10	6,52	C10	6,60	C10	6,45
C11	6,55	C11	6,58	C11	6,50
C12	6,58	C12	6,62	C12	6,54
C13	7,01	C13	6,65	C13	6,61
C14	7,02	C14	6,54	C14	6,63
C15	6,58	C15	6,54	C15	6,53
C16	5,98	C16	6,65	C16	6,56
C17	6,30	C17	6,67	C17	6,50
C18	6,50	C18	6,69	C18	6,54
C19	6,90	C19	6,65	C19	6,58
C20	6,40	C20	6,68	C20	6,68
C21	6,10	C21	6,67	C21	6,67
C22	6,30	C22	6,64	C22	6,54
C23	6,40	C23	6,66	C23	6,52
C24	6,80	C24	6,68	C24	6,55
C25	6,20	C25	6,68	C25	6,58
C26	6,10	C26	6,65	C26	6,57
C27	6,40	C27	6,67	C27	6,59
C28	6,70	C28	6,68	C28	6,70
C29	6,30	C29	6,63	C29	6,69
C30	6,54	C30	6,59	C30	6,68

- Porcentaje de asfalto: se calcula con el óptimo de asfalto 6,57%
- Base de agregado:

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

$$\text{Base de agregado} = \frac{6,57 * 100}{100 - 6,57}$$

Base de agregado = 7,03

- Base de la mezcla

Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 30 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 6,57

- Peso de la briqueeta en el aire

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

Arena trituración		Arena río Santa Ana		Arena río Guadalquivir	
Descripción	Peso seco (gr)	Descripción	Peso seco (gr)	Descripción	Peso seco (gr)
C1	1168,6	C1	1160,6	C1	1162,6
C2	1166,8	C2	1162,8	C2	1160,1
C3	1174,5	C3	1179,7	C3	1164,3
C4	1176,6	C4	1162,8	C4	1166,8
C5	1171,8	C5	1164,1	C5	1167,9
C6	1169,7	C6	1666,8	C6	1171,6
C7	1167,7	C7	1165,1	C7	1159,3
C8	1170,3	C8	1165,7	C8	1163,7
C9	1174,7	C9	1162,1	C9	1171,2
C10	1173,1	C10	1166,6	C10	1166,8
C11	1176,7	C11	1165,6	C11	1165,4
C12	1172,1	C12	1164,3	C12	1662,6
C13	1174,2	C13	1163,4	C13	1161,7
C14	1161,4	C14	1163,9	C14	1158,7
C15	1165,2	C15	1164,2	C15	1159,3
C16	1166,2	C16	1164,7	C16	1163,4
C17	1168,4	C17	1162,7	C17	1465,8
C18	1171,3	C18	1163,5	C18	1165,8
C19	1174,3	C19	1366,7	C19	1166,9
C20	1172,1	C20	1168,3	C20	1167,2
C21	1171,9	C21	1163,5	C21	1165,4
C22	1168,3	C22	1162,3	C22	1167,8
C23	1174,6	C23	1165,7	C23	1165,2
C24	1172,6	C24	1166,9	C24	1166,4
C25	1174,8	C25	1164,7	C25	1163,5
C26	1169,3	C26	1163,8	C26	1163,9
C27	1168,3	C27	1165,3	C27	1136,5
C28	1169,9	C28	1665,6	C28	1165,7
C29	1173,5	C29	1163,7	C29	1164,8
C30	1164,5	C30	1167,4	C30	1166,3

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

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

Arena de trituración		Arena río Santa Ana		Arena río Guadalquivir	
Descripción	peso SSS (gr)	Descripción	peso SSS (gr)	Descripción	peso SSS (gr)
C1	1169,3	C1	1163,5	C1	1162,6
C2	1168,3	C2	1164,3	C2	1160,1
C3	1176,9	C3	1165,8	C3	1164,3
C4	1178,1	C4	1164,4	C4	1166,8
C5	1172,8	C5	1167,1	C5	1167,9
C6	1171,6	C6	1168,9	C6	1171,6
C7	1170,4	C7	1167,4	C7	1159,3
C8	1174,2	C8	1167,9	C8	1163,7
C9	1176,8	C9	1165,3	C9	1171,2
C10	1175,9	C10	1169,1	C10	1166,8
C11	1177,5	C11	1168,4	C11	1168,3
C12	1174,3	C12	1167,3	C12	1165,7
C13	1177,3	C13	1166,3	C13	1164,6
C14	1164,2	C14	1165,1	C14	1162,6
C15	1169,4	C15	1167,5	C15	1164,8
C16	1169,2	C16	1167,8	C16	1165,8
C17	1171,1	C17	1165,8	C17	1168,3
C18	1174,9	C18	1166,4	C18	1168,3
C19	1176,3	C19	1168,2	C19	1168,9
C20	1175,3	C20	1170,1	C20	1170,4
C21	1174,4	C21	1166,7	C21	1168,2
C22	1170,6	C22	1165,3	C22	1170,9
C23	1176,2	C23	1168,7	C23	1168,6
C24	1175,3	C24	1169,3	C24	1168,3
C25	1177,5	C25	1167,7	C25	1166,5
C26	1172,8	C26	1166,8	C26	1166,1
C27	1171,2	C27	1168,9	C27	1165,8
C28	1173,9	C28	1166,3	C28	1168,7
C29	1176,2	C29	1165,7	C29	1166,4
C30	1168,1	C30	1170,2	C30	1169,5

- Peso de la briqueta sumergida en el agua

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

Arena de trituración		Arena río Santa Ana		Arena río Guadalquivir	
Descripción	Peso sumergido(gr)	Descripción	Peso sumergido(gr)	Descripción	Peso sumergido(gr)
C1	664,7	C1	649,1	C1	655,7
C2	663,9	C2	647,9	C2	653,1
C3	669,8	C3	642,5	C3	648,3
C4	671,1	C4	645,5	C4	643,4
C5	660,5	C5	643,5	C5	660,4
C6	669,5	C6	644,7	C6	663,8
C7	661,1	C7	650,1	C7	664,6
C8	663,5	C8	648,3	C8	660,4
C9	664,6	C9	647,1	C9	662,7
C10	665,9	C10	645,6	C10	662,5
C11	666,7	C11	650,1	C11	665,6
C12	669,3	C12	646,7	C12	648,6
C13	664,3	C13	647,3	C13	655,6
C14	667,3	C14	648,5	C14	654,9
C15	661,5	C15	649,3	C15	653,7
C16	660,3	C16	645,7	C16	655,9
C17	662,6	C17	647,2	C17	645,6
C18	660,7	C18	650,4	C18	648,6
C19	664,6	C19	643,5	C19	659,2
C20	667,1	C20	644,8	C20	655,1
C21	668,3	C21	646,8	C21	660,5
C22	662,6	C22	647,6	C22	659,4
C23	664,2	C23	645,7	C23	661,3
C24	664,8	C24	649,1	C24	658,7
C25	662,6	C25	650,4	C25	657,2
C26	662,7	C26	648,3	C26	650,8
C27	664,1	C27	647,5	C27	654,3
C28	660,1	C28	644,9	C28	655,7
C29	665,7	C29	646,8	C29	658,3
C30	664,6	C30	644,4	C30	660,4

- Volumen de la briqueta

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

Vol. de briq. = 1169,3 gr – 664,7 gr

Vol. de briq. = 504,6 gr

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “C1”

- Densidad de la briqueta

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

$$D \text{ real} = \frac{1168,6 \text{ gr}}{504,6 \text{ cm}^3}$$

$$D \text{ real} = 2,306 \text{ gr/cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “C1”

- Densidad máxima teórica de la briqueta

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

$$D \text{ maxt} = \left(\frac{6,57}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right)^{100} + \left(\frac{100 - 6,57}{2,7 \text{ gr/cm}^3} \right)$$

$$D_{\text{max t.}} = 2,431 \text{ gr/cm}^3$$

- Porcentaje de vacíos
- Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

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

$$Vv = \left(\frac{2,431 \text{ gr/cm}^3 - 2,306 \text{ gr/cm}^3}{2,431 \text{ gr/cm}^3} \right) * 100$$

$$Vv = 5,14\%$$

- Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM)

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

$$VAM = \left(\frac{6,57 * 2,306 \text{ gr/cm}^3}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right) + 5,14\%$$

$$VAM = 20,05\%$$

- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)

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

$$RBV = \left(\frac{20,05 - 5,14}{20,05} \right) * 100$$

$$RBV = 74,37\%$$

- Estabilidad (Lb) y fluencia (1/100”)

La estabilidad las fluencias corregidas se determinan después de realizar el ensayo en la prensa Marshall.

Arena trituración		Arena río Santa Ana		Arena río Guadalquivir	
Estabilidad(Lb)	Fluencia 1/100	Estabilidad(Lb)	Fluencia 1/100	Estabilidad(Lb)	Fluencia 1/100
1818,8	14,0	1785,7	14,8	1719,6	12,6
1829,8	14,6	1763,7	14,8	1752,7	13,0
1862,9	14,4	1796,7	14,0	1708,6	13,6
1807,8	12,8	1741,6	14,6	1741,6	12,9
1818,8	14,0	1752,7	14,4	1730,6	14,0
1840,8	13,6	1719,6	13,8	1741,6	13,6
1873,9	14,8	1752,7	14,0	1730,6	13,4
1840,8	13,6	1746,0	14,2	1748,2	12,8
1796,7	13,4	1774,7	14,4	1730,6	13,3
1774,7	14,8	1774,7	14,2	1741,6	13,0
1785,7	14,2	1763,7	14,8	1719,6	13,4
1807,8	13,4	1785,7	13,4	1675,5	13,6
1840,8	14,6	1818,8	14,0	1686,5	13,6
1862,9	14,2	1785,7	14,6	1719,6	13,0
1873,9	14,0	1785,7	13,8	1741,6	14,0
1851,9	14,8	1741,6	14,4	1741,6	14,0
1829,8	14,0	1763,7	13,6	1730,6	13,2
1851,9	14,8	1741,6	14,6	1719,6	13,4
1785,7	13,4	1774,7	13,8	1719,6	13,4
1807,8	14,0	1785,7	14,6	1705,4	13,6
1818,8	14,4	1741,6	14,8	1708,6	13,0
1745,1	14,6	1763,7	14,2	1719,6	13,6
1807,8	14,2	1785,7	14,6	1741,6	13,4
1712,3	14,8	1796,7	14,4	1752,7	13,0
1840,8	14,6	1741,6	14,4	1763,7	13,4
1862,9	14,0	1785,7	14,6	1686,5	13,0
1829,8	14,4	1763,7	13,6	1719,6	12,8
1796,7	14,6	1785,7	13,6	1730,6	13,2
1785,7	14,0	1741,6	14,8	1675,5	13,4
1785,7	14,8	1796,7	14,8	1686,5	13,2

4.8. Cálculo de nivel de confianza

4.8.1.1. Arena de Trituración datos de Estabilidad

Tratamiento estadístico

Datos de estabilidad arena de trituración (Lb)					
1818,80	1840,80	1785,70	1851,90	1818,80	1862,90
1829,80	1873,90	1807,80	1829,80	1829,80	1829,80
1862,90	1840,80	1840,80	1851,90	1807,80	1796,70
1807,80	1796,70	1862,90	1785,70	1851,90	1785,70
1818,80	1774,70	1873,90	1807,80	1840,80	1785,70

Datos ordenados de menor a mayor

Datos de estabilidad arena de trituración (Lb)					
1774,70	1785,70	1785,70	1785,70	1785,70	1796,70
1796,70	1807,80	1807,80	1807,80	1807,80	1818,80
1818,80	1818,80	1829,80	1829,80	1829,80	1829,80
1840,80	1840,80	1840,80	1840,80	1851,90	1851,90
1851,90	1862,90	1862,90	1862,90	1873,90	1873,90

Estadística descriptiva

- Medidas de tendencia central
 - Moda

Intervalos de clase (Lb)		Marca de clase (Lb)	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada
Inferior	Superior			
1764,70	1784,70	1774,70	1	1
1784,70	1804,70	1794,70	6	7
1804,70	1824,70	1814,70	7	14
1824,70	1844,70	1834,70	8	22
1844,70	1864,70	1854,70	6	28
1864,70	1884,70	1874,70	2	30

$$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} * t_i$$

L_i = Extremo inferior del intervalo modal (intervalo que tiene mayor frecuencia absoluta).

f_i = Frecuencia absoluta del intervalo modal.

f_{i-1} = Frecuencia absoluta del intervalo anterior al modal.

f_{i+1} = Frecuencia absoluta del intervalo posterior al modal.

t_i = Amplitud de los intervalos.

$$Mo = 1824.7 + \frac{8-7}{(8-7)+(8-6)} * 20$$

$$Mo = 1831.37 \text{ Lb}$$

- Media

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i * f}{N}$$

$$\bar{X} = 1826,7 \text{ Lb}$$

- Mediana

$$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} * t_i$$

L_{i-1} = Límite inferior de la clase donde se encuentra la mediana.

$N / 2$ = Semisuma de las frecuencias absolutas.

F_{i-1} = Frecuencia acumulada anterior a la clase mediana.

F_i = Frecuencia absoluta del intervalo mediano.

t_i = Amplitud de los intervalos.

$$Me = 1804.7 + \frac{15 - 7}{7} * 20$$

$$Me = 1827.56 \text{ Lb}$$

- Medidas de dispersión
 - Varianza

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 * f_i}{n}$$

$$S^2 = 656 \text{ Lb}$$

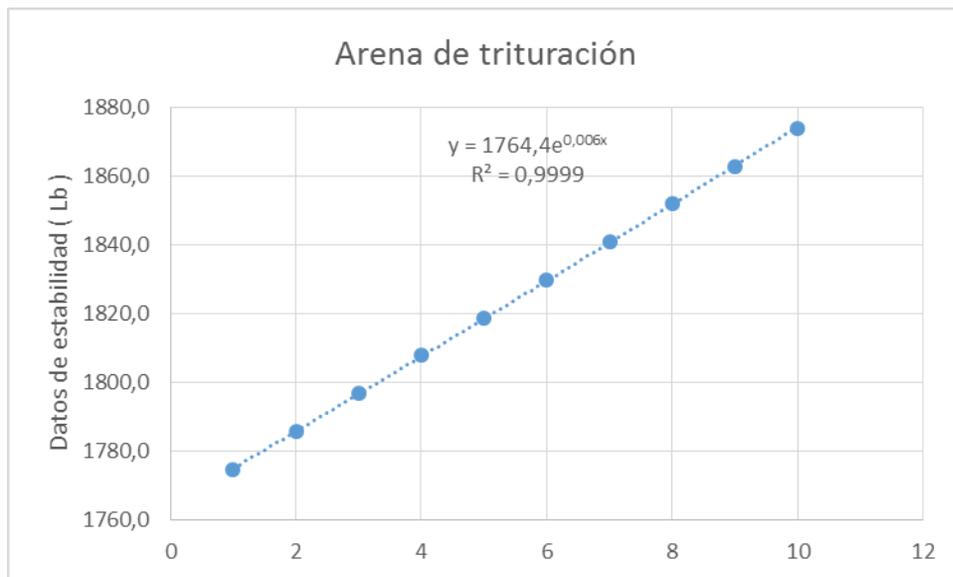
- Desviación estándar

$$S = 25.61$$

- Calcular las frecuencias
 - Frecuencia absoluta
 - Frecuencia relativa

Intervalos de clase (Lb)		Marca de clase (Lb)	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Inferior	Superior					
1764,70	1784,70	1774,70	1	1	0,03	0,03
1784,70	1804,70	1794,70	6	7	0,20	0,23
1804,70	1824,70	1814,70	7	14	0,23	0,47
1824,70	1844,70	1834,70	8	22	0,27	0,73
1844,70	1864,70	1854,70	6	28	0,20	0,93
1864,70	1884,70	1874,70	2	30	0,07	1,00

Estadística inferencial

**4.8.1.2. Arena de Trituración datos de fluencia**

Tratamiento estadístico

Datos de fluencia arena de trituración (1/100")					
14,00	14,60	14,40	12,80	14,00	13,60
14,80	13,60	13,40	14,80	14,20	13,40
14,60	14,20	14,00	14,80	14,00	14,80
13,40	14,00	14,40	14,60	14,20	14,80
14,60	14,00	14,40	14,60	14,00	14,80

Datos ordenados de menor a mayor

Datos de fluencia arena de trituración (1/100")					
12,80	13,40	13,40	13,40	13,60	13,60
14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
14,00	14,20	14,20	14,20	14,40	14,40
14,40	14,60	14,60	14,60	14,60	14,60
14,80	14,80	14,80	14,80	14,80	14,80

Estadística descriptiva

- Medidas de tendencia central
 - Moda

Intervalos de clase (1/100")		Marca de clase (1/100")	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada
Inferior	Superior			
12,550	13,050	12,800	1	1
13,050	13,550	13,300	3	4
13,550	14,050	13,800	9	13
14,050	14,550	14,300	6	19
14,550	15,050	14,800	11	30

$$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} * t_i$$

L_i = Extremo inferior del intervalo modal (intervalo que tiene mayor frecuencia absoluta).

f_i = Frecuencia absoluta del intervalo modal.

f_{i-1} = Frecuencia absoluta del intervalo anterior al modal.

f_{i+1} = Frecuencia absoluta del intervalo posterior al modal.

t_i = Amplitud de los intervalos.

$$Mo = 14,55 + \frac{11-6}{(11-6)+(11-0)} * 0,5$$

$$Mo = 14,71 \text{ Lb}$$

- Media

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi * f}{N}$$

$$\bar{X} = 14,18 \text{ Lb}$$

- Mediana

$$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} * t_i$$

L_{i-1} = Límite inferior de la clase donde se encuentra la mediana.

$N / 2$ = Semisuma de las frecuencias absolutas.

F_{i-1} = Frecuencia acumulada anterior a la clase mediana.

f_i = Frecuencia absoluta del intervalo mediano.

t_i = Amplitud de los intervalos.

$$Me = 14,05 + \frac{15-13}{6} * 0,5$$

$$Me = 14,22 \text{ Lb}$$

- Medidas de dispersión

- Varianza

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 * f_i}{n}$$

$$S^2 = 0,4226 \text{ Lb}$$

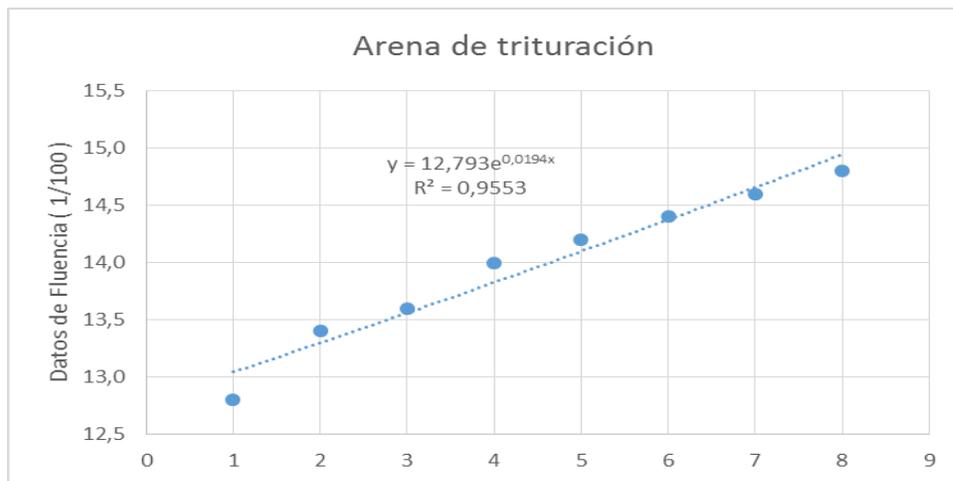
- Desviación estándar

$$S = 0,65$$

- Calcular las frecuencias
 - Frecuencia absoluta
 - Frecuencia relativa

Intervalos de clase (1/100")		Marca de clase (1/100")	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Inferior	Superior					
12,550	13,050	12,800	1	1	0,03	0,03
13,050	13,550	13,300	3	4	0,10	0,13
13,550	14,050	13,800	9	13	0,30	0,43
14,050	14,550	14,300	6	19	0,20	0,63
14,550	15,050	14,800	11	30	0,37	1,00

Estadística inferencial



4.8.2.1. Arena río Santa Ana datos de estabilidad

Tratamiento estadístico

Datos de estabilidad arena río Santa Ana (Lb)					
1719,60	1752,70	1708,60	1741,60	1730,60	1741,60
1730,60	1748,20	1730,60	1741,60	1719,60	1675,50
1686,50	1719,60	1741,60	1741,60	1730,60	1719,60
1719,60	1705,40	1708,60	1719,60	1741,60	1752,70
1763,70	1686,50	1719,60	1730,60	1675,50	1686,50

Datos ordenados de menor a mayor

Datos de estabilidad arena río Santa Ana (Lb)					
1675,50	1675,50	1686,50	1686,50	1686,50	1705,40
1708,60	1708,60	1719,60	1719,60	1719,60	1719,60
1719,60	1719,60	1719,60	1719,60	1730,60	1730,60
1730,60	1730,60	1741,60	1741,60	1741,60	1741,60
1741,60	1741,60	1748,20	1748,20	1752,70	1763,70

Estadística descriptiva

- Medidas de tendencia central
 - Moda

Intervalos de clase (Lb)		Marca de clase (Lb)	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada
Inferior	Superior			
1666,50	1684,50	1675,50	1	1
1684,50	1702,50	1693,50	3	4
1702,50	1720,50	1711,50	10	14
1720,50	1738,50	1729,50	5	19
1738,50	1756,50	1747,50	10	29
1756,50	1774,50	1765,50	1	30

$$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} * t_i$$

L_i = Extremo inferior del intervalo modal (intervalo que tiene mayor frecuencia absoluta).

f_i = Frecuencia absoluta del intervalo modal.

f_{i-1} = Frecuencia absoluta del intervalo anterior al modal.

f_{i+1} = Frecuencia absoluta del intervalo posterior al modal.

t_i = Amplitud de los intervalos.

$$Mo = 1702.5 + \frac{10-3}{(10-3)+(10-5)} * 20$$

$$Mo = 1714.17 \text{ Lb}$$

○ Media

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i * f}{N}$$

$$\bar{X} = 1725,3 \text{ Lb}$$

○ Mediana

$$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} * t_i$$

L_{i-1} = Límite inferior de la clase donde se encuentra la mediana.

$N / 2$ = Semisuma de las frecuencias absolutas.

F_{i-1} = Frecuencia acumulada anterior a la clase mediana.

F_i = Frecuencia absoluta del intervalo mediano.

t_i = Amplitud de los intervalos.

$$Me = 1702,5 + \frac{15-4}{10} * 20$$

$$Me = 1724,5 \text{ Lb}$$

- Medidas de dispersión
 - Varianza

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot f_i}{n}$$

$$S^2 = 468,36 \text{ Lb}$$

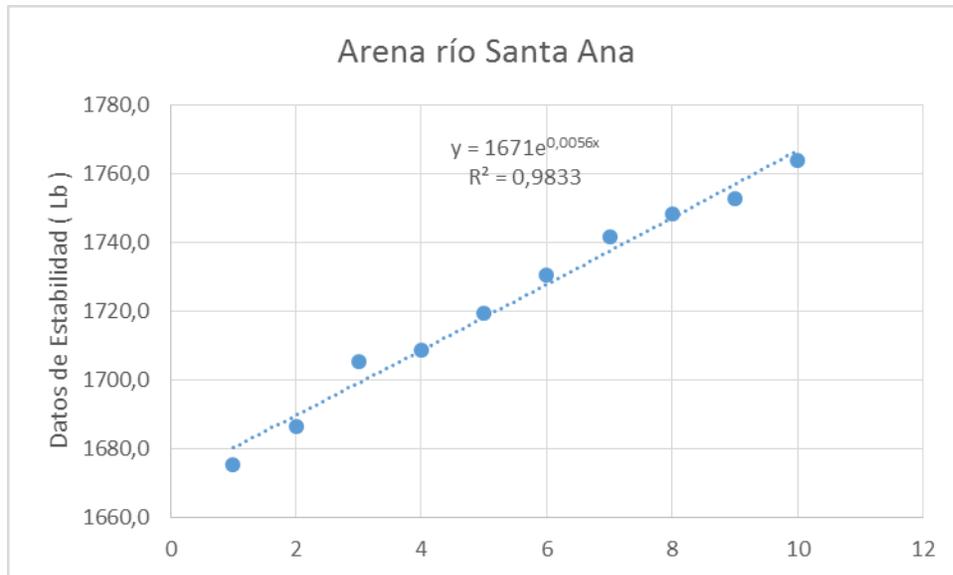
- Desviación estándar

$$S = 21,64$$

- Calcular las frecuencias
 - Frecuencia absoluta
 - Frecuencia relativa

Intervalos de clase (Lb)		Marca de clase (Lb)	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Inferior	Superior					
1666,50	1684,50	1675,50	1	1	0,03	0,03
1684,50	1702,50	1693,50	3	4	0,10	0,13
1702,50	1720,50	1711,50	10	14	0,33	0,47
1720,50	1738,50	1729,50	5	19	0,17	0,63
1738,50	1756,50	1747,50	10	29	0,33	0,97
1756,50	1774,50	1765,50	1	30	0,33	1,00

Estadística inferencial

**4.8.2.2. Arena río Santa Ana datos de fluencia**

Tratamiento estadístico

Datos de fluencia arena río Santa Ana (1/100")					
14,80	14,80	14,00	14,60	14,40	14,60
13,80	14,20	14,60	14,60	14,20	13,60
14,00	14,80	13,80	13,80	14,60	13,60
14,20	13,40	14,40	14,60	14,40	14,80
14,40	14,00	13,60	14,80	14,40	14,80

Datos ordenados de menor a mayor

Datos de fluencia arena río Santa Ana (1/100")					
13,40	13,60	13,60	13,60	13,80	13,80
13,80	14,00	14,00	14,00	14,20	14,20
14,20	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40
14,60	14,60	14,60	14,60	14,60	14,60
14,80	14,80	14,80	14,80	14,80	14,80

Estadística descriptiva

- Medidas de tendencia central
 - Moda

Intervalos de clase (1/100")		Marca de clase (1/100")	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada
Inferior	Superior			
13,25	13,55	13,40	1	1
13,55	13,85	13,70	6	7
13,85	14,15	14,00	3	10
14,15	14,45	14,30	8	18
14,45	14,75	14,60	6	26
14,75	15,05	14,90	6	30

$$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} * t_i$$

L_i = Extremo inferior del intervalo modal (intervalo que tiene mayor frecuencia absoluta).

f_i = Frecuencia absoluta del intervalo modal.

f_{i-1} = Frecuencia absoluta del intervalo anterior al modal.

f_{i+1} = Frecuencia absoluta del intervalo posterior al modal.

t_i = Amplitud de los intervalos.

$$Mo = 14,15 + \frac{8-3}{(8-3)+(8-6)} * 0,5$$

$$Mo = 14,51 \text{ Lb}$$

- Media

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i * f}{N}$$

$$\bar{X} = 14,30 \text{ Lb}$$

- Mediana

$$Me = L_{i-1} + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} * t_i$$

L_{i-1} = Límite inferior de la clase donde se encuentra la mediana.

$N / 2$ = Semisuma de las frecuencias absolutas.

F_{i-1} = Frecuencia acumulada anterior a la clase mediana.

f_i = Frecuencia absoluta del intervalo mediano.

t_i = Amplitud de los intervalos.

$$Me = 14,15 + \frac{15-10}{8} * 0,5$$

$$Me = 14,46 \text{ Lb}$$

- Medidas de dispersión

- Varianza

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 * f_i}{n}$$

$$S^2 = 0,198 \text{ Lb}$$

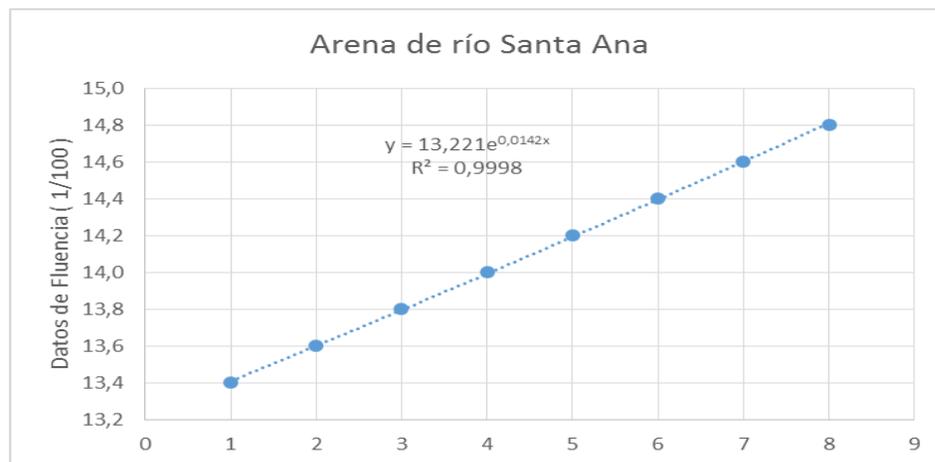
- Desviación estándar

$$S = 0,445$$

- Calcular las frecuencias
 - Frecuencia absoluta
 - Frecuencia relativa

Intervalos de clase (1/100")		Marca de clase (1/100")	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Inferior	Superior					
13,25	13,55	13,40	1	1	0,03	0,03
13,55	13,85	13,70	6	7	0,20	0,23
13,85	14,15	14,00	3	10	0,10	0,33
14,15	14,45	14,30	8	18	0,27	0,60
14,45	14,75	14,60	6	26	0,20	0,80
14,75	15,05	14,90	6	30	0,20	1,00

Estadística inferencial



4.8.3.1 Arena río Guadalquivir datos de estabilidad

Tratamiento estadístico

Datos de estabilidad arena río Guadalquivir (Lb)					
1785,70	1763,70	1796,70	1741,60	1752,70	1719,60
1752,70	1746,00	1774,70	1774,70	1763,70	1785,70
1818,80	1785,70	1785,70	1741,60	1763,70	1741,60
1774,70	1785,70	1741,60	1763,70	1785,70	1796,70
1741,60	1785,70	1763,70	1785,70	1741,60	1796,70

Datos ordenados de menor a mayor

Datos de estabilidad arena río Guadalquivir (Lb)					
1719,60	1741,60	1741,60	1741,60	1741,60	1741,60
1741,60	1746,00	1752,70	1752,70	1763,70	1763,70
1763,70	1763,70	1763,70	1774,70	1774,70	1774,70
1785,70	1785,70	1785,70	1785,70	1785,70	1785,70
1785,70	1785,70	1796,70	1796,70	1796,70	1818,80

Estadística descriptiva

- Medidas de tendencia central
 - Moda

Intervalos de clase (Lb)		Marca de clase (Lb)	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada
Inferior	Superior			
1709,60	1729,60	1719,60	1	1
1729,60	1749,60	1739,60	7	8
1749,60	1769,60	1759,60	7	15
1769,60	1789,60	1779,60	11	26
1789,60	1809,60	1799,60	3	29
1809,60	1829,60	1819,60	1	30

$$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} * t_i$$

L_i = Extremo inferior del intervalo modal (intervalo que tiene mayor frecuencia absoluta).

f_i = Frecuencia absoluta del intervalo modal.

f_{i-1} = Frecuencia absoluta del intervalo anterior al modal.

f_{i+1} = Frecuencia absoluta del intervalo posterior al modal.

t_i = Amplitud de los intervalos.

$$Mo = 1769,6 + \frac{11 - 7}{(11 - 7) + (11 - 3)} * 20$$

$$Mo = 1776,27 \text{ Lb}$$

- Media

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i * f}{N}$$

$$\bar{X} = 1766,93 \text{ Lb}$$

- Mediana

$$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} * t_i$$

L_{i-1} = Límite inferior de la clase donde se encuentra la mediana.

$N / 2$ = Semisuma de las frecuencias absolutas.

F_{i-1} = Frecuencia acumulada anterior a la clase mediana.

F_i = Frecuencia absoluta del intervalo mediano.

t_i = Amplitud de los intervalos.

$$Me = 1746,6 + \frac{15-8}{7} * 20$$

$$Me = 1766,6 \text{ Lb}$$

- Medidas de dispersión

- Varianza

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 * f_i}{n}$$

$$S^2 = 531,34 \text{ Lb}$$

- Desviación estándar

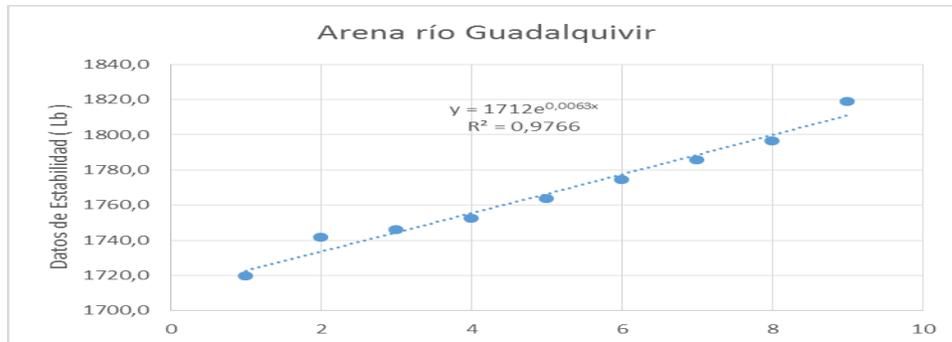
$$S = 23,05$$

- Calcular las frecuencias

- Frecuencia absoluta
- Frecuencia relativa

Intervalos de clase (Lb)		Marca de clase (Lb)	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Inferior	Superior					
1709,60	1729,60	1719,60	1	1	0,03	0,03
1729,60	1749,60	1739,60	7	8	0,23	0,27
1749,60	1769,60	1759,60	7	15	0,23	0,50
1769,60	1789,60	1779,60	11	26	0,37	0,87
1789,60	1809,60	1799,60	3	29	0,10	0,97
1809,60	1829,60	1819,60	1	30	0,03	1,00

Estadística inferencial

**4.8.3.2. Arena río Guadalquivir datos de fluencia**

Tratamiento estadístico

Datos de fluencia arena río Guadalquivir (1/100")					
12,60	13,60	13,40	14,00	13,00	13,00
13,00	13,40	13,60	13,20	13,60	12,80
13,60	12,80	13,60	13,40	13,40	13,20
12,90	13,30	13,00	13,40	13,00	13,40
14,00	13,00	14,00	13,60	13,40	13,20

Datos ordenados de menor a mayor

Datos de fluencia arena río Guadalquivir (1/100")					
12,60	12,80	12,80	12,90	13,00	13,00
13,00	13,00	13,00	13,00	13,20	13,20
13,20	13,30	13,40	13,40	13,40	13,40
13,40	13,40	13,40	13,60	13,60	13,60
13,60	13,60	13,60	14,00	14,00	14,00

Estadística descriptiva

- Medidas de tendencia central
 - Moda

Intervalos de clase (1/100")		Marca de clase (1/100")	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada
Inferior	Superior			
12,45	12,75	12,60	1	1
12,75	13,05	12,90	9	10
13,05	13,35	13,20	4	14
13,35	13,65	13,50	13	27
13,65	13,95	13,80	3	30

$$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} * t_i$$

L_i = Extremo inferior del intervalo modal (intervalo que tiene mayor frecuencia absoluta).

f_i = Frecuencia absoluta del intervalo modal.

f_{i-1} = Frecuencia absoluta del intervalo anterior al modal.

f_{i+1} = Frecuencia absoluta del intervalo posterior al modal.

t_i = Amplitud de los intervalos.

$$Mo = 13,35 + \frac{13-4}{(13-4)+(13-3)} * 0,5$$

$$Mo = 13,59 \text{ Lb}$$

- Media

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi * f}{N}$$

$$\bar{X} = 13,28 \text{ Lb}$$

- Mediana

$$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} * t_i$$

L_{i-1} = Límite inferior de la clase donde se encuentra la mediana.

$N / 2$ = Semisuma de las frecuencias absolutas.

F_{i-1} = Frecuencia acumulada anterior a la clase mediana.

f_i = Frecuencia absoluta del intervalo mediano.

t_i = Amplitud de los intervalos.

$$Me = 13,05 + \frac{15 - 10}{4} * 0,5$$

$$Me = 13,67 \text{ Lb}$$

- Medidas de dispersión

- Varianza

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 * f_i}{n}$$

$$S^2 = 0,11 \text{ Lb}$$

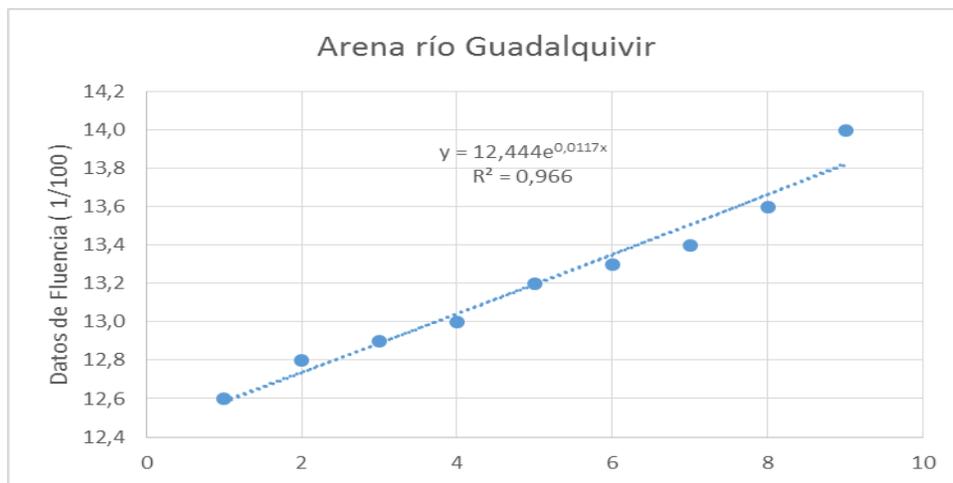
- Desviación estándar

$$S = 0,33$$

- Calcular las frecuencias
 - Frecuencia absoluta
 - Frecuencia relativa

Intervalos de clase (1/100")		Marca de clase (1/100")	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Inferior	Superior					
12,45	12,75	12,60	1	1	0,03	0,03
12,75	13,05	12,90	9	10	0,30	0,33
13,05	13,35	13,20	4	14	0,13	0,47
13,35	13,65	13,50	13	27	0,43	0,90
13,65	13,95	13,80	3	30	0,10	1,00

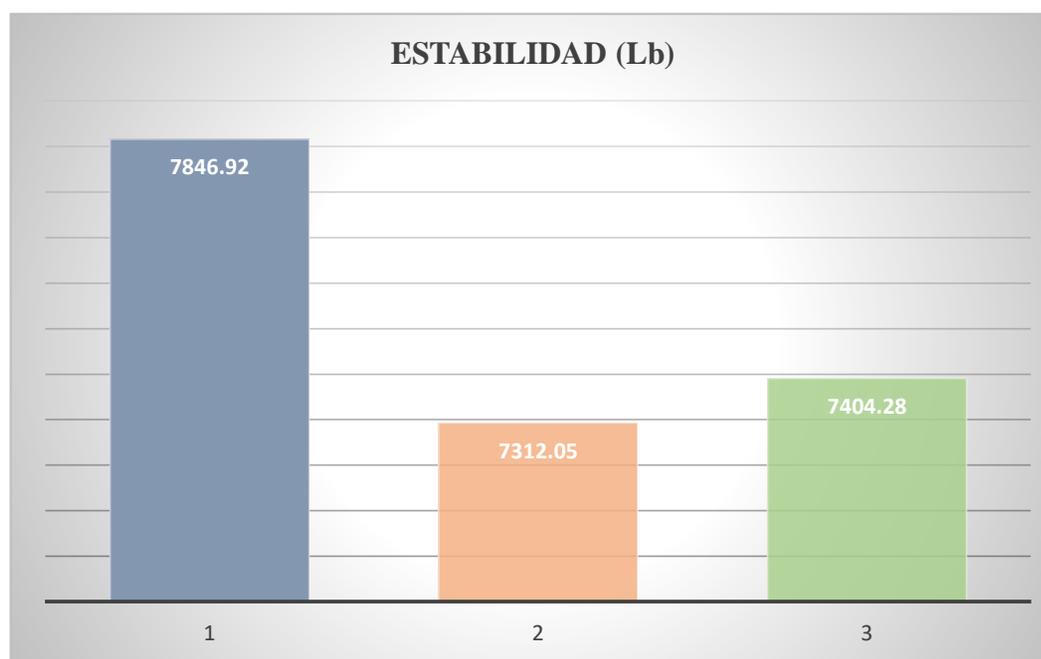
Estadística inferencial



4.9. Análisis y comparación de los resultados

Análisis de la estabilidad

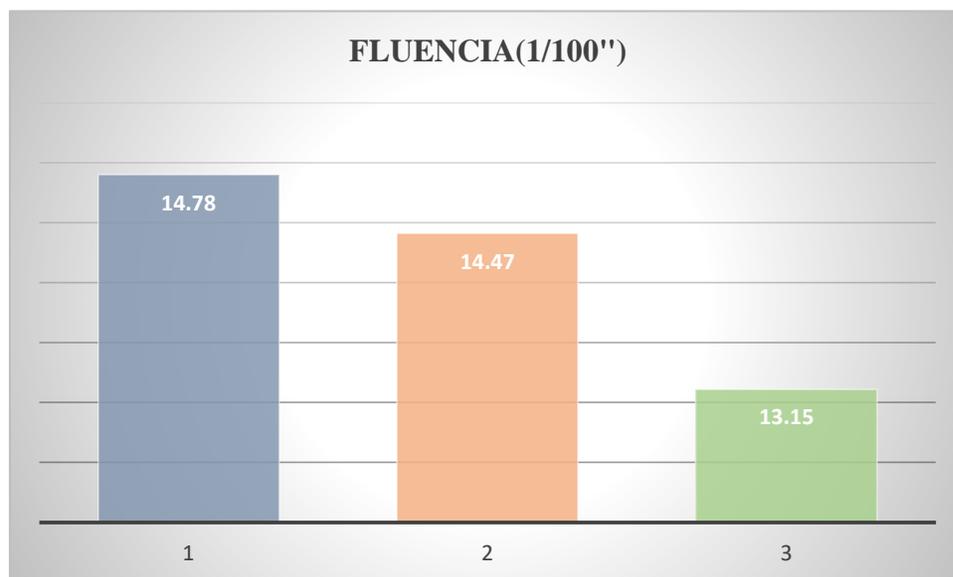
Briquetas realizadas con áridos procedentes de trituración	Briquetas realizadas con áridos procedentes de fuente natural (Rio Santa Ana)	Briquetas realizadas con áridos procedentes de fuente natural (Rio Guadalquivir)
Estabilidad (N)		
7846,92	7312,05	7404,28



- 1. Briquetas realizadas procedentes de trituración
- 2. Briquetas realizadas procedentes de fuente natural (Rio Guadalquivir)
- 3. Briquetas realizadas procedentes de fuente natural (Rio Santa Ana)

Análisis de la fluencia

Briquetas realizadas con áridos procedentes de trituración	Briquetas realizadas con áridos procedentes de fuente natural (Rio Guadalquivir)	Briquetas realizadas con áridos procedentes de fuente natural (Rio Santa Ana)
Fluencia (1/100")		
14,78	14,47	13,15



- 1. Briquetas realizadas procedentes de trituración
- 2. Briquetas realizadas procedentes de fuente natural (Rio Guadalquivir)
- 3. Briquetas realizadas procedentes de fuente natural (Rio Santa Ana)

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Como consecuencia de una correcta elección de materiales, y gracias a una recopilación de amplia información sobre las características necesarias para la elaboración de una mezcla arena-asfalto, se consiguió caracterizar el asfalto para el desarrollo de la investigación y dentro de las especificaciones provistas por el fabricante.
- Mediante el ensayo de equivalente de la arena se pudo evidenciar que la arena proveniente de chancadora es más limpia en cuanto a impurezas, mientras que la arena de fuentes naturales tiene mayor contenido de limo.

Equivalente de arena	Trituración	Fuente natural 1 (Río Guadalquivir)	Fuente natural 2 (Río Santa Ana)
		52,44%	79,9%

- Las mezclas asfálticas arena-asfalto contienen mayor proporción de partículas retenidas en el tamiz No. 4 especificadas en su faja de trabajo debido a que son fabricadas con arena y no contienen áridos de 3/8" y 3/4" propios de una mezcla asfáltica.
- Las mezclas asfálticas arena-asfalto fabricadas con materiales de trituración tienen a ser mejores y su estabilidad y fluencia es mayor en comparación con las mezclas fabricadas con áridos de fuentes naturales.

Briquetas realizadas con áridos procedentes de trituración	Briquetas realizadas con áridos procedentes de fuente natural (Río Guadalquivir)	Briquetas realizadas con áridos procedentes de fuente natural (Río Santa Ana)
Estabilidad (Lb)		
1761,9	1662,5	1641,8
Fluencia (1/100")		
14,78	14,47	13,15

- El porcentaje de vacíos mínimo de una mezcla asfáltica según normativa AASTHO T 269 es de 4%, en nuestro estudio se evidencio la obtención de porcentajes de vacíos iguales a:

Briquetas realizadas con áridos procedentes de trituración	Briquetas realizadas con áridos procedentes de fuente natural (Rio Guadalquivir)	Briquetas realizadas con áridos procedentes de fuente natural (Rio Santa Ana)
% de vacíos con aire		
5,33	6,61	6,16

Entrando en el rango establecido por norma.

- Del ensayo de viscosidad vs temperatura se obtuvo :

Temperatura de aplicación: 146-149 °C.

Temperatura de compactación: 127-136°C.

- El contenido de asfalto mínimo recomendado por la bibliografía es de 5,5% en el diseño Marshall se obtuvo un contenido de asfalto de 6,57% cumpliendo con la recomendación bibliográfica de esta manera se dio más trabajabilidad a las mezclas en cuanto al mezclado y compactado.
- Las briquetas fueron fabricadas con especificaciones de tránsito medio no cumplen con lo especificado en la bibliografía salvo la arena procedente de trituración en resumen los áridos procedentes de fuentes naturales no cumplen con lo especificado en la norma por lo tanto no se recomienda su uso.

Estabilidad mínima =7500 N (AASTHO T245)		
Briquetas realizadas con áridos procedentes de trituración	Briquetas realizadas con áridos procedentes de fuente natural (Rio Guadalquivir)	Briquetas realizadas con áridos procedentes de fuente natural (Rio Santa Ana)
7846,92N	7404,28 N	7312,05 N

- Las mezclas asfálticas fabricadas con arena de trituración son lavadas y seleccionadas por lo tanto su uso es viable en la utilización de la fabricación de mezclas arena-cemento asfáltico.
- El material de río es un material demasiado fino si se obtiene de zonas donde la arena aflora, por lo tanto esa arena no se recomienda para su utilización debido a que es demasiado fino para la granulometría.
- La adherencia de los áridos provenientes de trituración es más trabajable y el cemento asfáltico se adhiere mejor a este tipo de áridos, lo contrario ocurre cuando utilizamos áridos de fuentes naturales.

5.2. Recomendaciones

- Excavar una profundidad de 30 cm. o más para la toma de muestra y no utilizar arena aflorada del río.
- Controlar la temperatura de compactación y aplicación debido a que mediante el ensayo esta mezcla tiende a quemarse y pierde sus propiedades.
- Golpear constantemente con el martillo Marshall y no inclinar el martillo pues equivaldrá a obtener un error en la altura de la briqueta
- No se debe permitir que se presente contenido de humedad en las muestras para compactar ya que es un factor desfavorable constructivamente.
- Cuidar la granulometría para la fabricación de estas mezclas arena-asfalto y seguir la faja de trabajo debido a que la arena es muy fina en comparación con las arenas procedentes de trituración.
- El sulfuro de hidrógeno es un producto de la reacción entre el hidrógeno y el azufre presentes naturalmente en el asfalto. Con concentraciones bajas no es peligroso, sin embargo en concentraciones altas, o en tiempos de exposición prolongados y en ambientes cerrados como los que se pueden presentar en laboratorios, o tanques de almacenamiento puede llegar a ser letal. Por esta razón es recomendable mantener la cara lo más alejada posible de calderos de asfalto, o escotillas de depósitos de

almacenamiento, mantener los ambientes de trabajo lo más ventilados posible, o trabajar con la cara en dirección del viento.

- En caso de una quemadura con asfalto, aplicar agua o hielo inmediatamente, no remover el asfalto de la piel y tampoco cubrir con una venda, recurrir inmediatamente a un médico.