

**ESTIMACIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA DE RECUBRIMIENTO EN
MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSAS EN CALIENTE DE GRADACION CONTINUA
(CONCRETO ASFALTICO) TIPO MGC-25**

BRANDON STEV GONZALEZ GIL



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C
2015**

**ESTIMACIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA DE RECUBRIMIENTO EN
MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSAS EN CALIENTE DE GRADACION CONTINUA
(CONCRETO ASFALTICO) MGC-25**

Trabajo de investigación para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor Disciplinar: Ingeniero Camilo Herrera.

Asesor Metodológico: Laura Milena Cala Cristancho.

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C
2015**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, ____/____/____

Primero que todo agradezco a Dios por toda la sabiduría y bendición que me brinda a diario, por mantenerme con salud a mí y a todos mis seres queridos y principalmente por permitirme alcanzar los logros propuestos hasta el día de hoy.

También agradezco a mis padres Gilberto Gonzalez Suarez y Sandra Patricia Gil Forero por el apoyo que recibí de parte de ellos durante toda mi vida y por darme la oportunidad de estudiar y sobre todo por formarme con buenos principios y valores.

A mi hermano Andrey Gilberto Gonzalez Gil que siempre fue un gran apoyo y que en los momentos difíciles siempre estuvo hay para apoyarme, aconsejarme con su experiencia y darme ánimos para seguir adelante.

Agradezco a mis amigos Juan Camilo Terreros y Paula Alejandra Briceño por todos los momentos compartidos y su apoyo durante el transcurso de esta carrera.

A los profesores de la Universidad la Gran Colombia, por sus enseñanzas y experiencia, en especial a mi asesor disciplinar El Ingeniero Camilo Herrera, por darme la oportunidad, confianza y sobre todo por brindarme sus conocimientos para desarrollar mi trabajo de grado, al igual que al profesor Alexander Padilla, Martin Viatela y Jose Luis Rozo por el gran apoyo en la fase experimental de este proyecto, Junto con la profesora Laura cala quien me guio y colaboro con todo el proceso de formación del documento de grado.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1 PREGUNTA PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACION.....	13
3. OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
4. ANTECEDENTES.....	15
5. MARCO DE REFERENCIA	17
5.1 MARCO CONCEPTUAL	17
5.1.1 Suelo	17
5.1.2 CANTERAS.....	18
5.1.3 BASE Y SUB-BASE GRANULAR	20
5.1.4 MATERIAL ASFALTICO.....	25
5.1.5 Mezclas Asfálticas	26
5.2 MARCO LEGAL.....	29
5.2.1 Normativa	29
5.2.2 Ensayos.....	29
6. DISEÑO METODOLOGICO.....	31
6.1 ENFOQUE DE INVESTIGACION	31
6.2 TIPO DE INVESTIGACION	31
6.3 FASES DE INVESTIGACION	31
6.3.1 FASE 1: Verificación de la granulometría de la mezcla asfáltica densa en caliente de gradación continua tipo (MGC-25) con la franja granulométrica estipulada por la norma INVIAS 2012.	31
6.3.2 FASE 2: Realizar el registro de toma de datos de las partículas junto con los laboratorios necesario para la realización de una mezcla asfáltica (MGC-25) con la granulometría obtenida en la fase 1.....	32
6.3.3 FASE 3: Comparar los dos métodos propuestos para la determinación del espesor de película de recubrimiento de una mezcla asfáltica densa en caliente de gradación continua (concreto asfáltico) Tipo MGC-25.....	32

6.4	INSTRUMENTOS DE RECOPIACION DE INFORMACION	32
6.5	DISEÑO EXPERIMENTAL	33
7.	RESULTADOS	34
7.1	GRANULOMETRÍA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TIPO MGC-25	34
7.2	Análisis Volumétrico de las dos muestras asfálticas tipo MGC-25	38
8.	CONCLUSIONES	73
9.	RECOMENDACIONES	74
10.	BIBLIOGRAFIA	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 3	Uso de las clases de Base granular según su nivel de transito	21
Tabla 4	Requisitos de los agregados para Base granular	22
Tabla 5	Franjas Granulométricas del material de Base granular.....	22
Tabla 6	Uso de las clases de Sub-base granular según su nivel de transito	23
Tabla 7	Requisitos de los agregados para Sub-base granular	24
Tabla 8	Franjas Granulométricas del material de Sub-base granular.....	24
Tabla 9	Tipos de mezclas asfálticas en caliente de gradación continúa.....	26
Tabla 10	Denominación de las capas asfálticas en caliente de gradación continua.....	27
Tabla 11	Tipo de mezclas por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa	27
Tabla 12	Franja granulométrica Mezcla Gruesa en Caliente (MDC-25)	28
Tabla 13	peso del material en su respectivo tamiz.....	36
Tabla 14	Granulometría para una muestra de 1200g.....	37
Tabla 15	Resultados del ensayo de Viscosidad	39
Tabla 16	Temperaturas de Mezclado y compactación	42
Tabla 17	Pesos de Material para Mezclado	42
Tabla 18	Ensayo de Densidad de Bulk.	44
Tabla 19	Datos del ensayo Marshall en segundos Pulgadas y libras fuerza	46
Tabla 20	Resultados Ensayo de Bulk	50
Tabla 21	Gravedad específica de los materiales.....	51
Tabla 22	Resultados análisis Volumétrico.....	53
Tabla 23	Resultados cálculo del espesor medio de la película de asfalto.	55
Tabla 24	Resultados Comparados con la Norma.....	56
Tabla 25	Análisis Volumétrico del Material retenido en el Tamiz ¾”	57
Tabla 26	Análisis Volumétrico del Material retenido en el Tamiz 1/2” (1-2).....	58
Tabla 27	Análisis Volumétrico del Material retenido en el Tamiz 3/8”	60
Tabla 28	Análisis Volumétrico del Material retenido en el Tamiz 4”	63
Tabla 29	Análisis Volumétrico del Material retenido en el Tamiz 10”	64
Tabla 30	Resultados para la determinación del espesor de película de asfalto.....	70
Tabla 31	comparación de espesor de película de asfalto.....	72

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Fórmula de la Gravedad específica Bulk de la mezcla compactada (Gmb) ...	49
Ecuación 2 Fórmula del peso específico aparente (s.s.s)	49
Ecuación 3 Fórmula peso específico Nominal	50
Ecuación 4 Porcentaje de Absorción	50
Ecuación 5 Gravedad específica máxima de la mezcla (Gmm)	51
Ecuación 6 Gravedad específica Bulk del agregado combinado (Gsb)	51
Ecuación 7 Gravedad específica del agregado combinado (Gse).....	51
Ecuación 8 porcentaje de asfalto absorbido (Pba)	51
Ecuación 9 Porcentaje efectivo de asfalto (Pbe)	52
Ecuación 10 Porcentaje de vacíos entre las partículas del agregado Mineral (VMA)	52
Ecuación 11 % de vacíos con respecto al volumen total del espécimen compactado (va).....	52
Ecuación 12 Porcentaje de vacíos llenos de ligante asfáltico (VFA)	52
Ecuación 13 Relación Llenante/ Ligante efectivo	52
Ecuación 14 Superficie específica del agregado combinado (SE).....	53
Ecuación 15 Volumen total del Ligante Asfáltico (Pb volumen)	54
Ecuación 16 masa de asfalto absorbido (Pba masa)	54
Ecuación 17 Proporción de agregado en la mezcla (Pg).....	54
Ecuación 18 Volumen de asfalto absorbido (Pba volumen)	54
Ecuación 19 Volumen de asfalto efectivo (Pbe volumen).....	54
Ecuación 20 Espesor medio de la película de asfalto	54
Ecuación 21 Volumen Total del agregado retenido en el tamiz n (Vin)	68
Ecuación 22 Volumen de una partícula promedio del tamiz n (Vpin).....	68
Ecuación 23 Superficie de la partícula promedio del tamiz n (SPAin)	68
Ecuación 24 Área de la superficie total de las partículas del tamiz n (SAin).....	68
Ecuación 25 Sumatoria de los SAin (SA)	69
Ecuación 26 Porcentaje de agregado en peso de la mezcla (Ps)	69
Ecuación 27 Espesor de la película de asfalto en la mezcla (FT).....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación General de ingeniería de los diversos materiales litológicos	18
Figura 2 Emulsión Asfáltica.....	25
Figura 3 Material Granular fino húmedo.....	34
Figura 4 Material Granular Fino y Grueso en el Horno.....	34
Figura 5 Tamices respectivos para la granulometría.....	34
Figura 6 Clasificación del material Grueso.....	35
Figura 7 Material retenido en el Tamiz N°40	35
Figura 8 Material retenido en el Tamiz N°80	35
Figura 9 Material retenido en el Tamiz N°200	36
Figura 10 Probetas	38
Figura 11 probetas con el asfalto	38
Figura 12 Viscosímetro	39
Figura 13 funcionamiento del viscosímetro	39
Figura 14 Proceso de Mezclado	43
Figura 15 Partículas cubiertas en un 100% de asfalto	43
Figura 16 Proceso de Compactación	43
Figura 17 Mezcla Asfáltica retirada de la probeta de compactación.....	44
Figura 18 Baño María a 60°C	45
Figura 19 Mezcla asfáltica Expuesta a carga a compresión.....	45
Figura 20 Deformación de la mezcla asfáltica después de la carga.....	48
Figura 21 Partícula material ¾" forma (esfera alongada).....	65
Figura 22 Partícula material ¾" forma (Piramide Triangular)	65
Figura 23 Partícula material ¾" forma (esfera)	66
Figura 24 Partícula material ¾" forma (cubica).....	66
Figura 25 Partícula material N°10" forma (Cubica)	66
Figura 26 Partícula material N°10" forma (esférica).....	67
Figura 27 Partícula material N°10" forma (Cubica)	67
Figura 28 Partícula material N°10" forma (Pirámide Triangular)	67

LISTA DE GRAFICOS

Gráfica 1 Franjas granulometricas tipo MGC-25	28
Grafica 2 Diagrama de Flujo Proceso de Investigación	33
Grafica 3 Franjas Granulométricas (Mayor Menor y Muestra)	37
Grafica 4 Viscosidad del asfalto	40
Grafica 5 Temperatura de mezcla	41
Grafica 6 Temperatura de compactación	41
Gráfica 7 Ensayo Marshall	47
Grafica 8 Zoom de la Grafica del Ensayo Marshall	48

INTRODUCCION

La estructura de un pavimento flexible está compuesta en orden ascendente de la siguiente manera: en la parte baja la rasante seguida de la Sub-Base granular continuando con la capa de Base Granular y por último la capa de rodadura o también llamada Carpeta asfáltica.

La carpeta asfáltica se puede implementar mediante diferentes tipos de asfaltos. En este trabajo se presenta el análisis del Concreto asfáltico, el cual a su vez está dividido en 3 sub capas las cuales son: Rodadura, intermedia y base, cada una de estas tiene características específicas y se pueden utilizar tres tipos de Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (MDC, MSC y MGC.). Para conformar la carpeta asfáltica. Existen diferentes Rangos de mezclas asfálticas en caliente de gradación continua para este trabajo se realizaron los experimentos con el siguientes tipo de mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (MGC-25).

A este tipo de mezcla asfáltica (MGC-25) se le realizará una granulometría la cual se compara con las franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua, que se establece en la Norma y especificaciones del 2012 del INVIAS (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS) Capítulo 4, Artículo 450.

Una vez obtenida y comparada la granulometría de las mezclas asfálticas MGC-25 se formaliza el análisis volumétrico de una mezcla asfáltica junto con el método Marshall para todas las muestras y por medio de correlaciones de cálculos se obtendrá una estimación de espesor de película de recubrimiento.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La carpeta asfáltica es la capa por donde circulan los vehículos, esta carpeta tiene como función transmitir los esfuerzos ejercidos por los neumáticos del vehículo a las bases inferiores de la estructura del pavimento. Por lo anterior, es esta la única capa de la estructura del pavimento que cuenta con material Bituminoso (Material derivado del Petróleo) el cual genera características particulares para cumplir con su debida función.

La carpeta asfáltica por lo general de toda la estructura del pavimento es la que tiene un menor espesor debido a su amplio valor económico, puesto que se necesita de material selecto, diferentes tipos de Mezclas asfálticas y una emulsión asfáltica para cumplir con los estándares de calidad estipulados en la Norma INVIAS 2013.

El espesor promedio de película de una mezcla asfáltica nunca ha sido un parámetro medido físicamente. El método empleado por la mayoría de los organismos viales para calcular el espesor de película en mezclas asfálticas fue desarrollado hace más de medio siglo y ahora este método debería actualizarse para lograr un cálculo más preciso.

Por esta razón, se es necesario estimar un soporte físico que permita establecer un espesor de película de asfalto, como lo es el análisis volumétrico de cada una de las partículas que conforman los agregados gruesos y finos de la mezcla asfáltica.

1.1 PREGUNTA PROBLEMA

¿CUAL ES EL SOPORTE FISICO DEL ESPESOR DE PELICULA DE LA MEZCLA ASFALTICA DENSA EN CALIENTE TIPO MGC-25?

2. JUSTIFICACION

Una mezcla asfáltica está conformada por agregados gruesos y finos, a su vez con material bituminoso, el cual cuenta con propiedades mecánicas ya estipuladas por la Norma INVIAS-2013.

Para lograr determinar el espesor de película de recubrimiento en mezclas asfálticas densas en caliente de gradación continua tipo MGC-25, se es necesario realizar un análisis volumétrico a la mezcla asfáltica junto con la toma de dimensiones de los agregados finos y gruesos con el fin de conocer su porcentaje de vacíos.

La Mezcla Gruesa en Caliente 25 (MGC-25) es una mezcla conformada por material granular grueso que pasa el tamiz de 1" el cual contiene partículas desde 2 mm a 19 mm, y material granular fino que pasa el tamiz N° 10, N° 40 y N°200 el cual tiene partículas demasiado pequeñas de hasta 0.425 mm a 0.075mm. Todo esto con el fin de analizar cada partícula para obtener un volumen de cada una de esta y así especificar el volumen de los agregados que conforman la mezcla asfáltica para lograr la estimación de película de recubrimiento de esta mezcla asfáltica.

Determinar el espesor óptimo de película del asfalto, permitirá reducir los costos de este material y optimizar el uso del mismo.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la estimación de espesor de película de recubrimiento en mezclas asfálticas densas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico) tipo MGC-25.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Verificar la granulometría de la mezcla asfáltica densa en caliente de gradación continua tipo (MGC-25) con la franja granulométrica estipulada por la norma INVIAS 2012.

Realizar la toma de dimensiones de las partículas del agregado junto con los ensayos Marshall y análisis volumétrico de la mezcla asfáltica tipo MGC-25 de acuerdo a la granulometría obtenida.

Comparar los resultados obtenidos del espesor de película de recubrimiento en una mezcla asfáltica densa en caliente tipo (MGC-25) por el método INVIAS 2012 y el método de índice de área.

4. ANTECEDENTES

El trabajo realizado por Reyes, Camacho y Nieto¹ consistió en establecer los Cambios en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica por energía de compactación y variación en la granulometría. Para el desarrollo de esa investigación se utilizaron dos (2) tipos de mezclas asfálticas: una mezcla cerrada y otra mezcla abierta, donde les realizaron una variación de energía de compactación mediante cambios en los golpes en su proceso de fabricación, seguido de la caracterización de los materiales granulares y el asfalto. Posteriormente realizaron el ensayo Marshall a las mezclas para determinar el porcentaje óptimo del asfalto el cual fue obtenido por medio de las gráficas de estabilidad, flujo y peso unitario. También realizaron ensayos de módulo dinámico y ahuellamiento para concluir cual es la energía de compactación óptima que debe tener cada una de las mezclas.

Finalmente los autores concluyeron que el mayor módulo dinámico para la mezcla cerrada se obtuvo para una energía de compactación de 85 golpes y para la mezcla abierta de 75 golpes, con respecto a la deformación permanente se obtuvo, las menores deformaciones para la energía de compactación de 90 golpes en la mezcla cerrada y de 85 golpes para la granulometría abierta.

Este trabajo permite comparar la metodología que utilizaron para obtener el porcentaje óptimo del asfalto de las dos muestras mediante el ensayo Marshall por medio de los gráficos de estabilidad y flujo.

Por otra parte, el trabajo realizado por Reyes² consistió en Cambios dinámicos y mecánicos de una mezcla asfáltica densa por las propiedades del asfalto y la energía de compactación. El desarrollo de esta investigación se dio a partir de tres asfaltos con características diferentes de penetración 60-70, penetración 85-100 y asfalto modificado con polímeros para una mezcla asfáltica densa tipo (MD-10). Le realizaron el ensayo Marshall con el fin de estimar el contenido óptimo del asfalto. La caracterización mecánica y dinámica de la mezcla se realizó con los ensayos de compresión diametral a 15°C, ensayo de pista en laboratorio a 900Mpa y 60°C con un módulo resiliente a 15, 20 y 30°C y 5 Hz de frecuencia.

Finalmente el autor obtuvo que la mezcla que presenta mayor valor de módulo resiliente a las temperaturas estudiadas es la mezcla construida con asfalto tipo 60-70, pero la mezcla fabricada con el asfalto modificado tiene deformaciones plásticas inferiores a los otros dos tipos de asfaltos convencionales.

¹ REYES ORTIZ Oscar Javier, CAMACHO TAUTA Javier Fernando, NIETO LEAL Andrés. Cambios en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica por energía de compactación y variación en la granulometría. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada. Ciencia e Ingeniería Neogranadina [Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91116107>], 2015. 1, 4,6 p.

² REYES ORTIZ, Oscar J. Cambios dinámicos y mecánicos de una mezcla asfáltica densa por las propiedades del asfalto y la energía de compactación. Barranquilla Colombia.: Universidad del Norte. Ingeniería y Desarrollo [Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85212233010>], 2015. 2, 6, 11, 15 p.

Por último, en un artículo realizado por Xinjun, Williams, Marasteanu, Clyne; y Jhonson³ consistió en el cálculo del espesor de película de asfalto y rendimiento de mezclas asfálticas en caliente. Esta investigación se desarrolló mediante diferentes correlaciones de cálculos para dos métodos los cuales fueron: en primer lugar el cálculo de las superficies totales y en segundo lugar, el método de índice de área de superficie. El espesor de película de asfalto se calculó asumiendo que existen películas uniformes y de esta manera se planteó una clasificación de siete (7) clases de partículas y se adopta un respectivo cálculo de error para cada partícula.

Como resultado los autores obtuvieron que tanto las partículas de agregado fino y grueso y su respectiva forma de los agregados afectan significativamente el cálculo. En cuanto a las partículas de agregado fino se tiene un error mayor debido a su tamaño inferior. Aun así se deben tomar en consideración para obtener una mayor precisión de la superficie, los autores proponen un método de cálculo donde incorporan los factores de forma y superficie plana para todas las partículas de los diferentes tamices.

Esta investigación permite hacer uso de la estructura de formación de los cálculos para determinar el espesor de película de una mezcla asfáltica por medio de las tablas y formas de las figuras de los agregados con sus respectivas correlaciones de cálculos.

³ Xinjun Li; Christopher Williams; Mihai Marasteanu; Timothy Clyne; y Eddie Jhonson. cálculo del espesor de película de asfalto y rendimiento de mezclas asfálticas en caliente. Estados Unidos. Ingeniería Civil [Disponible en: <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?172555>], 2015. P262-270

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO CONCEPTUAL

5.1.1 Suelo

El suelo se puede explicar por medio de la edafología, que es una rama de la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo. El suelo es un individuo, un cuerpo natural organizado.

Las entidades básicas del suelo según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi⁴ son:

- El pedon: Son Muestras tridimensionales de suelos que equivalen generalmente a la descripción de un perfil y sus propiedades específicas.
- El polipedon: Es una unidad básica que tiene el tamaño suficiente para servir como una cantidad de clasificación.
- Capa: es la parte del suelo que no ha tenido desarrollo genético.
- Horizonte: parte del suelo que ha tenido desarrollo genético.
- Ped: La unidad estructural del suelo.
- Calicata: es el lugar que ocupaba un pedon dentro de un polipedon.
- Perfil del suelo: es el conjunto de horizontes o capas superficiales con características distintas, desde la superficie hasta el sustrato, en otras palabras cualquier cara vertical.

⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE HACIENDA Y CREDITO PÚBLICO. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 2 ed. Corregida y aumentada. Bogotá D.C: El Ministerio. 171p.

Figura 1 Clasificación General de ingeniería de los diversos materiales litológicos

Tipo de Material	Formación	Características	Detalles Prioritarios
Roca	Ígnea Metamórfica	Rocas formadas por cristales de minerales.	Estructura geológica. Fracturas.
	Sedimentaria (debe definirse el tipo de roca en la forma más detallada posible).	Rocas formadas por granos cementados, depositados en capas.	Planos de estratificación.
Roca meteorizada (saprolito)	Ígnea Metamórfica Sedimentaria	Permanecen algunos rasgos de la roca pero ésta se encuentra descompuesta en las discontinuidades.	Estructura geológica Discontinuidades Estado de meteorización.
Suelo	Residual	Roca meteorizada en la cual ya no aparecen las características físicas de la roca.	Estructura geológica. Discontinuidades. Propiedades fisicoquímicas.
	Aluvial Coluvial. Glacial Loess	Grupos de partículas o bloques de suelo o roca.	Propiedades físicas.
Materiales heterogéneos	Roca, roca meteorizada, suelo.	Mezcla de diversos materiales en un mismo perfil.	Estructura geológica. Discontinuidades. Meteorización. Propiedades fisicoquímicas.

Fuente: Deslizamiento Análisis Geotécnico.

5.1.2 CANTERAS

Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridas. Las canteras suelen ser explotaciones de pequeño tamaño, aunque el conjunto de ellas representa, probablemente, el mayor volumen de la minería mundial.

Los productos obtenidos en las canteras, a diferencia del resto de las explotaciones mineras, no son sometidos a concentración. Las principales rocas obtenidas en las canteras son: mármoles, granitos, calizas y pizarras.

En primer lugar, se debe realizar unos sondeos para determinar si existen minerales y que cantidad hay en la zona a tratar, con el fin de saber si es viable realizar una explotación en esta zona. Existen varios métodos de explotación como son: Minería a cielo abierto, Minería Subterránea, Minería por sondeo. En la investigación se abordará específicamente el material que se da en una minería a cielo abierto.

5.1.3.1 Fases de la explotación de una mina a cielo abierto

De acuerdo a lo planteado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)⁵, las fases de explotación de una mina a cielo abierto son:

- **DESTAPE:** Es la actividad que permite retirar todo el material de sobrecarga y dejar el material útil listo para que sea arrancado por cualquiera de los medios, sea por perforación o voladura (Rocas duras), o mediante retroexcavadora, buldózer con ripper (Rocas suaves). Esta operación da la oportunidad de conservar el suelo fértil y las especies nativas, semillas, estacas, entre otras, para reforestar y para la recuperación del espacio explotado.
- **ARRANQUE:** Consiste en caso de rocas duras, proceder a la perforación de Bancos descendentes con la ayuda de máquinas de perforación y proceder a la voladura con el uso de explosivos.

En el caso de rocas suaves, el arranque se realiza de manera directa, para lo cual se utiliza excavadores que disgregan la roca para que luego sea cargado hasta las volquetas.

- **TRANSPORTE INTERNO:** El material heterogéneo dispuesto en la plataforma de trabajo, con la ayuda de la retro cargadora, es alimentado a los camiones, los cuales llevan hasta la zaranda, que se encuentra ubicada fuera o dentro del área de la concesión, para su respectiva clasificación.
- **CLASIFICACION:** El material que ha sido quebrado mediante voladura puede ser alimentado a una trituradora de mandíbulas o cónica, desde donde se obtendrán los diferentes productos, como ripio, arena, chispa, entre otros, para la comercialización.
El material suave obtenido de laboreo mediante Excavadora es llevado hasta zarandas estacionarias en las cuales se obtienen los diferentes productos como: arena, ripio, base, sub base, piedra bola, y del material grueso no condicionado se obtienen los molones los cuales serán comercializados.
- **COMERCIALIZACION y ALMACENAMIENTO (STOCKS).**
- **ESCOMBRERAS:** Lugar en el cual se deposita de manera temporal o definitiva el suelo de cobertura o se deposita el material que no ha sido considerado útil o comercializable, según el caso.

⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE. Página Web. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. ANLA, Disponible en (<http://www.anla.gov.co/>).

5.1.3.2 Impactos de una cantera

Los impactos a manejar en la explotación de una cantera son los siguientes:

“Contaminación del agua, Alteración del cauce, Generación de procesos de sedimentación, Activación o generación procesos erosivos o de remoción en masa, Contaminación del aire, Pérdida del suelo, Cambio en el uso actual del suelo, Afectación cobertura vegetal, Demanda de recursos naturales”⁶. Igualmente se genera afectación de la fauna terrestre y acuática.

Licencia ambiental para la explotación de una cantera a cielo abierto está regida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)⁷.

El grupo de Minería es el encargado de realizar la evaluación de los estudios de impacto ambiental de los proyectos de minería a gran escala que se tienen previstos ejecutar en el país. Entre los proyectos de competencia de esta Autoridad se tienen minería a cielo abierto de materiales de construcción.

De acuerdo con lo establecido en el artículo 8° del Decreto 2820 de 2010 los proyectos en el sector minero que requieren de Licencia Ambiental y son de competencia de la (ANLA) son:

“Materiales de construcción y arcillas o minerales industriales no metálicos: Cuando la producción proyectada sea mayor o igual a 600.000 ton/año para las arcillas o mayor o igual a 250.000 m³/año para otros materiales de construcción o para minerales industriales no metálicos”⁸.

5.1.3 BASE Y SUB-BASE GRANULAR

5.1.3.1 Base Granular

Se denomina base granular a la capa granular localizada entre la sub-base granular y las capas asfálticas en los pavimentos asfálticos. Para la construcción de bases granulares, será obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica.

⁶ MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Explotación de fuente de materiales. Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura. Bogotá D.C.: Ediprint Ltda, 2007. p.51-52-53.

⁷ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE. Página Web. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. ANLA, Disponible en (<http://www.anla.gov.co/>).

⁸ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 2041 (15, octubre, 2014). Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Bogotá D.C: El Ministerio. 51p.

En el caso de la Base granular, las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso, de partículas planas, alargadas blandas o desintegrables y sin materia orgánica u otras sustancias perjudiciales. Además, se deberán ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se indican en la Tabla 5.

“Se definen tres clases de Bases Granular clase (A, B y C) en función del nivel de tránsito del proyecto.”⁹ Como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 1 Uso de las clases de Base granular según su nivel de tránsito

CLASE DE BASE GRANULAR	NIVEL DE TRANSITO
CLASE C	NT1
CLASE B	NT2
CLASE A	NT3

Fuente: INVIAS Artículo 330

Si el proyecto requiere de alguna clasificación de calidad del agregado se clasificará por medio de la tabla 4, de igual manera se tendrá en cuenta las franjas granulométricas que se muestran en la tabla 5.

⁹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capítulo 4. Artículo 405. Bogotá D.C: El instituto. 2013. P 235 – 281.

Tabla 2 Requisitos de los agregados para Base granular

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO INV	Base Granular		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
DUREZA (O)				
Desgaste en la maquina de los Angeles (gradacion A), Maximo (%)	E-218			
500 revoluciones		40	40	35
100 revoluciones		8	8	7
degradacion por abrasion en el equipo Micro-Deval, maximo (%)	E-238		30	25
Evaluacion de la resistencia mecanica por el metodo del 10 % de finos	E-224			
Valor en seco minimo (kn)			70	90
relacion Humedo / seco, minimo (%)			75	75
DURABILIDAD (O)				
perdidaz en ensayo de solidez en sulfatos, maximo (%)	E-220			
sulfato de sodio		12	12	12
sulfato de magenesio		18	18	18
LIMPIEZA (F)				
limite liquido maximo (%)	E-125	25		
Indice de plasticidad, maximo (%)	E-125 Y E-126	3	0	0
equivalente de arena, minimo (%)	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, maximo (nota 1)	E-235	10	10	10
contenido de terrones de arcilla y particulas deleznales maximo (%)	E-211	2	2	2

Fuente: INVIAS Artículo 330

Tabla 3 Franjas Granulométricas del material de Base granular

TIPO DE GRADACION	TAMIZ (mm/ U.S. Standard)							
	37.5	25	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
	1 (1/2)"	1"	(3/4)"	(3/8)"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
% PASA								
BASES GRANULARES DE GRADACION GRUESA								
BG-40	100	75-100	65-90	45-68	30-50	15-32	7-20	0-9
BG-27		100	75-100	52-78	35-59	20-40	8-22	0-9
BASES GRANULARES DE GRADACION FINA								
BG-38	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-15
BG-25		100	70-100	50-80	35-65	20-46	10-30	5-15
Tolerancias en produccion sobre la formula de trabajo (+ o -)	0%	7%			6%			3%

Fuente: INVIAS Artículo 330

Para prevenir cualquier tipo de separación y garantizar un nivel de compactación y resistencia que cumplan con las especificaciones dadas, el material debe dar una curva granulométrica uniforme que se encuentre paralela a los límites de la franja sin ningún tipo de saltos en su tamiz inferior y superior.

5.1.3.2 Sub-Base Granular

Se denomina sub-base granular a la capa granular localizada entre la sub-rasante y la base granular en los pavimentos asfálticos. Para la construcción de afirmados y sub-bases granulares, los materiales serán agregados naturales clasificados o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias. Además, se deberán ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se indican en la Tabla 8.

“Se definen tres clases de Sub-bases Granular clase (A, B y C) en función del nivel de tránsito del proyecto.”¹⁰ Como se observa en la tabla 6.

Tabla 4 Uso de las clases de Sub-base granular según su nivel de tránsito

CLASE DE BASE GRANULAR	NIVEL DE TRANSITO
CLASE C	NT1
CLASE B	NT2
CLASE A	NT3

Fuente: INVIAS Artículo 330

Si el proyecto requiere de alguna clasificación de calidad del agregado se clasificará por medio de la tabla 7, de igual manera se tendrá en cuenta las franjas granulométricas que se muestran en la tabla 8.

¹⁰ Ibid. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras.

Tabla 5 Requisitos de los agregados para Sub-base granular

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO INV	Base Granular		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
DUREZA (O)				
Desgaste en la maquina de los Angeles (gradacion A), Maximo (%)	E-218			
500 revoluciones		50	50	50
degradacion por abrasion en el equipo Micro-Deval, maximo (%)	E-238		35	30
DURABILIDAD (O)				
perdidaz en ensayo de solidez en sulfatos, maximo (%)	E-220			
sulfato de sodio		12	12	12
sulfato de magenesio		18	18	18
LIMPIEZA (F)				
limite liquido maximo (%)	E-125	25	25	25
Indice de plasticidad, maximo (%)	E-125 Y E-126	6	6	6
equivalente de arena, minimo (%)	E-133	25	25	25
contenido de terrones de arcilla y particulas deleznable maximo (%)	E-211	2	2	2
RESISTENCIA DEL MATERIAL (F)				
CBR (%) porcentaje asociado al valor minimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro dias de inmersion minimo	E-148	30	30	40

Fuente: INVIAS Articulo 320

Tabla 6 Franjas Granulométricas del material de Sub-base granular

TIPO DE GRADACION	TAMIZ (mm/ U.S. Standard)								
	50	37.5	25	12.5	9.5	4.75	2	0.425	0.075
	2"	1 (1/2)"	1"	(1/2)"	(3/8)"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
% PASA									
SBG-50	100	75-100	60-90	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
SBG-38		100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
Tolerancias en produccion sobre la formula de trabajo (+ o -)	0%	7%			6%			3%	

Fuente: INVIAS Articulo 320

Para prevenir cualquier tipo de separación y garantizar un nivel de compactación y resistencia que cumplan con las especificaciones dadas, el material debe dar una curva

granulométrica uniforme que se encuentre paralela a los límites de la franja sin ningún tipo de saltos en su tamiz inferior y superior.

5.1.4 MATERIAL ASFALTICO

Se tiene como material asfaltico los siguientes materiales:

- **Agregados pétreos:** Estos materiales tienen una característica particular la cual es que al implementar el material asfaltico, este NO se desprenda por la combinación del agua y el tránsito como lo es la emulsión asfáltica.

Figura 2 Emulsión Asfáltica



Fuente: Propia

Emulsión asfáltica está clasificada por su respectivo uso, los cuales son:

- Emulsión Asfáltica de rompimiento rápido: Se utiliza para tratamientos superficiales o para riegos de sello de mezcla
 - Emulsión Asfáltica de rompimiento medio: esta emulsión tiene capacidad para mezclarse con cualquier tipo de agregado.
 - Emulsión Asfáltica de rompimiento lento: se utiliza comúnmente para carpetas asfálticas en frio elaboradas en planta.
-
- **Agregado Grueso:** Existen varios tamaños de agregados gruesos los más utilizados en vías son los agregados gruesos de 3/8 y 3/4, sus principales características son:
 - Sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables.
 - Sin exceso de partículas planas, alargadas o blandas.

- Sin partículas que impidan su adherencia completa al asfalto.
- **Agregado Fino:** El agregado fino es el material que se encuentra entre el tamiz N° 4 y el tamiz N° 200 por lo tanto es un material con partículas muy pequeñas sus principales características son:
 - Ser duros y limpios.
 - Su superficie deberá ser rugosa y angular.
 - Sin partículas que impidan su adherencia al asfalto.

5.1.5 Mezclas Asfálticas

Las mezclas asfálticas son también llamadas aglomerantes, en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos. Las características de la mezcla asfáltica es que esta debe ser duradera, resistente a la fatiga e impermeable con una capa de rodadura que permita un mayor deslizamiento con el neumático del vehículo, su principal funcionalidad es que transmita los esfuerzos ejercidos por la carga del vehículo y transmita estos esfuerzos a las capas inferiores como lo es la base y la sub-base granular.

- Concreto Asfáltico

El concreto asfáltico está compuesto por agregado fino Granular previamente triturado el cual se combina con llenante mineral uniformemente mezclados con Cemento Asfáltico para de esta manera reunir los requisitos de calidad que se necesita para cumplir con la Norma.

En una estructura asfáltica se pueden tener diferentes tipos de mezclas asfálticas de graduación continua y se caracterizan por su Granulometría como se puede observar en la tabla 9.

Tabla 7 Tipos de mezclas asfálticas en caliente de gradación continúa.

TIPO	DENOMINACION
POR TIPO DE GRANULOMETRIA	
Mezclas densas	MDC
Mezclas semidensas	MSC
Mezclas gruesas	MGC

Fuente: INVIAS Artículo 350

En la tabla 10 se muestra las diferentes capas asfálticas para la estructura de la carpeta asfáltica, los tipos de capas asfálticas que comprenderán la estructura dependerán de los documentos del proyecto, ya que estos establecerán los estándares de calidad que se necesiten.

Tabla 8 Denominación de las capas asfálticas en caliente de gradación continua

TIPO DE CAPA	DESCRIPCION
Rodadura	Capa superior.
Intermedia	Capa subyacente a la rodadura, en estructuras con 2 o más capas asfálticas.
Base	Capa o capas subyacentes a la intermedia, en estructuras con 3 o más capas asfálticas.

Fuente: INVIAS artículo 450

Para cada uno de estos tipos de capa existen unos rangos de espesores y tipos de mezclas como se puede observar en la tabla 11:

Tabla 9 Tipo de mezclas por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa

Tipo de capa	Espesor compacto (mm)	Tipo de mezcla
Rodadura	30-40, 40-60, >60.	MDC-10, MDC-19, MSC-19, MDC-25, MDC-19, MSC-19.
Intermedia	>50	MDC-25, MSC-25,
Base	>75	MSC-25, MGC-38, MGC-25.

Fuente: INVIAS Artículo 450

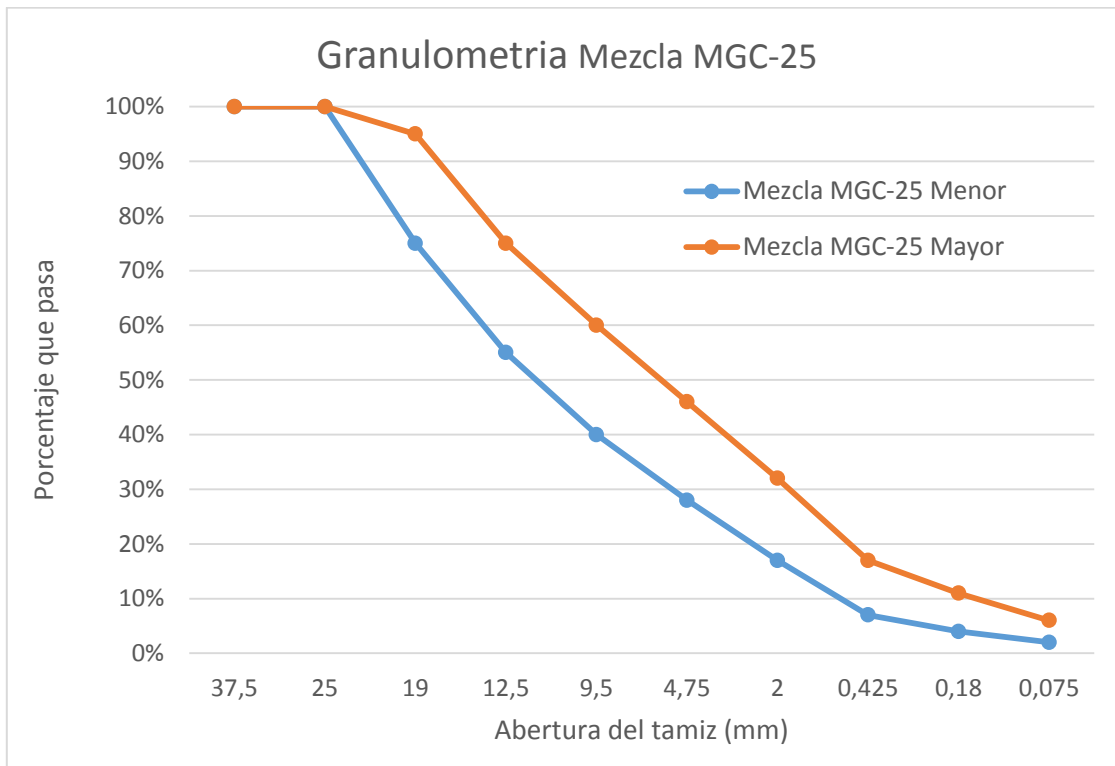
En esta investigación se requiere ver la franja granulométrica del tipo de mezcla MGC-25 las cuales se pueden observar en la tabla 12 y gráfica 1.

Tabla 10 Franja granulométrica Mezcla Gruesa en Caliente (MDC-25)

MEZCLA MGC-25			
Abertura del Tamiz en (in)	Abertura del tamiz en (mm)	% Que pasa menor	% Que pasa mayor
1 1/2"	37.5	100%	100%
1"	25	100%	100%
3/4"	19	75%	95%
1/2"	12.5	55%	75%
3/8"	9.5	40%	60%
Nº 4	4.75	28%	46%
Nº 10	2	17%	32%
Nº 40	0.425	7%	17%
Nº 80	0.18	4%	11%
Nº 200	0.075	2%	6%

Fuente: Propia

Gráfica 1 Franjas granulométricas tipo MGC-25



Fuente: Propia

En la gráfica se puede observar el rango mayor y menor de la granulometría de la mezcla asfáltica tipo MGC-25 la cual por Norma según el INVIAS cualquier mezcla asfáltica de categoría MGC-25 debe estar en el rango entre la franja granulométrica azul y la franja granulométrica naranja.

5.2 MARCO LEGAL

5.2.1 Normativa

La norma por la cual se rige esta investigación es la del INSTITUTO NACIONAL DE VIAS 2013 (INVIAS) específicamente en el artículo 450, cuya descripción es “la elaboración, transporte, colocación y compactación de una o más capas de mezclas asfálticas de gradación continua, preparada y colocada en caliente (concreto asfáltico), de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos o determinados por el interventor.”¹¹ En el artículo se presenta todas las especificaciones que deben tener las mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico).

En el artículo se menciona acerca de los tipos de mezclas asfálticas en caliente, los requisitos de los agregados para estas mezclas asfálticas de gradación continua, muestra las franjas granulométricas para cada una de las mezclas asfálticas, explica el tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa, los criterios para el diseño de las mezclas asfálticas.

5.2.2 Ensayos

INV E-782-13 (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS ENSAYO 782 AÑO 2013) Análisis Granulométrico de los agregados extraídos de mezclas asfálticas: para este ensayo de granulometría se requiere que la totalidad del material se encuentre en un estado seco, se debe pasar el material en orden descendiente de tamaño de abertura de los tamices.

“El tamizado se realiza agitando cada tamiz manualmente o con el agitador mecánico durante un periodo suficiente, establecido por tanteo o verificando sobre la muestra”,¹² este procedimiento se debe realizar para los 10 tamices respectivos.

INV E-799-13 Análisis Volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente: Una vez obtenida la granulometría del material se calcula la gravedad específica de Bulk del agregado combinado con la mezcla utilizando la fórmula de Bulk.

¹¹ Ibid. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras.

¹² INSTITUTO NACIONAL DE VIAS ENSAYOS. Normas de Ensayo de materiales para carreteras. Secciones 700 y 800 segunda parte. Ensayo 782. Bogotá D.C: El instituto. 2013. P 203 - 208

“Se calcula el porcentaje de vacíos entre las partículas del agregado mineral con respecto al volumen total del espécimen compactado”¹³. Esto se debe aplicar a las dos (2) muestras.

INV E-748-13 Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall:” el procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de mezclas asfáltica las cuales se someterán a curado y luego a carga en la prensa Marshall, determinado su estabilidad y su deformación (flujo)”¹⁴, este ensayo se va a realizar por medio de un marco de carga con un anillo de carga y un deformímetro para medir la deformación.

INV E-741-13 Espesor de la película de asfalto Mezclas Bituminosas: para este ensayo se debe tener en cuenta la granulometría del agregado total, se debe conocer la densidad de Bulk de los agregados totales, para “determinar la gravedad específica efectiva del agregado pétreo, el porcentaje de asfalto absorbido y el contenido de ligante efectivo en la mezcla asfáltica.”¹⁵

INV E-706-13 Penetración de los materiales bituminosos: Consiste en realizar una penetración con una aguja la cual se tiene que encontrar perfectamente limpia y seca y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre su guía para determinar el índice de penetración del asfalto como lo dice la Norma¹⁶.

¹³ Ibid, Ensayo 799. Bogotá D.C: El instituto. 2013. P 361 – 370.

¹⁴ Ibid Secciones 700 y 800 primera parte. Ensayo 748. Bogotá D.C: El instituto. 2013. P 473 – 493.

¹⁵ Ibid Ensayo 741. Bogotá D.C: El instituto. 2013. P 409 – 415.

¹⁶ Ibid Ensayo 706. Bogotá D.C: El instituto. 2013. P 47 – 57.

6. DISEÑO METODOLOGICO

6.1 ENFOQUE DE INVESTIGACION

El enfoque de esta investigación es cuantitativo debido a que se van a realizar ensayos donde se determinara el volumen de cada partícula que compone la mezcla asfáltica de igual manera se realizará un ensayo de penetración el cual calificará la mezcla asfáltica que se analizó y así compararlo con la norma para saber si es viable su utilización.

Las variables numéricas que se tienen en cuenta en esta investigación son el índice de penetración del asfalto, la granulometría de la mezcla estas se compararan mediante dos (2) tipos de muestra.

6.2 TIPO DE INVESTIGACION

La presente investigación es de tipo experimental ya que la estimación del espesor de película de recubrimiento en mezclas asfálticas densas en caliente de gradación continua tipo (MGC-25) se obtiene por medio de ensayos de laboratorio.

Los ensayos de laboratorio que se realizaran en este trabajo de grado son: La granulometría de la muestra, el análisis volumétrico, espesor película de mezclas y penetración. Se utilizaran procesos técnicos y normativos para cada uno de estos laboratorios.

6.3 FASES DE INVESTIGACION

6.3.1 FASE 1: Verificación de la granulometría de la mezcla asfáltica densa en caliente de gradación continúa tipo (MGC-25) con la franja granulométrica estipulada por la norma INVIAS 2012.

- Obtener los agregados gruesos y finos para la mezcla asfáltica tipo MGC-25.
- Una vez obtenido el material se realizara la granulometría a todo el material dividiéndolo en los respectivos tamices que debe de formar esta mezcla asfáltica y así rectificar que cumplan con la franja granulometría estipulada en la norma INVIAS 2013 Artículo 450.
- Conseguido el material se dividirá en cuatro (4) partes iguales, es decir se obtendrán cuatro (2) muestras para la mezcla asfáltica (MGC-25), 1200 gramos para cada mezcla asfáltica.

6.3.2 FASE 2: Realizar el registro de toma de datos de las partículas junto con los laboratorios necesario para la realización de una mezcla asfáltica (MGC-25) con la granulometría obtenida en la fase 1.

- Teniendo el material ya tamizado se tomará las dos (2) muestras y se les realizara la toma de dimensiones de las partículas retenidas en su respectivo tamiz realizando un cuadro en Excel donde se medirá el volumen el factor de área entre otras.
- Una vez ya realizado la toma de dimensiones de las partículas se realizara los ensayos correspondientes como son: el ensayo Marshall y el análisis volumétrico, entre otros.
- Concluido estas dos primeras etapas se analizaran los resultados del ensayo Marshall y el de análisis volumétrico con los valores estipulados por norma para este tipo de mezcla asfáltica densa en caliente.

6.3.3 FASE 3: Comparar los dos métodos propuestos para la determinación del espesor de película de recubrimiento de una mezcla asfáltica densa en caliente de gradación continua (concreto asfáltico) Tipo MGC-25.

- Una vez realizados los ensayos correspondientes a la mezcla asfáltica densa en caliente de gradación continua tipo MGC-25 analizados por la norma INVIAS se comparan los datos obtenidos por medio del método de INVIAS y el método de índice de área.

6.4 INSTRUMENTOS DE RECOPIACION DE INFORMACION

Tamices: (3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°80, N°200).

Viscosímetro.

Deformímetro.

Aparato Marshall.

Microscopio con papel milimetrado (Toma de medidas).

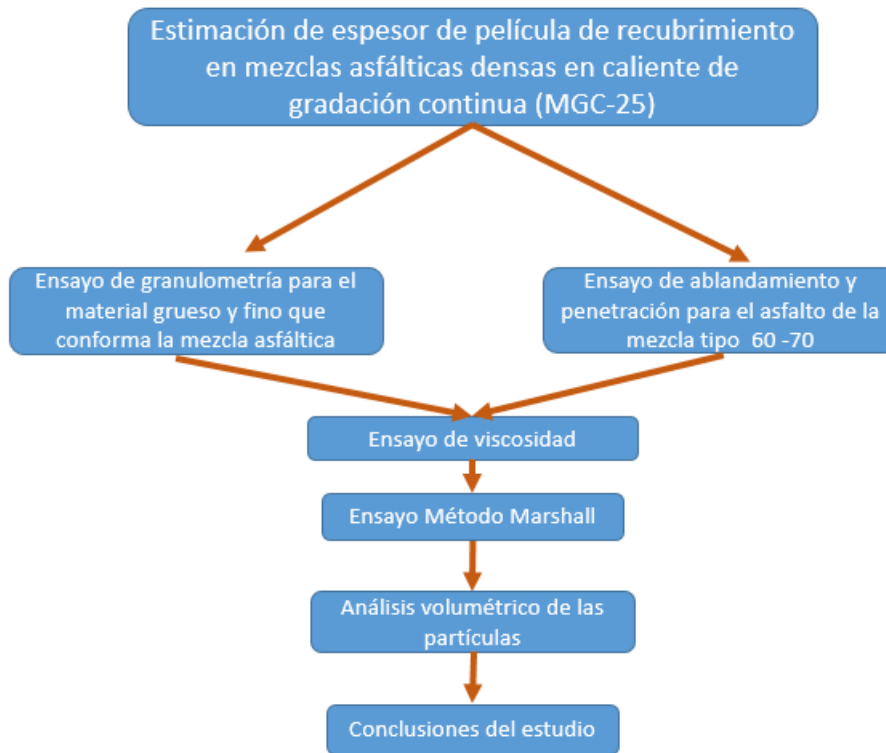
Registro fotográfico.

Cuadro de clasificación de partículas.

6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Con el siguiente diagrama de flujo se pretende dar un camino respectivo por el cual va a tomar curso la investigación y de esta manera seguir un proceso adecuado.

Grafica 2 Diagrama de Flujo Proceso de Investigación



Fuente: Propia

7. RESULTADOS

7.1 GRANULOMETRÍA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TIPO MGC-25

Cuando se obtuvo el material de la cantera de Tocancipá se procedió a realizar la respectiva granulometría de todo el material, teniendo en cuenta que el material estaba un poco húmedo se colocó el material al horno durante 16 horas, para que este quedara seco y así poder pasar el material por los diferentes tamices para su respectiva clasificación como se muestra en las siguientes figuras:

Figura 3 Material Granular fino húmedo



Fuente: Propia

Figura 4 Material Granular Fino y Grueso en el Horno



Fuente: Propia

Figura 5 Tamices respectivos para la granulometría



Fuente: Propia

Para la respectiva clasificación de los agregados se necesitó los siguientes tamices: (3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N°10, N°40, N°80, N°200) y de esta manera obtener el peso del material de cada tamiz. En las siguientes figuras se observa el material clasificado en gruesos (fig 6) y finos (fig 7 a 9)

Figura 6 Clasificación del material Grueso



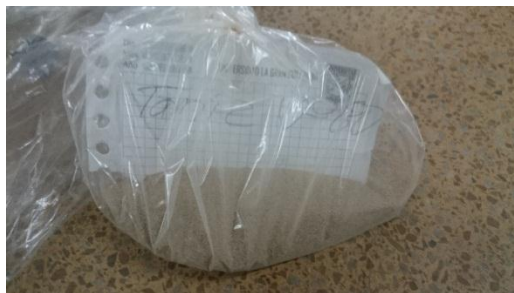
Fuente: Propia

Figura 7 Material retenido en el Tamiz N°40



Fuente: Propia

Figura 8 Material retenido en el Tamiz N°80



Fuente: Propia

Figura 9 Material retenido en el Tamiz N°200



Fuente: Propia

Una vez obtenida la clasificación del material de la mezcla asfáltica MGC-25 se pesó el material retenido en cada tamiz correspondiente a la franja granulométrica como se puede observar en la tabla 13.

Tabla 11 peso del material en su respectivo tamiz

Nomenclatura del Tamiz	Peso retenido
1 1/2"	0
1"	0
3/4"	2066
1/2"	6136
3/8"	816
Nº 4	174
Nº 10	152
Nº 40	536
Nº 80	194
Nº 200	181
total	10255

Fuente: Propia

Para una muestra de la mezcla asfáltica MGC-25 de 1300 gramos se utilizó la granulometría óptima menor la cual se muestra en la tabla 14.

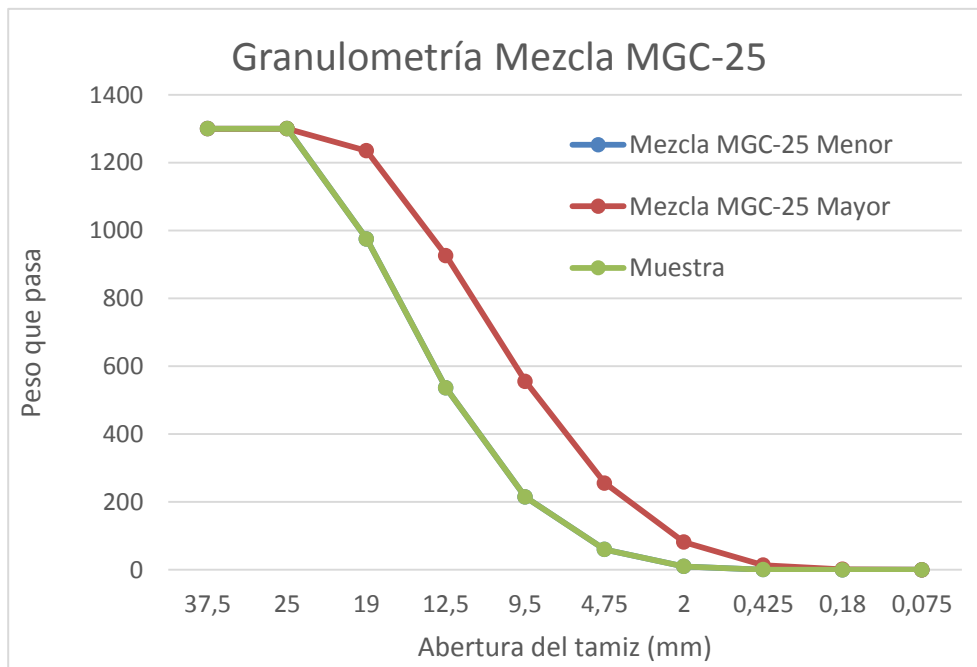
Tabla 12 Granulometría para una muestra de 1200g

Para una muestra de 1300 gramos asi seria la granulometria					
Abertura del Tamiz en (in)	Abertura del tamiz en (mm)	Peso Que pasa menor	Peso Que pasa mayor	Peso que pasa en el tamiz	peso retenido en el tamiz
1 1/2`	37.5	1300	1300	1300	0.00
1"	25	1300	1300	1300	0.00
3/4`	19	975	1235	975	332.00
1/2"	12.5	536.25	926.25	536.25	439.00
3/8`	9.5	214.50	555.75	214.50	323.00
Nº 4	4.75	60.06	255.65	60.06	155.00
Nº 10	2	10.21	81.81	10.21	51.00
Nº 40	0.425	0.71	13.91	0.71	10.00
Nº 80	0.18	0.03	1.53	0.03	0.69
Nº 200	0.075	0.00	0.09	0.00	0.03

Fuente: Propia

Con la anterior tabla se grafica la granulometría estipulada por la Norma INVIAS de mayor porcentaje y la menor, junto con la granulometría de la muestra, como se observa en la gráfica 3.

Grafica 3 Franjas Granulométricas (Mayor Menor y Muestra)



Fuente: Propia

Por medio de la anterior grafica se puede observar las franjas granulométricas para una muestra de 1300g donde se ve una franja granulométrica color rojo la cual es la granulometría con mayor porcentaje que pasa en los tamices y una franja granulométrica azul la cual es la granulometría que retiene mayor material en sus tamices, la franja granulométrica verde se encuentra sobre la franja granulométrica azul lo cual nos quiere decir que cumple con la norma estipulada por el INVIAS.

7.2 Análisis Volumétrico de las dos muestras asfálticas tipo MGC-25

Una vez obtenido las muestras del material para la mezcla asfáltica se realizó el ensayo de Viscosidad a la muestra asfáltica que se va a tener para realizar las mezclas asfálticas.

Este ensayo consistía en tener 3 probetas de asfalto a las cuales se les va a realizar el ensayo de viscosidad a temperaturas de 110 °C, 140 °C y 170 °C. Dando como resultado la resistencia que tiene el asfalto al fluido en CP.

Figura 10 Probetas



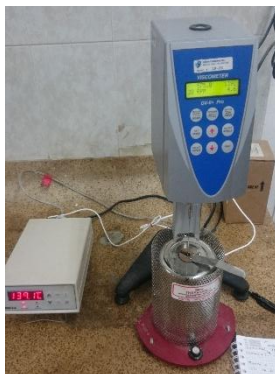
Fuente: Propia

Figura 11 probetas con el asfalto



Fuente: Propia

Figura 12 Viscosímetro



Fuente: Propia

Figura 13 funcionamiento del viscosímetro



Fuente Propia

Los resultados que arrojó este ensayo fueron los siguientes:

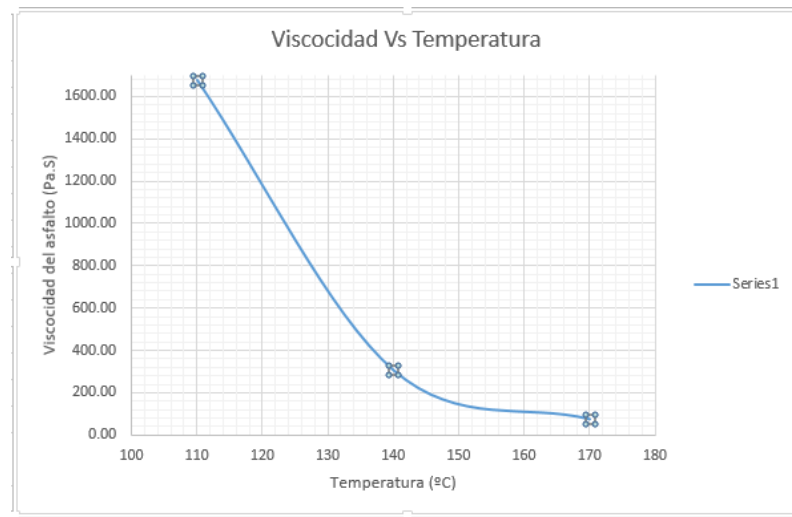
Tabla 13 Resultados del ensayo de Viscosidad

	Temperatura (C°)	RPM	Resistencia del asfalto al fluido (CP)	Resistencia del asfalto al fluido (Pa-S)
Muestra 1	110	20	1638	1.64
	140	20	300	0.30
	170	20	75	0.08
Muestra 2	110	20	1688	1.69
	140	20	287.5	0.29
	170	20	70	0.07
Muestra 3	110	20	1700	1.70
	140	20	337	0.34
	170	20	87.5	0.09
Promedio	110	20	1675.33	1.68
	140	20	308.17	0.31
	170	20	77.5	0.08

Fuente: Propia

Una vez teniendo los datos de las tres muestras se hace un promedio de los datos de resistencia del asfalto al fluido y se convierte a Pa-S para a su vez realizar una gráfica de resistencia del asfalto al fluido (pa –S) Vs Temperatura (°C) como se observa en la gráfica cuatro (4).

Grafica 4 Viscosidad del asfalto



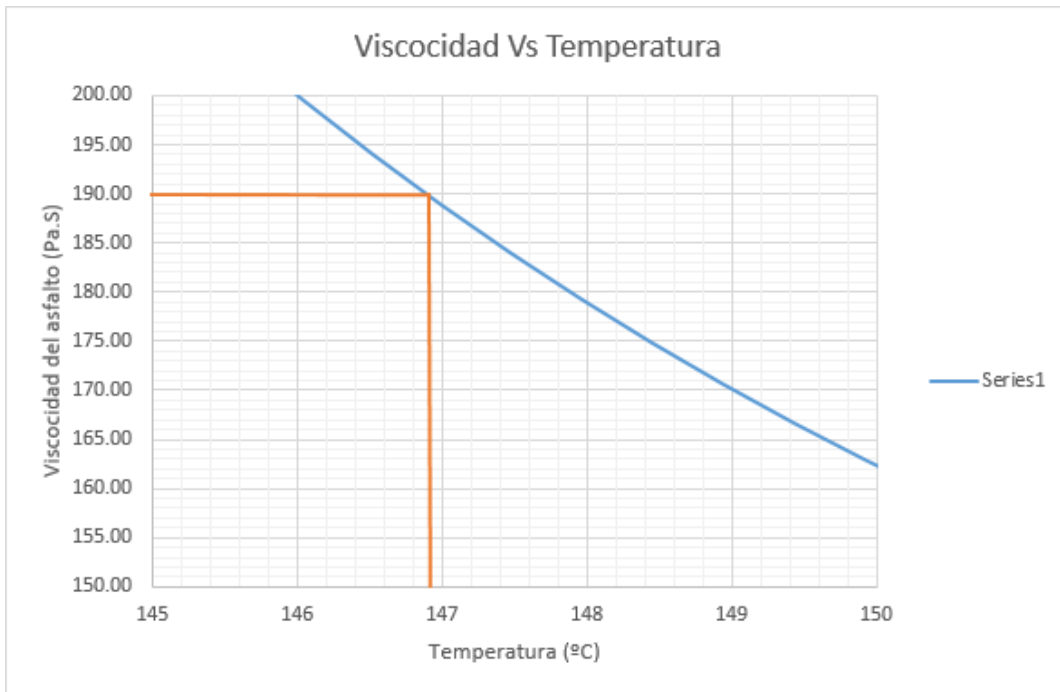
Fuente: Propia

El ensayo de viscosidad se realizó con el fin de obtener dos temperaturas del asfalto que son necesarias para realizar el ensayo Marshall las cuales son la temperatura de mezclado y la temperatura de compactación debido a que en la Norma INV E- 748 menciona: “La temperatura a la cual se debe calentar el cemento asfáltico para elaborar las mezclas será la requerida para que presente una viscosidad de 170+-20 Cp (0.17+-0.02 Pa-s). La temperatura a la cual se deberá realizar la compactación de las probetas será la correspondiente a una viscosidad del cemento asfáltico de 280+-30 Cp (0.28+-0.03 Pa.s).”¹⁷

De acuerdo a lo anterior y como se puede observar en la gráfica 4 se tiene que para una viscosidad de 190 Cp una temperatura de mezclado aproximada de 147 °C, como se muestra en la gráfica 5 y para una viscosidad de 310 Cp una temperatura de compactación aproximada de 140 °C, como se observa en la Gráfica 6. En la tabla 16, se registra dicha información.

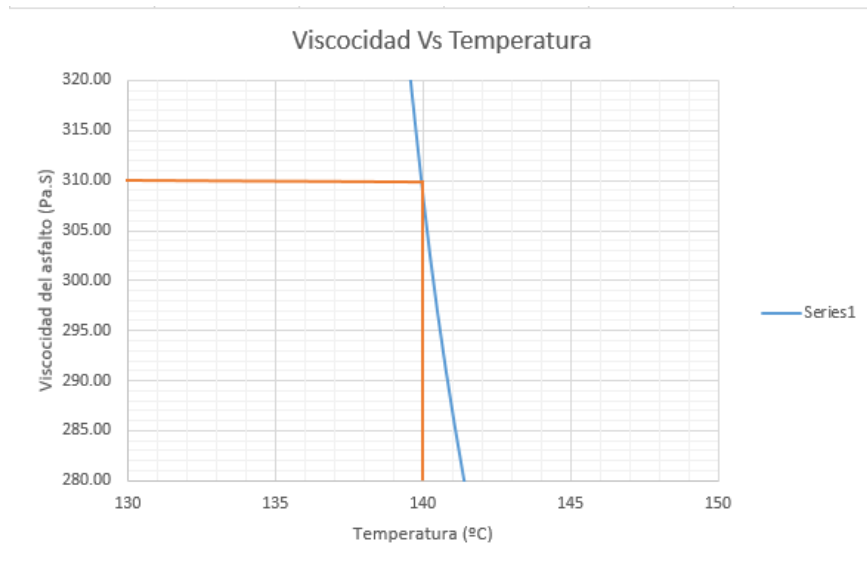
¹⁷ Ibid Secciones 700 y 800 primera parte. Ensayo 748. Bogotá D.C: El instituto. 2013. P 473 – 493.

Grafica 5 Temperatura de mezcla



Fuente: Propia

Grafica 6 Temperatura de compactación



Fuente: Propia

Tabla 14 Temperaturas de Mezclado y compactación

temperatura de mezcla	147	Viscosidad (Cp)	190
temperatura de compactacion	140	Viscosidad (Cp)	310

Fuente: Propia

Una vez obtenidas las temperaturas de mezcla y compactación se preparó una probeta de asfalto de las cuatro muestras para realizar el ensayo de estabilidad y flujo como lo indica el ensayo Marshall con un contenido de asfalto del 4,5% del total de la muestra.

Tabla 15 Pesos de Material para Mezclado

Peso de la Mezcla (g)	1200
% de Asfalto	4%
Peso del asfalto (g)	48
Peso de la basija de mezcla	1455
Peso Total de mezclado (g)	2703

Fuente: Propia

En la tabla 17 se muestra el peso de la muestra y el peso del asfalto en gramos el cual representa al 4% del peso de la muestra una vez tenido el peso total se realiza el proceso de mezclado manteniendo la temperatura de 147°C hasta que la totalidad de sus partículas se encuentren recubiertas del asfalto. Después del proceso de mezclado sigue el proceso de compactación el cual se realizó a una temperatura de 140°C donde se introdujo la mezcla asfáltica en una probeta y enseguida se realizaron 75 golpes con un martillo por ambas caras, una vez compactada la mezcla asfáltica se deja enfriar y se procede a retirarla del molde para así dejarla durante 24 Horas y poder realizar el ensayo Marshall.

Figura 14 Proceso de Mezclado



Fuente: Propia

Figura 15 Partículas cubiertas en un 100% de asfalto



Fuente Propia

Figura 16 Proceso de Compactación



Fuente: Propia

Figura 17 Mezcla Asfáltica retirada de la probeta de compactación.



Fuente propia

Antes de realizar el ensayo de Marshall se realizó el ensayo de Densidad de Bulk para saber cuál era la densidad de la muestra, el porcentaje de absorción y la respectiva densidad de bulk, como se indica en la tabla 18.

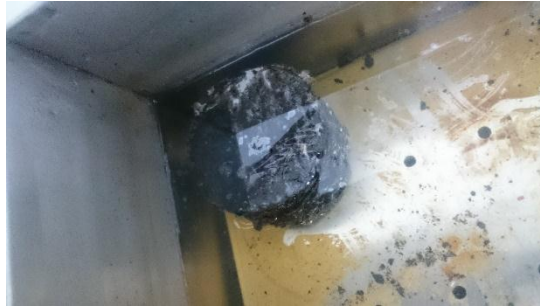
Tabla 16 Ensayo de Densidad de Bulk.

Ensayo Bulk	
diámetro	10
Altura	6.5
peso seco	1160
peso sumergido	585.5
peso saturado superficialmente seco	1174
Gravedad Especifica Bulk	1.97
Densidad de la Muestra	1965
% Absorción	2.38%

Fuente: Propia

Una vez terminado el ensayo de densidad de Bulk se empieza a realizar el ensayo Marshall el cual en primer lugar se deja la mezcla asfáltica en un baño maría durante 30 o 45 min a 60°C las cual son las condiciones más desfavorables para una mezcla asfáltica y posterior mente aplicarle carga hasta que la muestra se deforme.

Figura 18 Baño María a 60°C



Fuente: Propia

Figura 19 Mezcla asfáltica Expuesta a carga a compresión



Fuente: Propia

Según los datos arrojados en el ensayo Marshall empleando el equipo tradicional que emplea un marco de carga y un anillo con un dial para medir la deformación en este caso el flujo. Se obtuvieron los siguientes resultados.

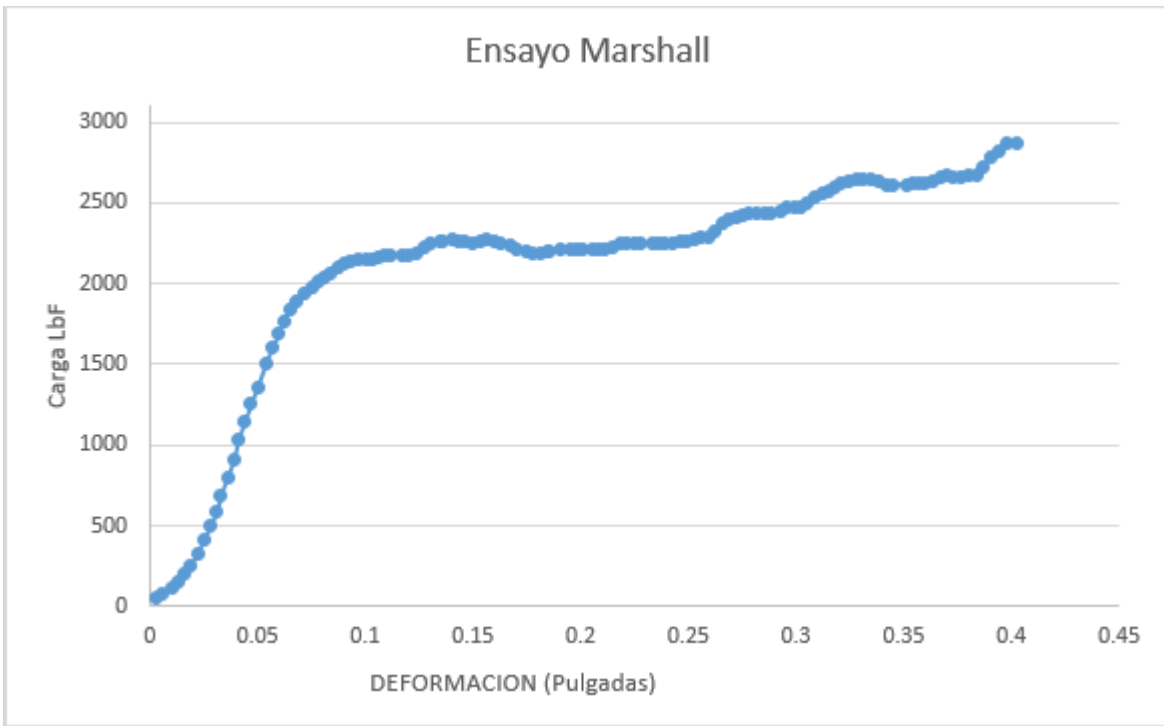
Tabla 17 Datos del ensayo Marshall en segundos Pulgadas y libras fuerza

Tiempo	desplazamiento	carga	Tiempo	desplazamiento	carga	Tiempo	desplazamiento	carga
0.1	0.003	49	4.2	0.13	2249	8.3	0.269	2395
0.2	0.006	80	4.3	0.135	2257	8.4	0.272	2416
0.3	0.01	115	4.4	0.136	2267	8.5	0.275	2429
0.4	0.013	154	4.5	0.14	2270	8.6	0.278	2434
0.5	0.016	201	4.6	0.143	2265	8.7	0.282	2432
0.6	0.019	257	4.7	0.146	2259	8.8	0.285	2432
0.7	0.022	327	4.8	0.15	2254	8.9	0.288	2432
0.8	0.025	408	4.9	0.153	2261	9	0.293	2454
0.9	0.028	494	5	0.156	2270	9.1	0.296	2477
1	0.031	588	5.1	0.16	2265	9.2	0.299	2478
1.1	0.033	691	5.2	0.163	2251	9.3	0.302	2478
1.2	0.036	800	5.3	0.167	2233	9.4	0.305	2493
1.3	0.039	913	5.4	0.17	2210	9.5	0.309	2531
1.4	0.041	1028	5.5	0.175	2195	9.6	0.312	2562
1.5	0.044	1143	5.6	0.178	2188	9.7	0.315	2578
1.6	0.047	1254	5.7	0.181	2192	9.8	0.318	2598
1.7	0.05	1360	5.8	0.185	2195	9.9	0.321	2619
1.8	0.054	1509	5.9	0.185	2195	10	0.324	2639
1.9	0.057	1604	6	0.191	2208	10.1	0.328	2645
2	0.06	1691	6.1	0.195	2210	10.2	0.331	2645
2.1	0.062	1769	6.2	0.198	2213	10.3	0.335	2645
2.2	0.065	1837	6.3	0.201	2215	10.4	0.338	2630
2.3	0.068	1892	6.4	0.205	2215	10.5	0.342	2611
2.4	0.072	1938	6.5	0.208	2215	10.6	0.345	2608
2.5	0.075	1979	6.6	0.211	2210	10.7	0.351	2612
2.6	0.078	2013	6.7	0.215	2229	10.8	0.354	2616
2.7	0.081	2040	6.8	0.218	2244	10.9	0.357	2621
2.8	0.084	2066	6.9	0.221	2252	11	0.36	2627
2.9	0.087	2095	7	0.225	2252	11.1	0.363	2639
3	0.09	2121	7.1	0.228	2252	11.2	0.367	2655
3.1	0.093	2141	7.2	0.233	2252	11.3	0.37	2666
3.2	0.097	2151	7.3	0.236	2252	11.4	0.373	2665
3.3	0.1	2151	7.4	0.239	2252	11.5	0.376	2663
3.4	0.103	2151	7.5	0.243	2252	11.6	0.38	2666
3.5	0.106	2157	7.6	0.246	2256	11.7	0.384	2670
3.6	0.109	2169	7.7	0.249	2262	11.8	0.387	2717
3.7	0.112	2175	7.8	0.253	2272	11.9	0.39	2783
3.8	0.117	2175	7.9	0.256	2282	12	0.394	2825
3.9	0.12	2175	8	0.259	2292	12.1	0.398	2874
4	0.124	2190	8.1	0.262	2328	12.2	0.402	2876
4.1	0.127	2226	8.2	0.266	2370			

Fuente: Propia

Con estos datos anteriores se puede realizar un gráfica de carga Vs deformacion donde se conozca el punto donde la curva se comienza a volver horizontal, el punto que corresponda al pico mas alto de la curva que a su vez se prolonga una linea recta con el eje "X" y el eje "Y" donde esta linea corte el eje "X" este valor sera el flujo y donde la linea recta corte el eje "Y", este valor será la estabilidad.

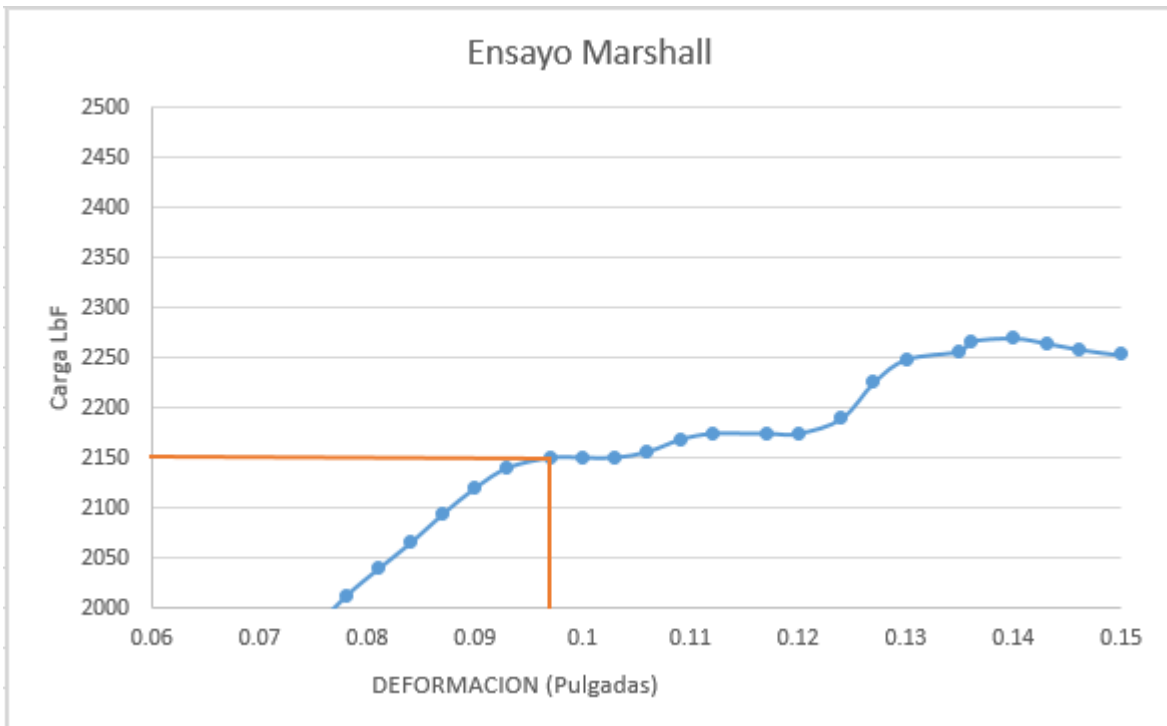
Gráfica 7 Ensayo Marshall



Fuente: Propia

Se realiza un Zoom a la Gráfica para determinar el punto máximo de la curva y de esta manera saber la estabilidad y el flujo de la mezcla.

Grafica 8 Zoom de la Grafica del Ensayo Marshall



De acuerdo a esta gráfica se puede observar que el punto máximo cuando se empieza a formar horizontalmente es un punto que en el eje "X" corta aproximadamente en 0.1 y en el eje "Y" corta aproximadamente en 2150 lo que equivale a que esta mezcla asfáltica tiene una estabilidad de 9563N y un flujo de 2.54mm, con una relación estabilidad Flujo de 3.7 KN/mm, esto quiere decir que cumple con la Norma establecida en el INVIAS 2013 en el artículo 450 donde dice que la estabilidad mínima debe estar en un rango entre 7500-16850 N y el flujo debe estar en un rango entre 2-4 mm

Figura 20 Deformación de la mezcla asfáltica después de la carga.



Fuente: Propia

Una vez realizado el ensayo Marshall se realiza el análisis volumétrico de la muestra como se indica en la INV-E 799-13 y por medio de algunos cálculos obtener todos los datos correspondientes los cuales son: La gravedad específica de los agregados, la gravedad específica de bulk del agregado combinado, la gravedad específica máxima de la mezcla, la gravedad específica de bulk de la mezcla compactada, gravedad específica del cemento asfáltico, Gravedad específica del agregado combinado, porcentaje de agregado en la mezcla, porcentaje de asfalto absorbido, porcentaje efectivo de asfalto, índice de película del asfalto, porcentaje de vacíos entre las partículas del agregado mineral, porcentaje de vacíos con respecto al volumen total del espécimen compactado y porcentaje de vacíos llenos de ligante asfáltico.

En primer lugar se realiza la gravedad específica de todos los materiales y la gravedad específica de la mezcla asfáltica. Para calcular la gravedad específica de la mezcla se necesita en primer lugar pesar la mezcla asfáltica en su estado natural, luego suspenderla en agua y pesarla dejándola saturar en el agua en un lapso de 1 hora, y posterior mente sacarla y pesarla en un estado de saturada superficialmente seca y con estos tres pesos se puede calcular la Gravedad específica Bulk, el peso específico aparente (s.s.s), el peso específico nominal y el porcentaje de absorción como se muestra en las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1 Fórmula de la Gravedad específica Bulk de la mezcla compactada (Gmb)

$$Gmb = \frac{\text{Peso Seco}}{(\text{peso saturado superficialmente seco} - \text{peso sumergido})}$$

Fuente: INV-E

Ecuación 2 Fórmula del peso específico aparente (s.s.s)

$$\text{Peso específico aparente (s. s. s)} = \frac{\text{peso saturado superficialmente seco}}{(\text{peso saturado superficialmente seco} - \text{peso sumergido})}$$

Fuente: INV-E

Ecuación 3 Fórmula peso específico Nominal

$$\text{Peso específico Nominal} = \frac{\text{peso seco}}{(\text{peso seco} - \text{peso sumergido})}$$

Fuente: INV-E

Ecuación 4 Porcentaje de Absorción

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(\text{peso saturado superficialmente seco} - \text{Peso seco})}{\text{peso seco}}$$

Fuente: INV-E

De acuerdo a las anteriores ecuaciones y con los datos obtenidos en el laboratorio, los resultados del ensayo de gravedad específica para la mezcla asfáltica fue de una gravedad específica Bulk de 2.35 con un porcentaje de absorción de 2.59% todo esto se puede mostrar en la tabla 20.

Tabla 18 Resultados Ensayo de Bulk

Ensayo Bulk	
peso seco	1160
peso sumergido	696.47
peso saturado superficialmente seco	1190
Gravedad Especifica Bulk	2.35
peso especifico aparente (s.s.s)	2.41
peso especifico nominal	2.50
% Absorción	2.59%

Fuente: Propia

En este caso el porcentaje de absorción de la mezcla es bajo, lo cual es bueno teniendo en cuenta que la mezcla asfáltica es una mezcla gruesa como se puede observar en la granulometría de la muestra y por esta razón existen muchos vacíos los cuales en este caso se llenan de agua y de aire.

También se calculó la gravedad específica de los materiales que conforman la mezcla asfáltica como se puede observar en la tabla 21.

Tabla 19 Gravedad específica de los materiales

gravedad específica							
Tamiz 3/4"	Tamiz 1/2"	Tamiz 3/8"	Tamiz N°4	Tamiz N°10	N°40	N°80	N°200
2.75	2.60	2.68	2.55	2.62	2.58	2.7	2.72

Fuente: Propia

Teniendo las Gravedades específicas de la mezcla y de los materiales se puede dar inicio a los demás cálculos que se requieren para este ensayo. Para esto es necesario las siguientes ecuaciones:

Ecuación 5 Gravedad específica máxima de la mezcla (Gmm)

$$Gmm = 0.065 * \% \text{ de asfalto} + 2.753$$

Fuente INV E-799-13

Ecuación 6 Gravedad específica Bulk del agregado combinado (Gsb)

$$Gsb = \frac{(100 - \% \text{ de asfalto})}{\left(\frac{100}{Gmm}\right) - \left(\frac{\% \text{ de asfalto}}{\text{Gravedad específica del asfalto}}\right)}$$

Fuente INV E-799-13

Ecuación 7 Gravedad específica del agregado combinado (Gse)

$$Gse = \frac{\text{La suma del porcentaje de peso de cada tamiz}}{\left(\frac{\text{porcentaje de peso tamiz } 3/4''}{\text{gravedad específica tamiz } 3/4''}\right) + \left(\frac{\text{porcentaje de peso tamiz } 1/2''}{\text{gravedad específica tamiz } 1/2''}\right) + \left(= \text{pare } \frac{3}{8''}\right) \dots}$$

Fuente INV E-799-13

Ecuación 8 porcentaje de asfalto absorbido (Pba)

$$Pba = \frac{\text{Gravedad específica del asfalto} * \left(\frac{Gse}{Gsb}\right)}{Gse * Gsb}$$

Fuente INV E-799-13

Ecuación 9 Porcentaje efectivo de asfalto (Pbe)

$$Pbe = \% \text{ de asfalto} - (Pba * \text{Porcentaje de agregado en la mezcla})$$

Fuente INV E-799-13

Ecuación 10 Porcentaje de vacíos entre las partículas del agregado Mineral (VMA)

$$VMA = 100 - \left(\frac{Gmb}{Gsb} \right) * \% \text{ del agregado en la mezcla}$$

Fuente INV E-799-13

Ecuación 11 % de vacíos con respecto al volumen total del espécimen compactado (va)

$$Va = 100 * \frac{(Gmm - Gmb)}{Gmm}$$

Fuente INV E-799-13

Ecuación 12 Porcentaje de vacíos llenos de ligante asfáltico (VFA)

$$VFA = 100 * \frac{(VMA - Va)}{VMA}$$

Fuente INV E-799-13

Ecuación 13 Relación Llenante/ Ligante efectivo

$$VFA = \frac{P0.075}{Pbe}$$

Fuente INV E-799-13

De acuerdo a las anteriores ecuaciones y con los datos obtenidos en el laboratorio los resultados del Análisis volumétrico de la mezcla asfáltica se pueden observar en la tabla veintidós (22).

Tabla 20 Resultados análisis Volumétrico.

porcentaje de asfalto	4.5	Porcentaje de Vacios entre las particulas del agregado mineral (VAM)	14.88
Gravedad especifica de bulk del agregado combinado (Gsb)	2.64		
Gravedad especifica maxima de la Mezcla (Gmm)	2.46	porcentaje de vacios con respecto al volumen total del especimen compactado (Va)	4.49
Gravedad Especifica Bulk de la mezcla compactada (Gmb)	2.35	porcentaje de vacios llenos de ligante asfaltico (VFA)	69.82
gravedad especifica del cemento asfaltico (Gb)=(Db)	1.018	Relacion Llenante/Ligante efectivo (P0.075/Pbe)	1.08
gravedad especifica del agregado combinado (Gse)	2.68	porcentaje de asfalto absorbido (Pba)	0.56%
porcentaje de agregado en la mezcla	95.5	Porcentaje efectivo de asfalto (Pbe)	4.0

Fuente: Propia

Una vez obtenidos estos datos se procede a calcular el espesor medio de la película de asfalto en U_m con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 14 Superficie específica del agregado combinado (SE)

$$SE = 0.41 + 0.0041a + 0.0082b + 0.0164c + 0.0287d + 0.0614e + 0.1229f + 0.3277g$$

Fuente: Propia

Dónde: a= porcentaje pasa tamiz N°4

b= porcentaje pasa tamiz N°8

c= porcentaje pasa tamiz N°16

d= porcentaje pasa tamiz N°30

e= porcentaje pasa tamiz N°50

f= porcentaje pasa tamiz N°100

g= porcentaje pasa tamiz N°200

Ecuación 15 Volumen total del Ligante Asfáltico (Pb volumen)

$$Pb\ volumen = \frac{Pb}{Db}$$

Fuente: Propia

Ecuación 16 masa de asfalto absorbido (Pba masa)

$$Pba\ masa = Pba * Pg$$

Fuente: Propia

Ecuación 17 Proporción de agregado en la mezcla (Pg)

$$Pg = 1 - \frac{Pb}{100}$$

Fuente: Propia

Ecuación 18 Volumen de asfalto absorbido (Pba volumen)

$$Pba\ volumen = \frac{Pba\ masa}{Db}$$

Fuente: Propia

Ecuación 19 Volumen de asfalto efectivo (Pbe volumen)

$$Pbe\ volumen = Pb\ volumen - Pba\ volumen$$

Fuente: Propia

Ecuación 20 Espesor medio de la película de asfalto

$$Ha = \left(\frac{Pbe\ volumen}{SE * Pg} \right) * 10$$

Fuente: Propia

Por medio de las anteriores ecuaciones se calculan las componentes necesarias para poder estimar el espesor medio de la película de asfalto los resultados se muestran en la tabla 23

Tabla 21 Resultados cálculo del espesor medio de la película de asfalto.

Indice de pelicula del asfalto (Um)	16.19
A	2.1
Vlumen total de ligante asfaltico (Pb volumen)	4.42
proporcion de agregado en la mezcla (Pg)	0.96
Masa de asfalto Absorbida (Pba masa)	0.01
Volumen de asfalto absorbido (Pba volumen)	0.01
Volumen de asfalto Efectivo (Pbe volumen)	4.42
Espesor medio de la pelicula de asfalto (Ha)	22.40

Fuente Propia

Ya obtenidos estos datos se puede comparar los resultados obtenidos con lo estipulado en la Norma INVIAS 2013 Artículo 450 (Concreto asfáltico) como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 22 Resultados Comparados con la Norma

CARACTERISTICA	Norma Ensayo INV	En la Norma	Resultado
Compactacion (golpes/cara)	E-748	75	75
Estabilidad Minima (N)		7500 a 16875	9563
Flujo (mm)		2 a 4	2.54
Relacion Estabilidad Flujo (KN/mm)		3 a 5	3.7
Vacios con aire (Va)%	E-799	3 a 5	4.49
Vacios en los agregados minerales (VAM)% Minimo	E-799	14	14.88
Vacios Llenos de asfalto (VFA)%	E-799	65 a 78	69.82
Relacion Llenante Ligante efectivo	E-799	0.8 a 1.2	1.08

Fuente: Propia

Ya obtenida la muestra de prueba y finalizando todos los ensayos correspondientes a esta muestra se procede a realizar el registro fotográfico de la segunda muestra y a realizar la toma de medidas de las partículas con el fin de saber el volumen del material que va a recubrir el asfalto y así estimar el espesor de película de recubrimiento de una mezcla asfáltica densa en caliente (concreto Asfáltico) Tipo MGC-25.

A continuación se muestra las dimensiones de las partículas con su respectivo volumen de acuerdo a su tamiz.

Tabla 23 Análisis Volumétrico del Material retenido en el Tamiz ¾"

proceso fotografico material 3/4"											
N° de piedra	ancho (cm)	largo (cm)	Altura o espesor (cm)	Promedio	Forma	superficie	Aspect Ratio	SAF	SAFi	factor de Volumen (VF)	Volumen (cm) ³
1	2.6	3.1	0.7	2.9	cubica	48.36	4	275.65	5.7	7.6	5.64
2	3	2.7	1.5	2.4	esferica	18.10	2	36.19	2	2.5	7.24
3	2.2	2.9	1.1	2.1	esferica	13.42	3	40.25	3	4	4.62
4	2.6	3	1.3	2.8	cubica	46.80	2	149.76	3.2	3.8	10.14
5	3.5	2.3	1.4	2.9	cubica	48.30	3	217.35	4.5	5.7	11.27
6	2.3	3	2	2.7	cubica	41.40	2	132.48	3.2	3.8	13.80
7	2.8	2.5	2.4	2.7	piramide cuadrada	19.72	1	19.72	1	0.6	5.62
8	1.1	1.8	2.2	1.5	piramide cuadrada	8.36	2	14.21	1.7	1.3	1.54
9	3	1	3	2.0	piramide triangular	18.00	3	23.40	1.3	0.7	1.73
10	3.2	2.5	3.6	2.9	piramide triangular	57.60	1	34.56	0.6	0.2	4.22
11	2.5	2.2	1.3	2.4	cubica	33.00	2	105.60	3.2	3.8	7.15
12	1.5	2.6	3	2.1	piramide cuadrada	16.20	2	27.54	1.7	1.3	4.20
13	2.4	3.7	1.5	3.1	piramide triangular	26.64	2	23.98	0.9	0.5	2.01
14	2.2	2.3	1.8	2.3	piramide cuadrada	13.16	1	13.16	1	0.6	3.04
15	2.5	2.6	1.2	2.6	cubica	39.00	2	124.80	3.2	3.8	7.80
16	2.3	2.3	1.2	2.3	cubica	31.74	2	101.57	3.2	3.8	6.35
17	3	3	1.5	3.0	cubica	54.00	2	172.80	3.2	3.8	13.50
18	3	2.5	1.5	2.8	cubica	45.00	2	202.50	4.5	5.7	11.25
19	1.7	3.2	2.5	2.5	piramide triangular	27.20	2	16.32	0.6	0.2	2.17
Total						605.99	Promedio	91.1	2.5	2.8	123.29

Fuente: Propia

El volumen total del Material Retenido en el Tamiz ¾" Fue de 129.3 cm³ con un total de 19 partículas, para este tamiz se pudo diferenciar y caracterizar las partículas por su forma en este caso se caracterizaron en cuatro formas las cuales fueron: Cubica, Esférica, Pirámide Cuadrada, Pirámide Triangular. De acuerdo a esta clasificación se calculó el respectivo volumen.

Tabla 24 Análisis Volumétrico del Material retenido en el Tamiz 1/2" (1-2)

proceso fotografico material 1/2"											
N° de piedra	ancho (cm)	largo (cm)	Altura o espesor (cm)	Promedio	Forma	superficie	Aspect Ratio	SAF	SAFi	factor de Volumen (VF)	Volumen (cm) ³
1	2	2.5	1.5	2.25	cubica	30.00	2	96.00	3.2	3.8	7.50
2	2	2.5	1.7	2.25	cubica	30.00	1	57.00	1.9	1.9	8.50
3	1.5	1.9	1.3	1.7	cubica	17.10	1	32.49	1.9	1.9	3.71
4	2	2	1	2	cubica	24.00	2	76.80	3.2	3.8	4.00
5	1.7	3	1	2.35	cubica	30.60	3	137.70	4.5	5.7	5.10
6	1.8	1.7	1.3	1.75	cubica	18.36	1	34.88	1.9	1.9	3.98
7	1.5	2	0.5	1.75	cubica	18.00	4	102.60	5.7	7.6	1.50
8	1.5	2.5	1.3	2	cubica	22.50	2	72.00	3.2	3.8	4.88
9	2.5	2	1	2.25	cubica	30.00	3	135.00	4.5	5.7	5.00
10	1.5	1.5	1	1.5	cubica	13.50	2	43.20	3.2	3.8	2.25
11	2.4	1.3	1	1.85	cubica	18.72	2	59.90	3.2	3.8	3.12
12	2	2.3	2.5	2.15	cubica	27.60	1	52.44	1.9	1.9	11.50
13	2	2	0.5	2	cubica	24.00	4	136.80	5.7	7.6	2.00
14	2	2.1	0.7	2.05	cubica	25.20	3	113.40	4.5	5.7	2.94
15	1.5	2	0.8	1.75	cubica	18.00	3	81.00	4.5	5.7	2.40
16	2	1.8	0.6	1.9	cubica	21.60	3	97.20	4.5	5.7	2.16
17	2	1.5	0.9	1.75	cubica	18.00	2	57.60	3.2	3.8	2.70
18	2	1.5	1	1.75	cubica	18.00	2	57.60	3.2	3.8	3.00
19	1.7	2.3	1	2	cubica	23.46	2	75.07	3.2	3.8	3.91
20	1.7	1.5	1	1.6	cubica	15.30	2	48.96	3.2	3.8	2.55
21	1.5	1.5	0.5	1.5	cubica	13.50	3	60.75	4.5	5.7	1.13
22	1.3	1.6	0.7	1.45	cubica	12.48	2	39.94	3.2	3.8	1.46
23	2	1.5	1	1.75	cubica	18.00	2	57.60	3.2	3.8	3.00
24	1.5	1.6	1	1.55	cubica	14.40	2	46.08	3.2	3.8	2.40
25	1.7	1.6	0.7	1.65	cubica	16.32	2	52.22	3.2	3.8	1.90
26	1.7	1.3	1	1.5	cubica	13.26	2	42.43	3.2	3.8	2.21
27	2	1.4	1	1.7	cubica	16.80	2	53.76	3.2	3.8	2.80
28	2	1.7	0.7	1.85	cubica	20.40	3	91.80	4.5	5.7	2.38
29	1.8	1	2	1.4	cubica	10.80	2	34.56	3.2	3.8	3.60
30	1.7	1.3	1	1.5	cubica	13.26	2	42.43	3.2	3.8	2.21
31	2	1.6	0.7	1.8	cubica	19.20	3	86.40	4.5	5.7	2.24
32	1.6	1.6	0.5	1.6	cubica	15.36	3	69.12	4.5	5.7	1.28
33	1	1.5	1	1.25	cubica	9.00	2	28.80	3.2	3.8	1.50
34	2	1.3	1	1.65	cubica	15.60	2	49.92	3.2	3.8	2.60
35	1.7	1.5	0.8	1.6	cubica	15.30	2	48.96	3.2	3.8	2.04
36	1.2	1.5	1	1.35	cubica	10.80	2	34.56	3.2	3.8	1.80
37	1.7	1.9	1.5	1.8	cubica	19.38	1	36.82	1.9	1.9	4.85
38	1	1	1	1	cubica	6.00	1	11.40	1.9	1.9	1.00
39	2	2.2	0.5	2.1	cubica	26.40	4	150.48	5.7	7.6	2.20
40	2	2.7	1	2.35	esferica	17.35	3	52.05	3	4	6.80

Fuente: Propia

Tabla 26 (Continuación)

proceso fotografico material 1/2''											
N° de piedra	ancho (cm)	largo (cm)	Altura o espesor (cm)	Promedio	Forma	superficie	Aspect Ratio	SAF	SAFi	factor de Volumen (VF)	Volumen (cm) ³
41	2.1	2.6	1.1	2.35	esferica	17.35	2	34.70	2	2.5	6.80
42	2	2.1	1.3	2.05	esferica	13.20	2	26.41	2	2.5	4.51
43	1.7	2.6	1.4	2.15	esferica	14.52	2	29.04	2	2.5	5.20
44	2	2.3	1.5	2.15	esferica	14.52	2	29.04	2	2.5	5.20
45	1.7	3	1.3	2.35	esferica	17.35	2	34.70	2	2.5	6.80
46	1.5	1.5	1.5	1.5	esferica	7.07	1	7.07	1	1	1.77
47	2	1.7	1.3	1.85	esferica	10.75	2	21.50	2	2.5	3.32
48	2	2	1.5	2	esferica	12.57	1	12.57	1	1	4.19
49	1.1	2.6	1.5	1.85	piramide triangular	8.58	2	7.72	0.9	0.5	0.74
50	1	2.5	1.6	1.75	piramide triangular	8.00	3	10.40	1.3	0.7	0.71
51	0.9	2.6	1.6	1.75	piramide triangular	7.49	3	9.73	1.3	0.7	0.71
52	1.3	2	2	1.65	piramide triangular	10.40	2	9.36	0.9	0.5	0.79
53	1	2	1.9	1.5	piramide triangular	7.60	2	6.84	0.9	0.5	0.62
54	2.5	1.5	2.9	2	piramide triangular	21.75	2	19.58	0.9	0.5	1.67
55	1.8	1.5	1.4	1.65	piramide triangular	7.56	1	4.54	0.6	0.2	0.55
56	1.3	1.3	2	1.3	piramide triangular	6.76	2	6.08	0.9	0.5	0.49
57	2	2	1.5	2	piramide cuadrada	10.00	1	10.00	1	0.6	2.00
58	1.5	2	1.5	1.75	piramide cuadrada	8.25	1	8.25	1	0.6	1.53
59	2	1.5	1.3	1.75	piramide cuadrada	7.55	2	12.84	1.7	1.3	1.33
Total						958.82	promedio	50.14	2.8	3.3	180.98

Fuente: Propia

El volumen total del Material Retenido en el Tamiz N° 1/2'' Fue de 180.98 cm³ con un total de 59 partículas. Para este tamiz se pudo diferenciar y caracterizar las partículas por su forma, en este caso se caracterizaron en cuatro formas las cuales fueron: Cubica, Esférica, Pirámide Cuadrada, Pirámide Triangular. De acuerdo a esta clasificación se calculó el respectivo volumen.

Tabla 25 Análisis Volumétrico del Material retenido en el Tamiz 3/8''

proceso fotografico material 3/8''											
N° de piedra	ancho (cm)	largo (cm)	Altura o espesor (cm)	Promedio	Forma	superficie	Aspect Ratio	SAF	SAFi	factor de Volumen (VF)	Volumen (cm) ³
1	1	1.4	0.5	1.2	cubica	8.40	3	37.80	4.5	5.7	0.70
2	1.3	1.5	1.3	1.4	cubica	11.70	1	22.23	1.9	1.9	2.54
3	1.3	2.2	0.9	1.75	cubica	17.16	2	54.91	3.2	3.8	2.57
4	1.5	2.5	0.6	2	cubica	22.50	4	128.25	5.7	7.6	2.25
5	2	0.7	0.5	1.35	cubica	8.40	4	47.88	5.7	7.6	0.70
6	1.8	1.5	0.4	1.65	cubica	16.20	5	113.40	7	9.5	1.08
7	0.8	2.5	0.8	1.65	cubica	12.00	3	54.00	4.5	5.7	1.60
8	1	1.8	1	1.4	cubica	10.80	2	34.56	3.2	3.8	1.80
9	1.3	1.5	0.9	1.4	cubica	11.70	2	37.44	3.2	3.8	1.76
10	1	3	0.7	2	cubica	18.00	4	102.60	5.7	7.6	2.10
11	1.2	2	0.5	1.6	cubica	14.40	4	82.08	5.7	7.6	1.20
12	1.1	1.7	0.6	1.4	cubica	11.22	3	50.49	4.5	5.7	1.12
13	1.7	1.2	0.8	1.45	cubica	12.24	2	39.17	3.2	3.8	1.63
14	1	1.5	0.6	1.25	cubica	9.00	3	40.50	4.5	5.7	0.90
15	1.3	2.9	1.5	2.1	cubica	22.62	2	72.38	3.2	3.8	5.66
16	1.6	1	1	1.3	cubica	9.60	2	30.72	3.2	3.8	1.60
17	1.5	1.5	0.3	1.5	cubica	13.50	5	94.50	7	9.5	0.68
18	1.3	1.6	0.6	1.45	cubica	12.48	3	56.16	4.5	5.7	1.25
19	1	2	1	1.5	cubica	12.00	2	38.40	3.2	3.8	2.00
20	1.1	1.4	0.4	1.25	cubica	9.24	4	52.67	5.7	7.6	0.62
21	1.2	2	1	1.6	cubica	14.40	2	46.08	3.2	3.8	2.40
22	1.8	1.5	0.5	1.65	cubica	16.20	4	92.34	5.7	7.6	1.35
23	1.1	1.8	0.9	1.45	cubica	11.88	2	38.02	3.2	3.8	1.78
24	1.3	0.7	1	1	cubica	5.46	2	17.47	3.2	3.8	0.91
25	1.4	1.2	0.7	1.3	cubica	10.08	2	32.26	3.2	3.8	1.18
26	2	1.3	1	1.65	cubica	15.60	2	49.92	3.2	3.8	2.60
27	1.1	1.4	0.8	1.25	cubica	9.24	2	29.57	3.2	3.8	1.23
28	1.5	2	0.5	1.75	cubica	18.00	4	102.60	5.7	7.6	1.50
29	1.2	1.5	0.5	1.35	cubica	10.80	3	48.60	4.5	5.7	0.90
30	2	1.5	0.6	1.75	cubica	18.00	3	81.00	4.5	5.7	1.80
31	1.3	1.6	1	1.45	cubica	12.48	2	39.94	3.2	3.8	2.08
32	1.5	1.5	0.5	1.5	cubica	13.50	3	60.75	4.5	5.7	1.13
33	1.5	1.4	0.5	1.45	cubica	12.60	3	56.70	4.5	5.7	1.05
34	1.7	1.2	0.8	1.45	cubica	12.24	2	39.17	3.2	3.8	1.63
35	2	1.6	0.7	1.8	cubica	19.20	3	86.40	4.5	5.7	2.24
36	2.1	1.5	0.5	1.8	cubica	18.90	4	107.73	5.7	7.6	1.58
37	1.7	1.3	0.8	1.5	cubica	13.26	2	42.43	3.2	3.8	1.77
38	1.5	1.7	0.5	1.6	cubica	15.30	3	68.85	4.5	5.7	1.28
39	1	1.5	0.7	1.25	cubica	9.00	2	28.80	3.2	3.8	1.05
40	2	1.5	0.5	1.75	cubica	18.00	4	102.60	5.7	7.6	1.50

Fuente: Propia

Tabla 27. (Continuación)

proceso fotografico material 3/8"											
N° de piedra	ancho (cm)	largo (cm)	Altura o espesor (cm)	Promedio	Forma	superficie	Aspect Ratio	SAF	SAFi	factor de Volumen (VF)	Volumen (cm) ³
40	2	1.5	0.5	1.75	cubica	18.00	4	102.60	5.7	7.6	1.50
41	1	1.2	0.6	1.1	cubica	7.20	2	23.04	3.2	3.8	0.72
42	1	1.1	0.3	1.05	cubica	6.60	4	37.62	5.7	7.6	0.33
43	1.5	1	0.5	1.25	cubica	9.00	3	40.50	4.5	5.7	0.75
44	1	1.3	0.5	1.15	cubica	7.80	3	35.10	4.5	5.7	0.65
45	1.5	1.4	0.7	1.45	cubica	12.60	2	40.32	3.2	3.8	1.47
46	1.7	1	0.5	1.35	cubica	10.20	3	45.90	4.5	5.7	0.85
47	2	1	0.8	1.5	cubica	12.00	3	54.00	4.5	5.7	1.60
48	1.8	1.1	0.5	1.45	cubica	11.88	4	67.72	5.7	7.6	0.99
49	1	1.7	0.6	1.35	cubica	10.20	3	45.90	4.5	5.7	1.02
50	0.7	2	1	1.35	cubica	8.40	3	37.80	4.5	5.7	1.40
51	1	2.1	0.9	1.55	cubica	12.60	2	40.32	3.2	3.8	1.89
52	1.6	2.5	0.7	2.05	cubica	24.00	4	136.80	5.7	7.6	2.80
53	1.5	1.5	0.5	1.5	cubica	13.50	3	60.75	4.5	5.7	1.13
54	1.5	1.6	0.3	1.55	cubica	14.40	5	100.80	7	9.5	0.72
55	2	1.3	0.4	1.65	cubica	15.60	5	109.20	7	9.5	1.04
56	2.1	1.7	0.4	1.9	cubica	21.42	5	149.94	7	9.5	1.43
57	2	1.8	0.6	1.9	cubica	21.60	3	97.20	4.5	5.7	2.16
58	1.4	1.9	0.5	1.65	cubica	15.96	4	90.97	5.7	7.6	1.33
59	1.7	1	0.4	1.35	cubica	10.20	4	58.14	5.7	7.6	0.68
60	1.1	0.8	0.6	0.95	cubica	5.28	2	16.90	3.2	3.8	0.53
61	1.3	1.1	0.7	1.2	cubica	8.58	2	27.46	3.2	3.8	1.00
62	1.5	1.1	0.6	1.3	cubica	9.90	3	44.55	4.5	5.7	0.99
63	1	1	0.5	1	cubica	6.00	2	19.20	3.2	3.8	0.50
64	1	1.3	0.3	1.15	cubica	7.80	4	44.46	5.7	7.6	0.39
65	1	1.5	0.5	1.25	cubica	9.00	3	40.50	4.5	5.7	0.75
66	1.2	1.5	0.6	1.35	cubica	10.80	3	48.60	4.5	5.7	1.08
67	1.3	1.8	0.8	1.55	cubica	14.04	2	44.93	3.2	3.8	1.87
68	1.1	1.2	1	1.15	cubica	7.92	1	15.05	1.9	1.9	1.32
69	1.1	1.2	1.1	1.15	cubica	7.92	1	15.05	1.9	1.9	1.45
70	1	2	0.9	1.5	cubica	12.00	2	38.40	3.2	3.8	1.80
71	1.5	2.5	0.5	2	cubica	22.50	5	157.50	7	9.5	1.88
72	2	2	0.6	2	cubica	24.00	3	108.00	4.5	5.7	2.40
73	2	2.2	1.1	2.1	cubica	26.40	2	84.48	3.2	3.8	4.84
74	2.1	1.5	2.6	1.8	cubica	18.90	2	60.48	3.2	3.8	8.19
75	1.9	1	1.3	1.45	cubica	11.40	2	36.48	3.2	3.8	2.47
76	1.5	1.5	1.1	1.5	cubica	13.50	1	25.65	1.9	1.9	2.48
77	1.6	1.7	0.5	1.65	cubica	16.32	3	73.44	4.5	5.7	1.36
78	1.3	1.8	0.7	1.55	cubica	14.04	3	63.18	4.5	5.7	1.64
79	1.4	1.6	0.8	1.5	cubica	13.44	2	43.01	3.2	3.8	1.79
80	0.8	1.1	0.3	0.95	cubica	5.28	4	30.10	5.7	7.6	0.26

Fuente: Propia

Tabla 27. (Continuación)

proceso fotografico material 3/8"											
N° de piedra	ancho (cm)	largo (cm)	Altura o espesor (cm)	Promedio	Forma	superficie	Aspect Ratio	SAF	SAFi	factor de Volumen (VF)	Volumen (cm) ³
81	0.9	1.5	0.5	1.2	cubica	8.10	3	36.45	4.5	5.7	0.68
82	0.7	1	0.5	0.85	cubica	4.20	2	13.44	3.2	3.8	0.35
83	1	1.1	0.5	1.05	cubica	6.60	2	21.12	3.2	3.8	0.55
84	1.1	1	0.5	1.05	cubica	6.60	2	21.12	3.2	3.8	0.55
85	1	1	0.4	1	cubica	6.00	3	27.00	4.5	5.7	0.40
86	1	1.2	0.6	1.1	cubica	7.20	2	23.04	3.2	3.8	0.72
87	1	2.3	1.1	1.65	esferica	8.55	2	17.11	2	2.5	2.35
88	1.5	2	1	1.75	esferica	9.62	2	19.24	2	2.5	2.81
89	1	2	1	1.5	esferica	7.07	2	14.14	2	2.5	1.77
90	1	1.5	0.7	1.25	esferica	4.91	2	9.82	2	2.5	1.02
91	1	1.5	1	1.25	esferica	4.91	2	9.82	2	2.5	1.02
92	1.2	1.7	1.5	1.45	esferica	6.61	1	6.61	1	1	1.60
93	1.5	1.5	1.2	1.5	esferica	7.07	1	7.07	1	1	1.77
94	0.8	1.9	1.5	1.35	esferica	5.73	2	11.45	2	2.5	1.29
95	1	2	1.5	1.5	esferica	7.07	2	14.14	2	2.5	1.77
96	1.7	1.5	1.2	1.6	esferica	8.04	1	8.04	1	1	2.14
97	1.2	1.4	1	1.3	esferica	5.31	1	5.31	1	1	1.15
98	0.7	1.5	1	1.1	piramide tirangular	2.10	2	1.89	0.9	0.5	0.17
99	1	1	1.5	1	piramide tirangular	3.00	2	2.70	0.9	0.5	0.22
100	1	1.5	0.8	1.25	piramide tirangular	2.40	2	2.16	0.9	0.5	0.18
101	0.9	1.2	0.5	1.05	piramide tirangular	1.08	2	0.97	0.9	0.5	0.08
102	1.1	1.4	0.7	1.25	piramide tirangular	2.16	2	1.94	0.9	0.5	0.16
103	0.8	1.3	0.9	1.05	piramide tirangular	1.87	2	1.68	0.9	0.5	0.14
104	1	1.5	1	1.25	piramide tirangular	3.00	2	2.70	0.9	0.5	0.23
105	1.2	1.2	0.5	1.2	piramide tirangular	1.44	2	1.30	0.9	0.5	0.10
106	1	2	1.5	1.5	piramide cuadrada	6.50	2	11.05	1.7	1.3	1.13
107	1	1.5	0.9	1.25	piramide cuadrada	3.75	2	6.38	1.7	1.3	0.47
108	0.5	2.5	1.5	1.5	piramide cuadrada	5.75	5	20.13	3.5	3.2	1.13
109	1.2	2	1.4	1.6	piramide cuadrada	6.88	2	11.70	1.7	1.3	1.19
110	1	1.5	1.2	1.25	piramide cuadrada	4.50	2	7.65	1.7	1.3	0.63
111	1.5	1.8	1	1.65	piramide cuadrada	6.00	2	10.20	1.7	1.3	0.91
Total						1211.49	promedio	45.21	3.6	4.5	155.28

Fuente: Propia

El volumen total del Material Retenido en el Tamiz N° 3/8" Fue de 147.94 cm³ con un total de 111 partículas, para este tamiz se pudo diferenciar y caracterizar las partículas por su forma en este caso se caracterizaron en cuatro formas las cuales fueron: Cubica, Esférica, Pirámide Cuadrada, Pirámide Triangular. De acuerdo a esta clasificación se calculó el respectivo volumen.

Tabla 26. Análisis Volumétrico del Material retenido en el Tamiz 4''

proceso fotografico material N°4											
N° de piedra	ancho (cm)	largo (cm)	Altura o espesor (cm)	Promedio	Forma	superficie	Aspect Ratio	SAF	SAFi	factor de Volumen (VF)	Volumen (cm) ³
1	1.3	1	0.6	1.15	cubico	7.80	2	24.96	3.2	3.8	0.78
2	0.6	0.5	0.5	0.55	cubico	1.80	1	3.42	1.9	1.9	0.15
3	1.2	0.7	0.3	0.95	cubico	5.04	4	28.73	5.7	7.6	0.25
4	0.6	1.4	0.6	1.00	cubico	5.04	2	16.13	3.2	3.8	0.50
5	1	1.5	0.7	1.25	cubico	9.00	2	28.80	3.2	3.8	1.05
6	0.6	0.7	0.5	0.65	cubico	2.52	1	4.79	1.9	1.9	0.21
7	0.6	1.6	0.5	1.10	cubico	5.76	3	25.92	4.5	5.7	0.48
8	1.1	1	0.3	1.05	cubico	6.60	4	37.62	5.7	7.6	0.33
9	0.5	1.1	0.5	0.80	cubico	3.30	2	10.56	3.2	3.8	0.28
10	1.1	1.3	0.3	1.20	cubico	8.58	4	48.91	5.7	7.6	0.43
11	0.5	1	0.2	0.75	cubico	3.00	5	21.00	7	9.5	0.10
12	0.6	0.9	0.4	0.75	cubico	3.24	2	10.37	3.2	3.8	0.22
13	0.8	1.3	0.7	1.05	cubico	6.24	2	19.97	3.2	3.8	0.73
14	0.4	1.3	0.5	0.85	cubico	3.12	3	14.04	4.5	5.7	0.26
15	1	1	0.2	1.00	cubico	6.00	5	42.00	7	9.5	0.20
16	0.5	1	0.3	0.75	cubico	3.00	3	13.50	4.5	5.7	0.15
17	0.8	1.3	0.3	1.05	cubico	6.24	4	35.57	5.7	7.6	0.31
18	1	0.6	0.6	0.80	cubico	3.60	2	11.52	3.2	3.8	0.36
19	0.9	1	0.5	0.95	cubico	5.40	2	17.28	3.2	3.8	0.45
20	1	0.7	0.5	0.85	cubico	4.20	2	13.44	3.2	3.8	0.35
21	1	1.6	0.5	1.30	cubico	9.60	3	43.20	4.5	5.7	0.80
22	0.6	1	0.5	0.80	cubico	3.60	2	11.52	3.2	3.8	0.30
23	1	1	0.6	1.00	cubico	6.00	2	19.20	3.2	3.8	0.60
24	0.5	1.2	0.3	0.85	cubico	3.60	4	20.52	5.7	7.6	0.18
25	1	1.2	0.3	1.10	cubico	7.20	4	41.04	5.7	7.6	0.36
26	0.9	1	0.4	0.95	cubico	5.40	3	24.30	4.5	5.7	0.36
27	0.6	0.7	0.3	0.65	cubico	2.52	2	8.06	3.2	3.8	0.13
28	0.8	0.6	0.5	0.70	cubico	2.88	2	9.22	3.2	3.8	0.24
29	0.5	1	0.2	0.75	cubico	3.00	5	21.00	7	9.5	0.10
30	0.8	1	0.5	0.90	cubico	4.80	2	15.36	3.2	3.8	0.40
31	0.6	1	0.4	0.80	cubico	3.60	3	16.20	4.5	5.7	0.24
32	1	1.1	0.7	1.05	cubico	6.60	2	21.12	3.2	3.8	0.77
33	1	1.6	0.5	1.30	cubico	9.60	3	43.20	4.5	5.7	0.80
34	0.5	0.7	0.3	0.60	cubico	2.10	2	6.72	3.2	3.8	0.11
35	1	1.3	0.6	1.15	cubico	7.80	2	24.96	3.2	3.8	0.78
409	0.8	1.1	0.5	0.95	piramide triangular	0.88	2	0.79	0.9	0.5	0.07
410	1.1	1.3	0.6	1.20	piramide triangular	1.72	2	1.54	0.9	0.5	0.12
411	1.4	0.8	1	1.10	piramide triangular	2.24	2	2.02	0.9	0.5	0.17
412	0.9	0.6	1.1	0.75	piramide triangular	1.19	2	1.07	0.9	0.5	0.09
Total						1941.78	promedio	20.1	3.9	4.9	149.45

Fuente: Propia

El volumen total del Material Retenido en el Tamiz N° 4 Fue de 138.73 cm³ con un total de 412 partículas, para este tamiz se pudo diferenciar y caracterizar las partículas por su forma en este caso se caracterizaron en tres formas las cuales fueron: Cubica, Pirámide

Cuadrada, Pirámide Triangular. De acuerdo a esta clasificación se calculó el respectivo volumen. El total de las partículas se pueden observar en los anexos 1.

Tabla 27 . Análisis Volumétrico del Material retenido en el Tamiz 10''

proceso fotografico material N°10											
N° de piedra	ancho (cm)	largo (cm)	Altura o espesor	Promedio	Forma	superficie	Aspect Ratio	SAF	SAFi	factor de Volumen	Volumen (cm) ³
1	0.5	0.3	0.2	0.40	cubica	0.90	3	4.05	4.5	5.7	0.03
2	0.7	0.5	0.4	0.60	cubica	2.10	2	6.72	3.2	3.8	0.14
3	0.6	0.6	0.2	0.60	cubica	2.16	3	9.72	4.5	5.7	0.07
4	0.6	0.4	0.3	0.50	cubica	1.44	2	4.61	3.2	3.8	0.07
5	0.5	0.7	0.2	0.60	cubica	2.10	4	11.97	5.7	7.6	0.07
6	0.5	0.5	0.5	0.50	cubica	1.50	1	2.85	1.9	1.9	0.13
7	1	0.5	0.5	0.75	cubica	3.00	2	9.60	3.2	3.8	0.25
8	1	0.5	0.5	0.75	cubica	3.00	2	9.60	3.2	3.8	0.25
9	0.7	0.5	0.4	0.60	cubica	2.10	2	6.72	3.2	3.8	0.14
10	0.6	0.6	0.5	0.60	cubica	2.16	1	4.10	1.9	1.9	0.18
11	0.5	0.6	0.3	0.55	cubica	1.80	2	5.76	3.2	3.8	0.09
12	0.5	0.8	0.4	0.65	cubica	2.40	2	7.68	3.2	3.8	0.16
13	0.5	0.4	0.3	0.45	cubica	1.20	2	3.84	3.2	3.8	0.06
14	0.5	0.4	0.3	0.45	cubica	1.20	2	3.84	3.2	3.8	0.06
15	0.6	0.4	0.3	0.50	cubica	1.44	2	4.61	3.2	3.8	0.07
16	0.4	0.3	0.4	0.35	cubica	0.72	1	1.37	1.9	1.9	0.05
17	0.9	0.5	0.4	0.70	cubica	2.70	2	8.64	3.2	3.8	0.18
18	0.5	0.4	0.5	0.45	cubica	1.20	1	2.28	1.9	1.9	0.10
19	0.5	0.4	0.5	0.45	cubica	1.20	1	2.28	1.9	1.9	0.10
20	0.3	0.5	0.3	0.40	cubica	0.90	2	2.88	3.2	3.8	0.05
21	0.5	0.5	0.5	0.50	cubica	1.50	1	2.85	1.9	1.9	0.13
22	0.7	0.5	0.3	0.60	cubica	2.10	2	6.72	3.2	3.8	0.11
23	0.4	0.7	0.4	0.55	cubica	1.68	2	5.38	3.2	3.8	0.11
24	0.7	0.2	0.2	0.45	cubica	0.84	4	4.79	5.7	7.6	0.03
25	0.3	0.7	0.2	0.50	cubica	1.26	4	7.18	5.7	7.6	0.04
622	0.9	0.6	0.5	0.75	piramide triangular	0.54	2	0.49	0.9	0.5	0.04
623	0.5	0.4	0.6	0.45	piramide triangular	0.24	2	0.22	0.9	0.5	0.02
624	0.6	0.5	0.4	0.55	piramide triangular	0.24	2	0.22	0.9	0.5	0.02
625	0.5	0.6	0.5	0.55	piramide triangular	0.30	1	0.18	0.6	0.2	0.02
Total						782.34	Promedio	4.6	3.6	4.4	43.39

Fuente: Propia

El volumen total del Material Retenido en el Tamiz N° 10 Fue de 40.48 cm³ con un total de 625 partículas, para este tamiz se pudo diferenciar y caracterizar las partículas por su forma en este caso se caracterizaron en tres formas las cuales fueron: Cubica, Pirámide Cuadrada, Pirámide Triangular. De acuerdo a esta clasificación se calculó el respectivo volumen.

Los tamices restantes como lo son el tamiz N°40, 80 y 200 no se le realizo un registro fotográfico y por ende no se conoce la dimensión de las partículas debido a su tamaño tan inferior. A continuación se muestra el registro fotográfico por el cual se tomaron las dimensiones de las partículas.

Figura 21 Partícula material $\frac{3}{4}$ " forma (esfera alargada)



Fuente: Propia

Figura 22 Partícula material $\frac{3}{4}$ " forma (Piramide Triangular)



Fuente: Propia

Figura 23 Partícula material ¾" forma (esfera)



Fuente: Propia

Figura 24 Partícula material ¾" forma (cubica)



Fuente: Propia

Figura 25 Partícula material N°10" forma (Cubica)



Fuente: Propia

Figura 26 Partícula material N°10'' forma (esférica)



Fuente: Propia

Figura 27 Partícula material N°10'' forma (Cubica)



Fuente: Propia

Figura 28 Partícula material N°10'' forma (Pirámide Triangular)



Fuente: Propia

Una vez obtenidas las dimensiones de las partículas de los diferentes tamices, por medio de las ecuaciones de Investigation of in-place Asphalt Film Thickness and performance of hot mix Asphalt Mixtures¹⁸ se calcula el espesor de película de asfalto de una mezcla de la siguiente manera:

¹⁸ Xinjun Li; Christopher Williams; Mihai Marasteanu; Timothy Clyne; y Eddie Jhonson. cálculo del espesor de película de asfalto y rendimiento de mezclas asfálticas en caliente. Estados Unidos. Ingeniería Civil [Disponible en:

Ecuación 21 Volumen Total del agregado retenido en el tamiz n (V_{in})

$$V_{in} = \frac{P_{ci}(P_{Pi}(n-1) - P_{Pin})}{G_{sbi}}$$

Fuente: Investigation of in-place Asphalt Film Thickness and performance of hot mix Asphalt Mixtures

Donde: P_{ci} = porcentaje del peso retenido en el tamiz enecimo

P_{Pin} = porcentaje del peso que pasa el tamiz enecimo

G_{sbi} = gravedad especifica del agregado en el tamiz n

Ecuación 22 Volumen de una partícula promedio del tamiz n (V_{Pin})

$$V_{Pin} = \frac{4}{3}\pi \left[\frac{1}{2} \left(\frac{(D_n - 1) + D_n}{2} \right) \right]^2 * V_{Fin}$$

Fuente: Investigation of in-place Asphalt Film Thickness and performance of hot mix Asphalt Mixtures

Donde: D_n = Abertura del tamiz en milimetro.

V_{Fin} = Factor de volumen del tamiz n.

Ecuación 23 Superficie de la partícula promedio del tamiz n (S_{PAin})

$$S_{PAin} = 4\pi \left[\frac{1}{2} \left(\frac{(D_n - 1) + D_n}{2} \right) \right]^2 * S_{AFin}$$

Fuente: Investigation of in-place Asphalt Film Thickness and performance of hot mix Asphalt Mixtures

Donde: S_{AFin} = Factor de superficie de Area del tamiz n.

Ecuación 24 Área de la superficie total de las partículas del tamiz n (S_{Ain})

$$S_{Ain} = \frac{V_{in}}{V_{Pin}} * S_{PAin}$$

Fuente: Investigation of in-place Asphalt Film Thickness and performance of hot mix Asphalt Mixtures

Ecuación 25 Sumatoria de los SAin (SA)

$$SA = \sum_{n=1}^{\infty} (SAin)$$

Fuente: Investigation of in-place Asphalt Film Thickness and performance of hot mix Asphalt Mixtures

Ecuación 26 Porcentaje de agregado en peso de la mezcla (Ps)

$$Ps = \frac{1 - Pbe}{1 + Pba}$$

Fuente: Investigation of in-place Asphalt Film Thickness and performance of hot mix Asphalt Mixtures

Ecuación 27 Espesor de la película de asfalto en la mezcla (FT)

$$FT = \frac{Pbe}{SA * Ps * Pba}$$

Fuente: Investigation of in-place Asphalt Film Thickness and performance of hot mix Asphalt Mixtures

Con las ecuaciones anteriores se pueden calcular las componentes del agregado de cada tamiz para de esta manera determinar el espesor de película de recubrimiento de una mezcla densa en caliente de gradación continua el cual en este caso es de tipo MGC-25.

Tabla 28 Resultados para la determinación del espesor de película de asfalto

Resultados Material Tamiz 3/4"		Resultados Material Tamiz 1/2"	
Volumen Total del agregado retenido en el tamiz 3/4" (Vin)	9.09	Volumen Total del agregado retenido en el tamiz 1/2" (Vin)	12.98
VFn	0.20839691	VFn	0.23450092
Volumen de una partícula promedio del tamiz 3/4" (Vpin)	1161.87	Volumen de una partícula promedio del tamiz 1/2" (Vpin)	479.72
SAF	0.15041354	SAF	0.05229063
Superficie de la partícula promedio del tamiz 3/4" (SPAin) (mm ²)	228.708961	Superficie de la partícula promedio del tamiz 1/2" (SPAin) (mm ²)	40.7507729
Área de la superficie total de las partículas del tamiz 3/4" (SAin)	1.79	Área de la superficie total de las partículas del tamiz 1/2" (SAin)	1.10

Fuente: Propia

Tabla 30 (continuación)

Resultados Material Tamiz 3/8"		Resultados Material Tamiz N°4	
Volumen Total del agregado retenido en el tamiz 3/8" (Vin)	9.24	Volumen Total del agregado retenido en el tamiz N°4 (Vin)	4.67
VFn	0.26826742	VFn	0.22
Volumen de una partícula promedio del tamiz 3/8" (Vpin)	186.96	Volumen de una partícula promedio del tamiz N°4 (Vpin) (mm ³)	41.24
SAFn	0.03731634	SAFn	0.01
Superficie de la partícula promedio del tamiz 3/8" (SPAin) (mm ²)	14.1851958	Superficie de la partícula promedio del tamiz N°4 (SPAin) (mm ²)	1.65132885
Área de la superficie total de las partículas del tamiz 3/8" (SAin)	0.70	Área de la superficie total de las partículas del tamiz N°4 (SAin)	0.1868
Resultados material tamiz N°10		Resultados espesor de película	
Volumen Total del agregado retenido en el tamiz N°10 (Vin)	1.45	Porcentaje efectivo de asfalto (Pbe)	4.00
VFn	0.15	Sumatoria de las áreas de la superficie de todos los tamices (SA)	3.83
Volumen de una partícula promedio del tamiz N°10 (Vpin)	27.90	Porcentaje de agregado de la mezcla en peso (PS)	0.96
SAFn	0.01	gravedad específica del cemento asfáltico (Gb)=(Db)	1.02
Superficie de la partícula promedio del tamiz N°10 (SPAin) (mm ²)	0.94	espesor de película de asfalto en la mezcla en (Um) FT	14.44
Área de la superficie total de las partículas del tamiz N°10 (SAin)	0.05		

Fuente Propia

Una vez obtenido el espesor de película de asfalto por medio de este método se compara con el método tradicional el cual se calculó por medio de la norma INV E-799 análisis volumétrico como se observa en la tabla 31.

Tabla 29 comparación de espesor de película de asfalto.

Metodo INVIAS		Metodo Indice de Area	
Espesor medio de la película de asfalto en micras (Ha)	22.40	Espesor de película de asfalto en la mezcla en micras (FT)	16.30

Fuente: Propia

Como se puede observar en el método de índice de área el espesor de película de recubrimiento de la mezcla asfáltica es de 14.44 Um (micras) el cual es menor al espesor de película de recubrimiento calculado por el método de INVIAS que es de 22.40 Um (micras). Esto es debido a que en el método de índice de área se realiza el proceso de toma de medidas de cada una de las partículas, para de esta manera determinar el factor de área y el factor de volumen que se le puede dar a cada partícula haciendo el cálculo del espesor de película de recubrimiento más exacto.

8. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se realizó una granulometría a un material Granular y Fino donde se almacenó un porcentaje del peso de los material de los tamices de $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ " N°4, N°10, N°40, N°100 y N°200 y de esta manera obtener la granulometría de una mezcla asfáltica tipo MGC-25 cumpliendo las franjas granulométricas estipuladas en la Norma INVIAS 2013 Artículo 450 (concreto asfáltico).

A la mezcla asfáltica se le realizó el ensayo Marshall y el análisis volumétrico donde los resultados fueron óptimos debido a que su estabilidad fue de 9563N con un flujo de 2.54mm lo cual está en los rangos establecidos en la Norma INVIAS 2013 Artículo 450 (concreto asfáltico) igual que los vacíos de Aire, vacíos en los agregados Minerales, vacíos con asfalto y la relación del llenante y el ligante efectivo junto con el espesor promedio de película de asfalto.

Se estimó el espesor de película de recubrimiento en una mezclas asfáltica densa en caliente de gradación continua (concreto Asfáltico) Tipo MGC- por dos métodos el método tradición el cual se calcula por medio del INVIAS el cual dio un espesor medio de película de asfalto de 22.4 μm (micras), y por el método de índice de área dio un espesor de película de asfalto de 16.30 μm (micras) debido a que en este método se analiza las partículas que van a formar parte de la mezcla asfáltica.

9. RECOMENDACIONES

En este trabajo de investigación se recomienda seguir con la metodología de índice de área propuesta para determinar el espesor de película de recubrimiento realizando el análisis de los agregados finos que son parte fundamental en una mezcla asfáltica.

También se recomienda realizar este proceso con una mezcla asfáltica de gradación continua densa o semidensa para obtener mayor información de los factores de forma de un material más fino y compararlos con los resultados de la norma INVIAS y así determinar si entre más fina la mezcla son más cercanos los valores del espesor de película de recubrimiento o todo lo contrario.

10. BIBLIOGRAFIA

BASTIDA, Fernando. Petrología de rocas Ígneas. Geología Una visión moderna de las Ciencias de la Tierra VOLUMEN 1. 2 ed. España: María Gonzalez, 2005. P 372-378

Cambios en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica por energía de compactación y variación en la granulometría. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada. Ciencia e Ingeniería Neogranadina [Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91116107>], 2015. 1, 4,6 p.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capítulo 4. Artículo 405. Bogotá D.C: El instituto. 2013. P 235 – 281.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS ENSAYOS. Normas de Ensayo de materiales para carreteras. Secciones 700 y 800 primera y segunda parte. Ensayo 782. Bogotá D.C: El instituto. 2013. P 203 – 208.

REYES ORTIZ, Oscar J. Cambios dinámicos y mecánicos de una mezcla asfáltica densa por las propiedades del asfalto y la energía de compactación. Barranquilla Colombia.: Universidad del Norte. Ingeniería y Desarrollo [Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85212233010>], 2015. 2, 6, 11, 15 p.

Xinjun Li; Christopher Williams; Mihai Marasteanu; Timothy Clyne; y Eddie Jhonson. cálculo del espesor de película de asfalto y rendimiento de mezclas asfálticas en caliente. Estados Unidos. Ingeniería Civil [Disponible en: <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?172555>], 2015. P262-270