

CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN,
ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA

ELMER RODRIGO ARANGUREN CAMPOS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ

2015

CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN,
ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA

ELMER RODRIGO ARANGUREN CAMPOS

Proyecto de grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

Luis Ángel Moreno Anselmi

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTA

2015

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 22 de enero de 2015

Dedicatoria

A Dios, quien me alimento de fortaleza, fe y esperanza para guiarme por el buen camino, enseñándome a enfrentar las adversidades sin perder nunca la calma y desfallecer en el intento.

A mis padres y hermanos quienes con su amor, apoyo y comprensión incondicional han estado siempre a lo largo de mi vida y en cada reto que he tomado; a ellos que siempre tienen una palabra de aliento en los momentos difíciles y que han sido incentivos en mi vida.

A mi hijo Nicolás y mi sobrino Rodrigo, quienes han sido mi mayor motivación y la razón que me ha llevado a seguir superándome día a día.

Agradecimientos

En primer lugar quiero expresar mi agradecimiento al Ing. Luis Ángel Moreno Anselmi, director de este trabajo de grado por su dedicación apoyo y confianza en la realización de esta investigación.

Asimismo quiero agradecer a cada uno de los docentes de la Universidad Militar Nueva Granada, quienes compartieron sus conocimientos, los cuales han sido un aporte invaluable en mi formación como profesional.

Finalmente a mis familiares, amigos y compañeros quienes de una u otra forma me brindaron su apoyo, colaboración e inspiración para llevar a cabo este trabajo.

A todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud.

Resumen

El presente trabajo de investigación plantea una alternativa de mezcla asfáltica, incorporando materiales no convencionales como son el alquitrán de hulla a manera de ligante, escoria granulada como agregado fino y caliza como agregado grueso. De este modo, inicialmente se hace una breve descripción de las principales características y propiedades de las mezclas asfálticas como de sus materiales. En seguida se hace la caracterización de los materiales a emplear en la mezcla propuesta, mediante ensayos de laboratorio de acuerdo a las especificaciones del Instituto Nacional de Vías INVÍAS para cada uno de ellos. Luego se evalúa la mezcla mediante el ensayo Marshall para determinar su resistencia, acorde a los análisis de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio, se establece la mezcla que presente las mejores propiedades físicas y mecánicas. Por último se dan conclusiones y recomendaciones del tema estudiado.

PALABRAS CLAVE: Escoria granulada, alquitrán, mezcla asfáltica.

Abstract

This research presents an alternative to asphalt, incorporating unconventional materials such as coal tar binder so, granulated slag as fine aggregate and limestone as coarse aggregate. Thus, initially a brief description of the main characteristics and properties of the asphalt mixtures and materials is made. Then the characterization of the materials used in the mixture given by laboratory tests according to specifications of the National Roads Institute INVÍAS for each of them does. The mixture is then evaluated by the Marshall test for resistance, according to the analysis of the data obtained in the laboratory tests; the mixture having the best physical and mechanical properties is established. Finally conclusions and recommendations are given subject studied.

KEYWORDS: Granulated slag, tar, asphalt mix.

Contenido

Introducción	xv
1. Generalidades	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Justificación	3
1.4 Resultados Esperados.....	3
1.5 Alcances y Limitaciones	4
2 Marco Teórico	5
2.1 Mezclas Asfálticas	5
2.2 Composición de las Mezclas Asfálticas.....	5
2.2.1 Agregados.....	5
2.2.2 Características de los agregados.....	5
2.2.3 Especificaciones de los agregados	8
2.2.4 Ensayos de los agregados.....	9
2.2.5 Asfalto.....	10

2.2.6 Características del asfalto	10
2.2.7 Especificaciones del asfalto	11
2.2.8 Ensayos del asfalto	12
2.3 Características de las Mezclas Asfálticas.....	12
2.4 Propiedades de las Mezclas Asfálticas.....	13
2.5 Clasificación de las Mezclas Asfálticas.....	15
2.5.1 Por Fracciones de Agregado	15
2.5.2 Por Temperatura de Puesta en Obra	15
2.5.3 Por Proporción de Vacíos en la Mezcla	15
2.5.4 Por Tamaño Máximo del Agregado.....	16
2.5.5 Por la Estructura del Agregado	16
2.5.6 Por Granulometría.....	17
2.6 El Alquitrán Como Material Ligante	17
2.6.1 Características del alquitrán.....	18
2.6.2 Ensayos realizados con el alquitrán.....	18
2.6.3 Principales usos del alquitrán	18
2.7 La Escoria como Agregado Fino	19
2.7.1 Características de la escoria.....	20
2.7.2 Ensayos realizados con la escoria	21

2.7.3 Principales usos de la escoria.....	21
2.8 Características de la Caliza	22
2.8.1 Ensayos realizados con la caliza	22
2.8.2 Principales usos de la caliza	23
3 Metodología.....	25
3.1 Caracterización de los Materiales.....	25
3.1.1 Punto de Ignición y de Llama Mediante la Copa Abierta de Cleveland Norma INV E-709-07	26
3.1.2 Análisis Granulométrico Agregado Grueso Norma INV E-213-07 ...	26
3.1.3 Análisis Granulométrico Agregado Fino Norma INV E-213-07	27
3.2 Diseño de la Mezcla.....	29
3.2.1 Estimación del Contenido de Alquitrán	30
3.2.2 Estimación de la proporción de los Agregados	30
3.2.3 Ensayo de las Probetas Compactadas	31
4 Análisis de Resultados.....	33
5 Conclusiones	35
6 Recomendaciones	36
Referencias Bibliográficas	37

Lista de Tablas

Tabla 1 Granulometría de los agregados	9
Tabla 2 Características del Alquitrán	18
Tabla 3 Composición Química de la Escoria de Alto Horno.....	20
Tabla 4 Resultados Ensayo Punto de Ignición y Llama del Alquitrán	26
Tabla 5 Resultado Análisis Granulométrico Agregado Grueso	26
Tabla 6 Resultados Características y Propiedades Agregado Grueso	27
Tabla 7 Resultado Análisis Granulométrico Agregado Fino	28
Tabla 8 Resultados Características y Propiedades Agregado Fino	29
Tabla 9 Resultado Análisis granulométrico	31
Tabla 10 Resultado Combinación Óptima de los Agregados	31
Tabla 11 Resultado Diseño Marshall con Granulometría Ajustada a Mezcla MDC-2	32
Tabla 12 Comparación Resultado Mezcla propuesta vs Instituto del Asfalto ..	33
Tabla 13 Comparación Resultado Mezcla propuesta vs Cuerpo de Ingenieros EEUU.....	34
Tabla 14 Comparación Resultado Mezcla propuesta vs INVIAS	34

Anexos

ANEXO A. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	42
ANEXO B. GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN	47
ANEXO C. INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO	49
ANEXO D. PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS	50
ANEXO E. EQUIVALENTE DE ARENA	51
ANEXO F. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO DE MARSHALL.....	52

Glosario

Agregados Minerales: Material que compone la mayor proporción tanto en volumen, peso y resistencia a una mezcla asfáltica.

Diseño Marshall: metodología de diseño de mezclas asfálticas más utilizada en el mundo, consiste en compactar en un molde metálico una mezcla con diferentes contenidos de asfalto, por sistemas dinámicos mediante un martinete normalizado, conformando probetas cilíndricas de diámetro y altura estandarizadas, las cuales se someten a ensayos de densidad, estabilidad y fluencia.

Durabilidad: Capacidad de mantener las propiedades ligantes y cohesivas en la mezcla, antes y después de envejecido.

Espécimen: Muestra, modelo o ejemplar que tiene las cualidades o características de su especie muy bien definidas.

Estabilidad de la Mezcla: medida de capacidad para resistir las deformaciones plásticas provocadas por cargas de servicio.

Gradación: Es la combinación de dos o más tipos de agregados ya sea de la misma o diferente fuente de tal manera que al hacer la combinación matemática, en masa, cumpla las especificaciones que lo rigen.

Granulometría: Ensayo que se realiza a un material pétreo para determinar la distribución de los tamaños de las partícula.

Porcentaje de Agregados: Es la relación entre el peso de los agregados frente al peso total de la muestra de mezcla asfáltica.

Porcentaje de Asfalto Efectivo: Es aquella cantidad de ligante que no es absorbida por el agregado y que se acumula en los intersticios dejados entre las partículas pétreas.

Porcentaje de Asfalto: Es la suma del valor del asfalto efectivo más el ligante absorbido por el agregado.

Reología: Rama de la mecánica que estudia el comportamiento de la materia a través del tiempo de aplicación de una carga, mediante el estudio de propiedades de flujo y deformación como la viscosidad, ductilidad, fragilidad, entre otras, permitiendo establecer una relación entre el estado coloidal de los cementos asfálticos y su composición química.

Relación de Polvo: relación entre la proporción de material que pasa el tamiz N° 200 y el ligante efectivo.

Viscosidad: Resistencia que ofrece un fluido a la deformación, debida básicamente al rozamiento interno de las partículas.

Introducción

En la actualidad el estado de la infraestructura vial a nivel nacional, no presenta las mejores condiciones de calidad, en especial la red secundaria y terciaria; por consiguiente trae consecuencias como la reducción en el nivel de servicio afectando el desarrollo socioeconómico de las diferentes regiones del país.

Colombia cuenta con una amplia zona rural, dedicada a la agricultura y a la ganadería y en menor escala a la agroindustria, que requiere de una red vial que le permita la movilización tanto de carga como de pasajeros, actualmente esta red se encuentra en mal estado debido a los altos costos de construcción mantenimiento o rehabilitación.

Una alternativa para solucionar el problema de la infraestructura vial, la cual demanda grandes retos que debe afrontar la construcción de obra civil para el transporte en los próximos años, se trata de la implementación de nuevos materiales constructivos que garanticen la funcionalidad y durabilidad de las obras. Otros aspectos importantes a tener en cuenta son la seguridad y economía que puedan brindar estas nuevas técnicas.

El propósito de esta investigación está enfocado en la evaluación de una mezcla bituminosa tipo INVIAS, mediante procesos experimentales empleando materiales diferentes a los convencionales, como son el alquitrán, escoria granulada y agregados de caliza, provenientes de la siderúrgica Paz del Rio.

1. Generalidades

1.1 *Definición del Problema*

El estado de las vías a nivel nacional es deficiente debido al deterioro de la red secundaria y el abandono de la red terciaria, la cual es la más afectada, dando origen al aislamiento de las poblaciones y de esta forma obstruyendo el mercado de sus productos agrícolas, a la vez no permite acceder a un mejor nivel de vida, lo que conlleva a una baja en la economía ya que esta involucra el crecimiento y desarrollo de las diferentes regiones del país.

Esta deficiencia en infraestructura vial está dado por el aumento en el número de vehículos que transitan a diario por nuestras vías, los altos costos de construcción, mantenimiento y rehabilitación los cuales permiten el atraso en nuestras poblaciones, por tal razón es de vital importancia evaluar la implementación de nuevas alternativas que garanticen el desarrollo de proyectos que busquen la calidad y economía como solución al problema del deterioro y abandono de nuestras redes viales.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Establecer e identificar las principales características así como el comportamiento de una mezcla para carpeta, empleando alquitrán, escoria granulada y agregado de caliza; como alternativa constructiva en el mejoramiento de vías con un volumen de tráfico bajo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Recopilar la información primaria y secundaria al igual que los requerimientos y especificaciones técnicas, para la realización de ensayos de laboratorio
- Determinar las características principales de cada uno de los materiales utilizados en la mezcla propuesta
- Analizar los datos obtenidos en el laboratorio y compararlos frente a las especificaciones del Instituto Nacional de Vías y ver su cumplimiento.
- Describir los materiales y procedimiento utilizado para la mezcla propuesta.

1.3 Justificación

El desarrollo económico y cultural de una región está dado por el estado de sus vías, las cuales los comunican con las diferentes poblaciones a su alrededor, por tal razón la presente investigación referida al diseño de una mezcla para carpeta empleando alquitrán, escoria granulada y agregados de caliza, procedentes de la siderúrgica Paz del Río, es de gran importancia ya que brinda la oportunidad de aplicar nuevas alternativas constructivas, utilizando materiales diferentes a los convencionales en el diseño de mezclas bituminosas que buscan mejorar la calidad y reducir los costos de implementación en el mejoramiento de vías.

Igualmente este estudio sirve como prueba piloto para la aplicación en vías urbanas con un volumen de tránsito medio y bajo y de esta forma ver su comportamiento a través del tiempo para luego determinar qué tan competitiva puede ser esta técnica frente a las mezclas asfálticas más usuales desde el punto de vista técnico y económico.

1.4 Resultados Esperados

El resultado esperado con el desarrollo de este trabajo de investigación, es evaluar el comportamiento de una mezcla asfáltica, empleando materiales no convencionales como son los productos y subproductos de la industria siderúrgica que cumplan con las especificaciones técnicas del INVIAS y que puedan ser

implementados como alternativa constructiva en vías con bajos volúmenes de tráfico.

1.5 Alcances y Limitaciones

El desarrollo de esta investigación tiene como propósito la caracterización y el diseño de una mezcla bituminosa tipo INVÍAS, empleando alquitrán, escoria granulada y agregados de caliza.

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados en esta investigación, en el desarrollo y ejecución se utilizarán las instalaciones del laboratorio de suelos y pavimentos S.I. SERINCO LTDA. Ubicado en la ciudad de Sogamoso, donde se proporcionará el equipo necesario para realizar los ensayos. Los materiales para la mezcla propuesta provienen de la planta siderúrgica de Paz del Río S.A., ubicada en el kilómetro 4 vía Nobsa Belencito en el departamento de Boyacá.

El tiempo estimado de duración para la investigación es de seis meses, tiempo en el cual se va a obtener como resultado final, la caracterización y diseño de la mezcla bituminosa con los materiales propuestos. Como es de esperar toda investigación tiene ciertas limitaciones tales como: tiempo de recolección de la información, la realización de los ensayos de laboratorio y análisis de los datos obtenidos, por tal razón se presentarán los estudios necesarios para alcanzar una respuesta conforme al problema planteado, sin llegar a alterar los resultados que pueda arrojar la investigación.

2 Marco Teórico

2.1 Mezclas Asfálticas

Son el producto de la combinación de materiales pétreos seleccionados en proporciones exactas ligados uniformemente con cemento asfáltico o emulsiones asfálticas, formando una mezcla con unas características funcionales y estructurales adecuadas para el empleo en la construcción de firmes de carreteras.

2.2 Composición de las Mezclas Asfálticas

Las mezclas asfálticas están constituidas por los materiales descritos a continuación y dependiendo del tipo y uso se establece requisitos básicos para los mismos.

2.2.1 Agregados

El agregado debe cumplir fundamentalmente las siguientes condiciones; tener la dimensión granulométrica conveniente, la forma adecuada, ser resistente a las cargas del tráfico y la acción del pulimento producido por el mismo, debe ser de tamaño uniforme y preferiblemente procedente de un proceso de trituración, con diámetro entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ de pulgada y relación entre tamaño máximo y mínimo de 2 a 1. (GARCÉS Y GARRO, 1990, p.144)

2.2.2 Características de los agregados

Las características principales a evaluar en los agregados destinados para la construcción de pavimentos son las siguientes:

- Forma y angulosidad: de acuerdo a su forma se pueden clasificar en redondeadas, irregulares, angulares, lajas y alargadas. Como aspecto importante a tener en cuenta se refiere a los agregados de forma lajosa y alargada, ya que estas afectan fundamentalmente, al esqueleto mineral ya que pueden romperse con facilidad al momento de la compactación o después bajo la acción del tráfico, modificando de esta forma la granulometría inicial, por tal razón los agregados pétreos ideales son aquellos con una alta proporción de partículas aproximadamente equidimensionales (cuboides).
- Resistencia al desgaste: la resistencia mecánica del esqueleto mineral es un factor predominante en la evolución del comportamiento de una capa de firme después de su puesta en servicio. Es así como mediante la realización de ensayos de laboratorio se preparan muestras con granulometrías próximas a las puestas en obra, sometiéndolas a un desgaste que de forma indirecta, nos proporciona la resistencia mecánica del material. La prueba de los Ángeles es un ejemplo de este tipo de ensayos.
- Resistencia al pulimiento: es la resistencia a perder su aspereza en su textura superficial, la cual es de gran importancia desde el punto de vista de su resistencia al deslizamiento cuando dichas partículas son usadas en capas de rodadura.

- Adhesividad y resistencia al desplazamiento: esta característica de los agregados pétreos con los ligantes asfálticos es de gran importancia debido a que se presentan fenómenos físicos como la textura del agregado, la porosidad del mismo, viscosidad y tensión superficial del ligante, espesor de la película del ligante, etc. Y a su vez factores químicos relativos al ligante y al agregado. En los pavimentos aparte de cuidar y verificar que el ligante asfáltico moje al agregado, de debe tener en cuenta la posibilidad de que el agua en combinación con la acción del tráfico, perturbe la adhesividad, desplazando el ligante asfáltico de la superficie de los agregados quedando descubierta.
- Plasticidad y limpieza: para que el comportamiento del agregado pétreo se adecuado en una capa de firme, debe está libre de partículas de naturaleza orgánica, polvo o arcillas, a la vez se establece por normativa que los finos tengan reducida su plasticidad o en la mayoría de los casos que no sean plásticos.
- Alterabilidad: los fallos detectados en los firmes al poco tiempo de su puesta en servicio, comúnmente son ocasionados por procesos de alteración de los agregados debido alguna reacción química con alguno de los componentes de los ligantes asfálticos, por la acción de las heladas o simplemente por la presencia de agua; de ahí la necesidad de evaluar la alterabilidad mediante procedimientos que puedan señalar a título indicativo

análisis petrográficos, acción de soluciones salinas o de agua oxigenada, ciclos hielo deshielo, inmersión en agua y ciclos de humedad-sequedad.

- Resistencia al desprendimiento: hace referencia a la separación física producto de los defectos de adhesión al quebrarse las fuerzas de unión entre los agregados y su cubierta de conglomerante asfáltico, en otros términos es la falla mecánica por desgaste y desflecado de la superficie.
- Aptitud para contribuir a la resistencia y rigidez de la mezcla en conjunto: esta propiedad aplica tanto a los agregados gruesos finos y polvo mineral; siempre que cumpla que la resistencia y durabilidad intrínseca de las partículas del agregado es la adecuada a las propiedades de la masa de agregados de entrecruzado y rozamiento interno. < este respecto tanto la angularidad como la irregularidad de la textura superficial contribuyen en gran medida a las resistencias mecánicas y a la deformación de la mezcla asfáltica.(PADILLA RODRIGUEZ, 2003, p.8)

2.2.3 Especificaciones de los agregados

En cuanto a la granulometría, los agregados pueden ser triturados y/o clasificados y su curva granulométrica debe satisfacer una de las siguientes bandas, según se trate de bases asfálticas para reforzar pavimentos existentes o de emplee como parte de la estructura en un pavimento nuevo.

En los trabajos donde se combinen refuerzos y ampliaciones, la base asfáltica debe ser única y correspondiente a la especialización para capas de refuerzo.

Tabla 1 Granulometría de los agregados

Tamiz	Para refuerzo de pavimento existente	Para pavimento nuevo
	% pasa	% pasa
1 1/2"	100	100
1"	95 - 100	90 - 100
3/4"	60 - 80	60 - 85
N°4	25 - 45	30 - 50
N°8	15 - 35	
N°10		20 - 37
N°40	3 - 20	12 - 25
N°80		6 - 16
N°200	0 - 5	0 - 6

Fuente: Normas y especificaciones Generales de construcción de Empresas Públicas de Medellín.

La fracción gruesa, retenida en el tamiz N°4 debe presentar un desgaste en la prueba de los Ángeles no mayor del 40%.

En cuanto a la forma, los índices de alargamiento y aplanamiento deben ser inferiores a 35%.

Los límites de consistencia medidos sobre la fracción que pasa el tamiz N°4 deben ser nulos. (PAVIMENTOS-EPM, 2012, p.14)

2.2.4 Ensayos de los agregados

Los agregados pétreos deben pasar por una serie de ensayos que determinan su calidad, dentro de estos tenemos:

- Índice de consistencia
- Equivalente de arena
- Azul de metileno

- Contenido de materia orgánica
- Coeficiente de pulimiento acelerado
- Desgaste en la máquina de los Ángeles
- Solidez
- Índice de aplanamiento y de alargamiento
- Porcentaje de caras fracturadas. (ASOPAC, 2004, p.18)

2.2.5 Asfalto

Los asfaltos son aquellas sustancias de color oscuro que pueden ser líquidas, semisólidas o sólidas, compuestas esencialmente de hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono en su mayor parte y procedentes de yacimientos naturales u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos de petróleo por destilación o extracción, cuyas cualidades y propiedades físicas y químicas los hacen óptimos para un gran número de aplicaciones. (REYES LIZCANO, 2003, p. 77)

2.2.6 Características del asfalto

Dentro de las características más representativas a tener en cuenta para el asfalto están:

- **Consistencia:** hace referencia a la dureza del material, la cual depende de la temperatura. A altas temperaturas se considera el concepto de viscosidad para definir las.

- Durabilidad: es la capacidad para conservar sus propiedades con el paso del tiempo y la acción de agentes envejecedores.
- Viscosidad: propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza, es importante mencionar que la viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura; a mayor temperatura menor es su viscosidad.
- Elasticidad: propiedad que tienen los materiales para recuperar su forma al finalizar o disminuir la carga que los modifica.
- Resistencia al corte: es la capacidad de resistencia a altas temperaturas, la cual se determina con un reómetro de corte dinámico, que es el aparato que imprime una fuerza cortante cosenoidal con al que se miden dichas resistencias. (EL ASFALTO, 2012)

2.2.7 Especificaciones del asfalto

El material bituminoso para la preparación de la base debe ser cemento asfáltico, que cumpla los siguientes requisitos:

- La penetración debe estar en un rango entre 60 y 100 décimas de milímetros.
- El peso específico debe ser mayor de 0.98.
- La ductilidad debe ser mayor de 100 cm. (PAVIMENTOS-EPM, 2012, p.15)

2.2.8 Ensayos del asfalto

Para evaluar la calidad de un cemento asfáltico y caracterizarlo se han ideado diversos ensayos que muestran el comportamiento en escala real del material, dentro de estos tenemos:

- Ensayo de viscosidad
- Ensayo de penetración
- Ensayo de punto de ablandamiento
- Ensayo de ductilidad
- Ensayo de solubilidad
- Ensayo de inflamación. (ASOPAC, 2004, p.12)

2.3 Características de las Mezclas Asfálticas

- Estabilidad: Es la capacidad para resistir la deformación bajo las cargas del tránsito.
- Durabilidad: Es la capacidad para resistir la acción de los agentes climáticos y del tránsito, que se observa en desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto.
- Impermeabilidad: Es la resistencia al paso de aire y agua hacia el interior del pavimento.
- Flexibilidad: Es la capacidad del pavimento para acomodarse sin agrietamientos, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante.

- Resistencia a la fatiga: Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Expresa la capacidad de la mezcla a deformarse repetidamente sin fracturarse.
- Resistencia al deslizamiento: Capacidad de proveer suficiente fricción para minimizar el deslizamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está húmeda. (QUINTERO Y GARCIA, 2007, P.39)

2.4 Propiedades de las Mezclas Asfálticas

- Densidad de la mezcla: Es el peso de un volumen específico de mezcla. La densidad obtenida en el laboratorio es la densidad patrón y la densidad obtenida in-situ se expresa como un porcentaje de la misma. Una densidad alta en un pavimento terminado se traduce en una mayor durabilidad.
- Vacíos: Los vacíos en el agregado mineral pueden llenarse de aire o de asfalto. Es importante tener una pequeña cantidad de vacíos con aire por donde fluya el asfalto durante la compactación producida por el tránsito, pero no demasiados para evitar la filtración de agua que cause deterioro.
- Contenido de asfalto: Es el componente más importante. Debe ser determinado en laboratorio y controlado en obra. Mientras más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.
- Envejecimiento de mezclas asfálticas: Existe otra característica especial de los asfaltos. Debido a que los componen moléculas orgánicas, reaccionan con el oxígeno del medio ambiente, esta se llama oxidación y cambia la

estructura y composición de las moléculas de asfalto; puede provocar que se haga más duro o frágil, dando origen al término “endurecimiento por oxidación” o “endurecimiento por envejecimiento”. Este fenómeno ocurre en el pavimento a una velocidad relativamente baja, si bien es mucho más rápido en un clima cálido que en uno frío. Así, el endurecimiento por oxidación es estacional, siendo más marcado en el verano que en el invierno.

Debido a este endurecimiento, los pavimentos asfálticos nuevos pueden ser propensos a este fenómeno si no se compactan adecuadamente. En este caso, la falta de compactación origina un alto contenido de vacíos en la mezcla, lo que facilita el ingreso de una mayor cantidad de aire a la mezcla asfáltica, e incrementar el endurecimiento por oxidación.

La oxidación se produce más rápidamente a altas temperaturas. Es por ello que parte del endurecimiento ocurre durante el proceso de producción, cuando es necesario calentar el cemento asfáltico para permitir el mezclado y compactación.

En resumen podemos decir que la mezcla asfáltica sufre dos periodos de envejecimiento; uno a corto plazo y otro a largo plazo. El primero representado en el tiempo de elaboración, transporte, extensión y compactación de la mezcla asfáltica; el segundo representado en el tiempo de servicio de la mezcla.

(QUINTERO Y GARCIA, 2007, P.40)

2.5 Clasificación de las Mezclas Asfálticas

Existen varios parámetros para definir la clasificación de las mezclas asfálticas, dentro de sus principales diferencias tenemos:

2.5.1 Por Fracciones de Agregado

- Masilla Asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero Asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto Asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam Asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

2.5.2 Por Temperatura de Puesta en Obra

- Mezclas Asfálticas en Caliente: Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica, son fabricadas con asfaltos a temperaturas elevadas, las cuales están por el orden de los 150 ° C, según la viscosidad del ligante.
- Mezclas Asfálticas en Frio: son fabricadas generalmente con emulsiones asfálticas cuyo campo de aplicación principal es en la construcción y conservación de vías secundarias.

2.5.3 Por Proporción de Vacíos en la Mezcla

Parámetro de gran importancia para que no se produzcan deformaciones como consecuencia del paso de las cargas y variaciones de temperatura.

- Mezclas Cerradas o Densas: la proporción de vacíos no supera el 6%.(PADILLA RODRIGUEZ, 2003, p.46)

- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos esta entre 6% y 10%
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12%
- Mezclas Porosas o Drenantes: la proporción de vacíos es superior al 20%

2.5.4 Por Tamaño Máximo del Agregado

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado supera los 10 mm.
- Mezclas Finas: Básicamente compuestas por áridos finos incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico, el tamaño máximo del agregado determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que constituye del doble al triple del tamaño máximo.

2.5.5 Por la Estructura del Agregado

- Mezclas con Esqueleto Mineral: Poseen un esqueleto mineral, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los granos es notable. Como ejemplo tenemos las mezclas abiertas y los concretos asfálticos.
- Mezclas sin Esqueleto Mineral: No poseen esqueleto mineral resistente, su resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla, como ejemplo tenemos los diferentes tipos de masillas asfálticas.

2.5.6 Por Granulometría

- Mezclas Continuas: Gran cantidad y buena distribución de diferentes tamaños de agregado en el huso granulométrico.
- Mezclas Discontinuas: Cantidad muy limitada de tamaños de agregado en el huso granulométrico. (PADILLA RODRIGUEZ, 2003, p.46)

2.6 El Alquitrán Como Material Ligante

Los alquitranes proceden de la destilación destructora de la hulla. Esta destilación se lleva a cabo a altas temperaturas generalmente superiores a 1000°C en retortas u hornos de coque, obteniéndose los crudos de alquitrán. La proporción en que se obtiene este subproducto es del orden de una tonelada de crudo por veinte toneladas de carbón.

Los alquitranes, como los betunes, son productos viscosos, dotados de cohesión de origen coloidal y adhesividad a los agregados. Ambos productos están compuestos por hidrocarburos cíclicos, pero con la diferencia que en los betunes predominan los hidrocarburos saturados y en los alquitranes los no saturados. Esta circunstancia determina una mayor actividad química en los alquitranes y una mayor estabilidad en los betunes, lo que desde el punto de vista del empleo de estos ligantes en carreteras, se traduce por una mayor adhesividad de los alquitranes, cualquiera que sea la polaridad de los agregados.

(LLAMAZAREZ GOMEZ, 1963)

2.6.1 Características del alquitrán

El alquitrán es una mezcla compleja de compuestos orgánicos, donde sus principales características son:

Tabla 2 Características del Alquitrán

CARACTERISTICA	UNIDAD	VALOR
Humedad	%	2.88
Cenizas	%	0.1
Azufre	%	0.74
Insolubles en Quinoleina	%	4
Insolubles en benceno	%	4.57
Poder calorífico	Kcal/kg	8900
Gravedad específica a 25°C	gr/cm ³	1.2

Fuente: Departamento de laboratorio, Siderúrgica Paz del Río

2.6.2 Ensayos realizados con el alquitrán

Los ensayos de laboratorio más usados con el alquitrán son los de elasticidad y viscosidad. (SGS, 2012)

2.6.3 Principales usos del alquitrán

La industria del alquitrán está muy desarrollada en diversos países de Europa y de ella sacan partido los ingenieros de carreteras aprovechando las buenas cualidades de este producto hidrocarbonado para la construcción y conservación de pavimentos. (LLAMAZAREZ GOMEZ, 1963, p.713)

El alquitrán se emplea en todas las capas que integran la sección estructural del firme según se indica a continuación:

- Tratamientos superficiales en vías de tráfico ligero o medio.
- Riegos de imprimación previos al tratamiento superficial sobre bases de macadam o de granulometría continua.
- Aglomerados de alquitrán para bases de granulometría abierta en las vías de tráfico medio y granulometría cerrada en las de tráfico pesado.
- El mismo empleo para capas intermedias y de rodadura con especificaciones más o menos críticas de granulometría, según el tráfico.
- Tratamientos de regeneración de pavimentos desgastados y corrección de tramos deslizantes. (LLAMAZAREZ GOMEZ, 1968,p.824)

2.7 La Escoria como Agregado Fino

La escoria es un subproducto que se separa por densidad de la fundición. Está constituida fundamentalmente por silicatos cálcicos, conteniendo también otras sustancias, principalmente alúmina y magnesia.

A diferencia de los agregados naturales, el periodo de formación de la escoria es muy corto. Como se ha dicho, la geología de la escoria comienza en el horno.

Es preciso distinguir dos tipos de escoria, la triturada y la granulada. La primera se obtiene por enfriamiento lento al aire, seguido de triturado y cribado. La escoria granulada resulta del enfriamiento brusco por una potente corriente de agua que divide el chorro líquido de escoria que sale del horno en pequeños gránulos que quedan en estado vítreo. El vapor que se produce al contacto del chorro caliente con el agua origina una expansión a la que se debe la estructura

alveolar de la escoria beneficiosa para la atrición o desmenuzado que aumenta su reactividad o potencial hidráulico así como también para conservar una superficie rugosa bajo los efectos de desgaste del tráfico, lo que constituye una buena cualidad para su empleo en capas de rodadura. (LLAMAZAREZ GOMEZ, 1967, p.1191)

Tabla 3 Composición Química de la Escoria de Alto Horno

COMPUESTO	% EN PESO
CaO	42.48
SiO ₂	35.19
Al ₂ O ₂	14.84
MnO	2.74
MgO	1.58
Fe ₂ O ₃	0.9
S	0.75
K ₂ O	0.45
Na ₂ O	0.24
Zn	0.01

Fuente: Departamento de laboratorio, Siderúrgica Paz del Río

2.7.1 Características de la escoria

La escoria granulada presenta una superficie con textura rugosa y de forma cubica y angular, a la vez posee propiedades mecánicas muy favorables para su uso como agregado, entre ellas tenemos una excelente resistencia a la abrasión, dureza y resistencia. Debido a su alta capacidad calórica la escoria puede retener calor por períodos de tiempo más largos que los agregados naturales convencionales, lo cual hace de esta característica una gran ventaja al momento de mezclarse el con asfalto. (CEPEX, 2011, p.7)

2.7.2 Ensayos realizados con la escoria

De acuerdo a estudios previos en otros países los principales ensayos de laboratorio realizados en este material con fines constructivos para carreteras son: (CEPEX, 2011, p.9)

- Granulometría
- Densidad aparente
- Peso específico

2.7.3 Principales usos de la escoria

Después de la primera guerra mundial y como consecuencia del incremento de la producción siderúrgica se empezaron a aprovechar las escorias de alto horno, siendo uno de los principales destinos su utilización como agregado en los firmes de carreteras. Desde entonces el sorprendente aumento de la producción y la evolución de las características estructurales de bases y pavimentos, han modificado las exigencias de este material industrial y dado lugar a una diversidad de usos.

Las escorias reúnen una serie de cualidades muy interesantes para su empleo en firmes de carretera. Las propiedades hidráulicas que dan rigidez a las capas de base, la forma aristada de sus elementos, su limpieza por estar exentas de materia orgánica o terrosa, su buena adhesividad a los ligantes bituminosos y la rugosidad permanente son propiedades de destacado interés en la técnica de los afirmados. (LLAMAZAREZ GOMEZ, 1967, p.1191)

El uso de la escoria granulada de alto horno en Colombia aun no es empleado para fines constructivos de bases y pavimentos, lo cual es un buen comienzo para incursionar en el aprovechamiento de este subproducto que posee grandes características funcionales y económicas.

2.8 Características de la Caliza

La caliza es una roca de origen sedimentario compuesta principalmente por carbonato de calcio, generalmente posee una coloración gris, rosada o rojiza presentando ocasionalmente tonos negruzcos debido a la presencia de materia orgánica. Comúnmente es empleada en la construcción de pavimentos, debido generalmente por su alta resistencia al desgaste, buen fracturamiento y una excelente adherencia con el ligante. (GUERRERO HERNÁNDEZ, 2001)

2.8.1 Ensayos realizados con la caliza

De acuerdo a estudios previos en otros países los principales ensayos de laboratorio realizados en este material son: (AITEMIN, 2011)

- Módulo Elástico
- Absorción de Agua por Capilaridad
- Resistencia a la Compresión
- Densidad Real y Aparente
- Resistencia a la Cristalización de Sales
- Resistencia a Flexión
- Resistencia a la Abrasión

- Resistencia al Deslizamiento

2.8.2 Principales usos de la caliza

El árido es el material granular más empleado en la construcción, ya que sin duda es el elemento mayoritario de todos los componentes, utilizándose bien directamente o mediante la mezcla con otros materiales aglomerantes como el betún, o conglomerantes como la cal o el cemento. Este material es procedente de yacimientos naturales y se obtiene por medio de procedimientos mecánicos cuando se trata de depósitos detríticos no consolidados, en el caso de macizos rocosos su arranque requiere medios específicos como ripeados o voladuras con explosivos. (OCW-USUAL, 2002, p 319)

Los áridos constituyen del 75 al 100 por ciento de los componentes de las unidades de obra de edificación y de obra civil, dentro de los usos más representativos tenemos:

- En edificación es el componente mayoritario del hormigón y los morteros, así como de sus múltiples tipos de prefabricados.
- En carreteras está presente en toda la sección, desde rellenos de terraplenes, pedraplenes, hasta las capas específicas que van desde la explanada, sub-bases, bases granulares, con o sin tratamiento de conglomerantes hidráulicos o ligantes bituminosos, como en las capas superiores de mezclas bituminosas hasta la de rodadura, o bien en los firmes rígidos de hormigón.

- En los ferrocarriles, del mismo modo que en las carreteras hasta la explanada, se emplean también los áridos en las capas de sub-basalto y balasto.
- En presas, tanto de tierras como de hormigón, igualmente el árido es el componente mayoritario con funciones de relleno, filtro-dren, etc.
- Otras aplicaciones son las de escolleras y gaviones de protección de taludes en laderas y márgenes de ríos con problemas de inestabilidad o de erosión, filtros en sondeos de captaciones de agua, drenes etc.

3 Metodología

Este capítulo presenta la metodología a seguir durante el desarrollo de la investigación, el cual para llevar a cabo el cumplimiento de los diferentes objetivos propuestos, se establece una descripción detallada que permite estructurar el estudio en distintas etapas o fases, donde cada una de ellas tiene sus propósitos, procedimientos y tareas a ejecutar.

En primer lugar se realiza la caracterización de los materiales propuestos mediante ensayos de laboratorio para determinar sus principales propiedades y características físicas siguiendo las especificaciones técnicas del INVIAS. Posteriormente, se lleva a cabo el diseño de la mezcla asfáltica propuesta; seguido del análisis de los datos obtenidos, por último se dan conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

3.1 Caracterización de los Materiales

Los materiales propuestos en la mezcla bituminosa deben ser sometidos a una serie de ensayos de laboratorio en los cuales se obtiene información valiosa sobre las características, ya que es necesario conocer su naturaleza así como el comportamiento físico de los mismos y de esta forma analizar la influencia que producen al ser integrados en el diseño de la mezcla bituminosa, a la vez establecer su aceptación y uso de acuerdo a las especificaciones dadas por las normas INVIAS.

3.1.1 Punto de Ignición y de Llama Mediante la Copa Abierta de Cleveland

Norma INV E-709-07

El objeto de este ensayo es determinar el punto inflamación de alquitrán de hulla, del cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 4 Resultados Ensayo Punto de Ignición y Llama del Alquitrán

PARAMETRO	TEMPERATURA °C
Punto de Ignición	78
Punto de Llama	85

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2 Análisis Granulométrico Agregado Grueso Norma INV E-213-07

El agregado grueso se clasifico mediante análisis granulométrico, obteniéndose los siguientes resultados:

En el anexo A se muestra el resultado detallado del ensayo de granulometría y gradación, curva original y corregida limitando el tamaño máximo del agregado.

Tabla 5 Resultado Análisis Granulométrico Agregado Grueso

Muestra	Descripción	Clasificación USC	Tamaño Maximo (mm)	Tamaño Maximo Nominal (mm)	%Pasa Tamiz 200
M1	Grava producto de trituración de caliza de coloración gris	GP	38.1	25.4	1.73

Fuente: Elaboración Propia

También se determinaron sus principales características y propiedades mediante los ensayos:

- Gravedad Específica y Absorción Norma INV E-223-07, ver anexo B
- Índices de Aplanamiento y Alargamiento Norma INV E-230-07, ver anexo C
- Porcentaje de Caras Fracturadas Norma INV E-227-07, ver anexo D

Donde se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 6 Resultados Características y Propiedades Agregado Grueso

Muestra	Clasificación USC	Textura	Densidad Aparente (gr/cm ³)	Densidad Nominal (gr/cm ³)	Absorción (%)	Indice Aplanamiento (%)	Indice Alargamiento (%)	Caras Fracturadas (%)
M1	GP	Rugosa	2.62	2.71	1.16	22.6	66.3	100

Fuente: Elaboración Propia

3.1.3 Análisis Granulométrico Agregado Fino Norma INV E-213-07

Se tomaron dos muestras de agregado fino, las cuales se clasificaron mediante análisis granulométrico, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 7 Resultado Análisis Granulométrico Agregado Fino

Muestra	Descripción	Clasificación <i>USC</i>	Tamaño Maximo (mm)	%Pasa Tamiz 200
M1	Arenas gruesas - gravas finas, obtenidas a partir de trituración de calizas, de color gris y forma angular	SP	12.7	12.5
M2	Escoria de gradación fina y finos producto de trituración de escoria, de aspecto vidrioso	SP	4.76	0.19

Fuente: Elaboración Propia

En el anexo A se muestra el resultado detallado del ensayo de granulometría y gradación, curva del agregado.

También se determinaron sus principales características y propiedades mediante los ensayos:

- Gravedad Específica y absorción Norma INV E-222-07, ver anexo B
- Equivalente de Arena Norma INV E-133-07, ver anexo E

Donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8 Resultados Características y Propiedades Agregado Fino

Muestra	Clasificación USC	Densidad Aparente (gr/cm ³)	Densidad Nominal (gr/cm ³)	Absorción (%)	Indice Plasticidad (%)	Equivalente de Arena (%)
M1	SP	2.50	2.68	2.59	N.P.	29.7
M1	SP	2.38*	2.63*	6*	N.P.	N.P.

Fuente: Elaboración Propia

La fracción fina del agregado no presentó plasticidad evaluable según la metodología y procedimiento de ensayo; por tal razón se asume como material no plástico.

El porcentaje de equivalente de arena promedio presentado por la muestra fue del 29.70%. El parámetro de referencia de la especificación de la Norma INVIAS respecto a esta propiedad, es $\geq 50\%$ para agregados para mezclas bituminosas.

*Datos suministrados por el Departamento de laboratorio, Siderúrgica Paz del Río

3.2 Diseño de la Mezcla

El diseño realizado corresponde a una mezcla asfáltica densa fría con ajuste granulométrico a gradaciones de mezclas asfálticas tipo MDC- 2. La mezcla se dosificó a partir de grava de trituración de caliza y escoria granulada, utilizando como producto asfáltico alquitrán de hulla.

El diseño se llevó a cabo simulando el método Marshall utilizado para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, con la salvedad de que la mezcla se preparó en laboratorio sin calentamiento de los agregados. Las briquetas se ensayaron a temperatura promedio de 25°C, asumiendo la temperatura ambiente crítica promedio del medio.

El alquitrán se sometió a temperatura de 40°C a 50°C, para obtener una viscosidad adecuada para la dosificación y mezcla de los agregados.

3.2.1 *Estimación del Contenido de Alquitrán*

Se prepararon tres muestras para cada combinación de agregados y contenido del producto asfáltico emplear. Generalmente se emplean para el diseño 5 porcentajes diferentes de cemento asfáltico. Se acostumbra a comenzar desde 4.5% ó 5% de cemento asfáltico con respecto al peso de la mezcla total, elaborándose juegos de probetas con incrementos en dicho porcentaje de 0.5%. Para el presente diseño se parte de 4.5% de contenido de ligante hasta 6.5% respecto a la proporción de grava.

3.2.2 *Estimación de la proporción de los Agregados*

Dado que se cuenta con tres agregados, se estimó la proporción utilizando el método de tanteo gráfico, mediante modelación en hoja de cálculo hasta ajustar las gradaciones estándar para mezcla tipo MDC-2. El procedimiento se resume en la siguiente tabla de la cual se obtuvo la combinación óptima.

Tabla 9 Resultado Análisis granulométrico

% AGREGADO GRUESO	% AGREGADO MEDIO	% AGREGADO FINO
30	50	20

Fuente: Elaboración Propia

Se procedió a realizar la mezcla de los materiales en dicha proporción, restringiendo el tamaño máximo a 19.0 mm, realizando ensayos de granulometría y gradación obteniendo los resultados siguientes.

Tabla 10 Resultado Combinación Óptima de los Agregados

Muestra	Descripción	Clasificación USC	Tamaño Maximo (mm)	Tamaño Maximo Nominal (mm)	%Pasa Tamiz 200
Muestra 30-20-50	Mezcla de materiales para mezcla densa en frío, conformada por 70% de finos de trituración y 30% de grava de trituración de caliza	SW	19	12.7	7.43

Fuente: Elaboración Propia

En el anexo A se muestra el resultado detallado del ensayo de granulometría y gradación, curva original y corregida limitando el tamaño máximo del agregado.

3.2.3 Ensayo de las Probetas Compactadas

Luego de realizar la compactación de las briquetas con los diversos porcentajes de cemento asfáltico, se someten a un tiempo de fraguado, dado que

el alquitrán requiera de un tiempo prudencial para su estabilización.

Posteriormente cada muestra compactada se somete a los siguientes ensayos:

- Densidad de Bulk (Peso Unitario) y porcentaje de Vacíos de los Agregados
Norma INV E-217-07
- Ensayo de Estabilidad y Flujo Norma INV E-748-07

Los resultados detallados de los ensayos se encuentran reflejados en el anexo F.

Los resultados son extractados de las gráficas obtenidas a partir de los ensayos realizados a las probetas compactadas teniendo como resumen la siguiente tabla.

Tabla 11 Resultado Diseño Marshall con Granulometría Ajustada a Mezcla MDC-2

CONTENIDO DE ALQUITRÁN	
Por Peso	6.2%
Por Estabilidad	6.0%
Por vacios en Agregados Minerales	6.2%
Contenido Optimo de Alquitrán	6.1%

PROPIEDADES	
Peso Unitario	128 lb/pie ³
Estabilidad	475 libras
Flujo	3.40 mm

Fuente: Elaboración Propia

4 Análisis de Resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación tenemos que el contenido óptimo de alquitrán es de 6.1% presentando unas propiedades de estabilidad de 475 libras y flujo de 3.40 mm, dichos resultados son comparados con los parámetros de diseño sugeridos para un tráfico liviano por el Instituto del Asfalto, con las especificaciones del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos y con las especificaciones del Instituto Nacional de Vías INVIAS. Para lo cual se calculó el porcentaje de cumplimiento para cada una de las especificaciones

En la tabla 12 se presenta la comparación de la mezcla propuesta con las especificaciones dadas por el Instituto del Asfalto, donde la estabilidad tiene un 63% de cumplimiento y el flujo si se encuentra dentro de los parámetros.

Tabla 12 Comparación Resultado Mezcla propuesta vs Instituto del Asfalto

PARAMETRO	MEZCLA	INSTITUTO DEL ASFALTO	CUMPLIMIENTO %
Estabilidad libras	475	750	63.3
Flujo 0.01pulg	13.4	8 - 18	100

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 13 se presenta la comparación de la mezcla propuesta con las especificaciones dadas por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, donde la estabilidad tiene un 95% de cumplimiento y el flujo si se encuentra dentro de los parámetros.

Tabla 13 Comparación Resultado Mezcla propuesta vs Cuerpo de Ingenieros EEUU

PARAMETRO	MEZCLA	CUERPO DE INGENIEROS DE EEUU	CUMPLIMIENTO %
Estabilidad libras	475	500	95
Flujo 0.01pulg	13.4	MAX. 20	89

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 14 se presenta la comparación de la mezcla propuesta con las especificaciones dadas por el INVIAS, donde la estabilidad tiene un 43% de cumplimiento y el flujo si se encuentra dentro de los parámetros.

Tabla 14 Comparación Resultado Mezcla propuesta vs INVIAS

PARAMETRO	MEZCLA	INVIAS	CUMPLIMIENTO %
Estabilidad libras(kg)	475 (215)	500 kg	43
Flujo 0.01pulg(mm)	13.4 (3.4)	2 - 4 mm	100

Fuente: Elaboración Propia

5 Conclusiones

Este proyecto es el comienzo de nuevas investigaciones en donde se pueden ajustar mejor las granulometrías de acuerdo a las especificaciones para mezclas en el país, y determinar las propiedades no solo físicas y mecánicas sino dinámicas, que permitan conocer más a fondo el comportamiento de estas mezclas.

Esta investigación no se busca reemplazar el asfalto como material ligante en la elaboración de mezclas asfálticas, la intención es explorar nuevas alternativas que permitan escoger el producto que más se ajuste a las necesidades de cada proyecto.

Aunque los parámetros de estabilidad de la mezcla no cumplen con las especificaciones técnicas, es necesario realizar una investigación más profunda para identificar los compuestos inestables y causantes del bajo rendimiento, mediante la incorporación de nuevos materiales o aditivos y así conseguir mejores respuestas a la aplicación de cargas.

6 Recomendaciones

Si por alguna circunstancia se cambia uno de los agregados o ambos, el diseño realizado en esta investigación dejara de ser válido, puesto que la mezcla se diseñó a partir de las propiedades específicas de cada agregado, obtenidas mediante los respectivos ensayos de laboratorio que aparecen relacionados en la misma.

Se recomienda dar seguimiento a este proyecto de investigación, proponiendo nuevos materiales que mejoren y garanticen el comportamiento de las propiedades mecánicas de la mezcla.

Referencias Bibliográficas

- AITEMIN, 2004. Ensayos Realizados por el Laboratorio de Piedra Natural. ENAC, texto en línea, consultado el 9 de noviembre de 2014, en Pág. Web:
http://www.aitemin.es/ensayos_piedra.pdf
- ASOPAC, 2004. Cartilla del Pavimento Asfáltico, texto en línea, consultado el 28 de septiembre de 2014, en Pág. Web:
<https://es.scribd.com/doc/30910576/cartilla-de-asfalto>
- CEPEX, 2011. Escorias de Alto Horno. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, texto en línea, consultado el 27 de septiembre de 2014, en Pág. Web: <http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/BFF81F23-BDB7-4B5B-85A5-A7ABD2974A42/119856/ESCORIASDEHORNOALTO.pdf>
- EL ASFALTO, 2012. Características del Asfalto, texto en línea, consultado el 27 de septiembre de 2014, en Pág. Web:
<http://asfaltoenobracivil.blogspot.com/2012/07/6-caracteristicas-del-asfalto-el.html>
- GARCÉS CARDENAS, Claudia María; GARRO COSSIO, Olga María, 1990. Pavimentos. Colección Universidad de Medellín. División de Investigaciones y Asesorías

GUERRERO HERNÁNDEZ, Cirilo Joaquín, 2001. Rocas Calizas. Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña, texto en línea, consultado el 2 de noviembre de 2014, en Pág. Web: <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/ensayo1t14R.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, INVÍAS, 2007. Especificaciones de construcción de Carreteras. Bogotá

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, INVÍAS, 2007. Normas de Ensayos para Materiales. Bogotá

LLAMAZARES GOMEZ, Olegario, 1963. El empleo del alquitrán en los pavimentos de carretera. Revista de Obras Públicas, texto en línea, consultado el 19 de mayo de 2014, en Pág. Web: http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=16725&anio=1963&numero_revista=2983

LLAMAZARES GOMEZ, Olegario, 1967. Empleo de escorias de alto horno en los firmes de carretera. Revista de Obras Públicas, texto en línea, consultado el 19 de mayo de 2014, en Pág. Web: http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=16988&anio=1967&numero_revista=3031

LLAMAZARES GOMEZ, Olegario, 1968. El alquitrán, ligante hidrocarbonado para firmes de carretera. Revista de Obras Públicas, texto en línea, consultado el

19 de mayo de 2014, en Pág. Web:

http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1968/1968_tomol_3043_02.pdf

OCW-USUAL, 2002. Rocas Experimentales. Capítulo 8. Áridos, texto en línea, consultado el 10 de noviembre de 2014, en Pág. Web:

<http://ocw.usal.es/ciencias-experimentales/rocas-industriales/contenidos/aridos.pdf>

PADILLA RODRIGUEZ, Alejandro, 2003, Análisis de la Resistencia a las Deformaciones Plásticas de Mezclas Bituminosas Densas de la Normativa Mexicana Mediante el Ensayo de Pista. Capítulo 2. Materiales Básicos, texto en línea, consultado el 22 de septiembre de 2014, en Pág. Web:

<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3334/13/34065-13.pdf>

PADILLA RODRIGUEZ, Alejandro, 2003, Análisis de la Resistencia a las Deformaciones Plásticas de Mezclas Bituminosas Densas de la Normativa Mexicana Mediante el Ensayo de Pista. Capítulo 3. Mezclas Asfálticas, texto en línea, consultado el 24 de septiembre de 2014, en Pág. Web:

<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3334/14/34065-14.pdf>

PAVIMENTOS-EPM, 2012, Normas y especificaciones Generales de Construcción. Capítulo 3. Empresas Públicas de Medellín, texto en línea, consultado el 27 de septiembre de 2014, en Pág. Web:

<https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/proveedores/cap3.pdf>

QUINTERO FRANCO, Juan David; GARCIA MESA Helber, 2007.Tesis.

Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas tipo MDC-2 sometidas al efecto del envejecimiento adicionadas con cal y/o cemento. Universidad de Medellín.

REYES LIZCANO, Fredy Alberto, 2003.Diseño Racional de Pavimentos. Bogotá

D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería

SGS, 2012, Servicios de Construcción de Carreteras, texto en línea, consultado el

27 de septiembre de 2014, en Pág. Web: <http://www.sgs.cl/es->

[ES/Construction/Services-Related-to-Materials/Road-Construction-](http://www.sgs.cl/es-ES/Construction/Services-Related-to-Materials/Road-Construction-)

[Services.aspx](http://www.sgs.cl/es-ES/Construction/Services-Related-to-Materials/Road-Construction-Services.aspx)

Anexos

ANEXO A. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN,
ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA

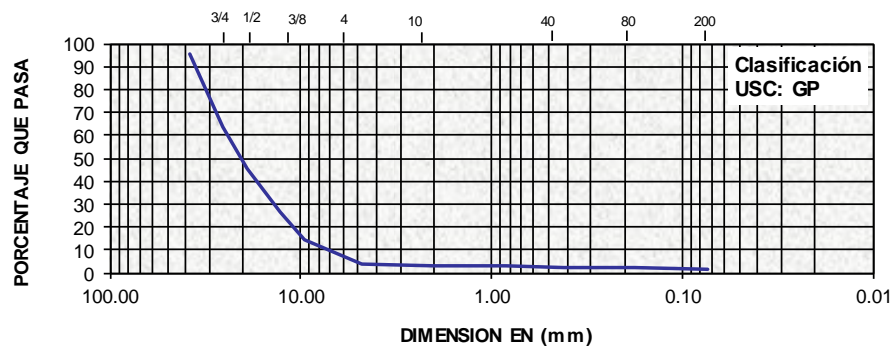
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA INV E-213-07 (AGREGADO GRUESO)

DESCRIPCIÓN: Grava de trituration de caliza de color gris, forma angular y textura rugosa.

Peso suelo seco antes de lavar más platón = 3375.00 Peso suelo seco antes de lavar = 3169.70
Peso suelo seco despues de lavar más platón = 3325.00 Peso suelo seco después de lavar = 3119.70
Peso platón = 205.3

Tamiz No.	Dimensión mm	Peso Tamiz grs	Peso Tamiz más suelo grs	Peso suelo retenido grs	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
1 1/2	38.100	550.00	701.90	151.90	4.79	4.79	95.21
1	25.400	572.10	1581.10	1009.00	31.83	36.62	63.38
3/4	19.000	579.60	1138.30	558.70	17.63	54.25	45.75
1/2	12.700	576.00	1176.80	600.80	18.95	73.21	26.79
3/8	9.525	551.90	948.50	396.60	12.51	85.72	14.28
4	4.760	526.70	867.40	340.70	10.75	96.47	3.53
10	2.000	454.20	472.20	18.00	0.57	97.03	2.97
20	0.841	465.30	473.00	7.70	0.24	97.28	2.72
40	0.420	472.50	480.20	7.70	0.24	97.52	2.48
80	0.177	503.70	512.20	8.50	0.27	97.79	2.21
200	0.074	491.60	506.80	15.20	0.48	98.27	1.73
FONDO	0.000	115.50	170.40	54.90	1.73	100.00	0.00

3169.70 100.00



D10	D30	D60	CU	CG
0.8	13.00	24.00	30.00	8.80

— Curva Ensayo

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN,
ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA**

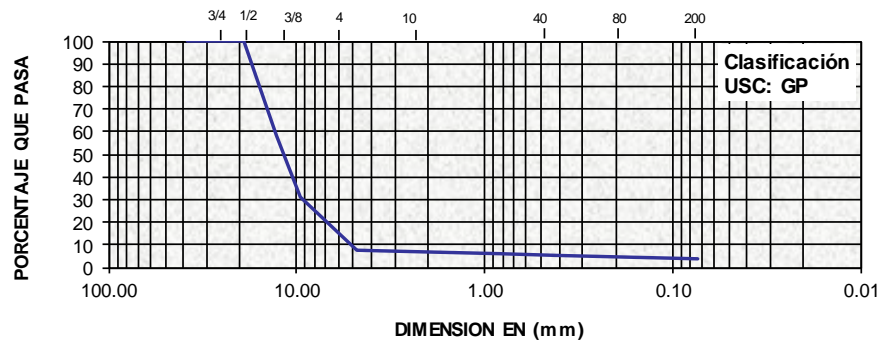
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA INV E-213-07 (AGREGADO GRUESO corregido)

DESCRIPCIÓN: Grava de trituración de caliza de color gris, forma angular y textura rugosa.

Peso suelo seco antes de lavar más platón = 1655.40 Peso suelo seco antes de lavar = 1450.10
 Peso suelo seco después de lavar más platón = 1605.40 Peso suelo seco después de lavar = 1400.10
 Peso platón = 205.3

Tamiz No.	Dimensión mm	Peso Tamiz grs	Peso Tamiz más suelo grs	Peso suelo retenido grs	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
1 1/2	38.100	550.00	550.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.400	572.10	572.10	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.000	579.60	579.60	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2	12.700	576.00	1176.80	600.80	41.43	41.43	58.57
3/8	9.525	551.90	948.50	396.60	27.35	68.78	31.22
4	4.760	526.70	867.40	340.70	23.49	92.28	7.72
10	2.000	454.20	472.20	18.00	1.24	93.52	6.48
20	0.841	465.30	473.00	7.70	0.53	94.05	5.95
40	0.420	472.50	480.20	7.70	0.53	94.58	5.42
80	0.177	503.70	512.20	8.50	0.59	95.17	4.83
200	0.074	491.60	506.80	15.20	1.05	96.21	3.79
FONDO	0.000	115.50	170.40	54.90	3.79	100.00	0.00

1450.10 100.00



D10	D30	D60	CU	CG
0.8	9.20	14.00	17.50	7.56

— Curva Ensayo

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN,
ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA**

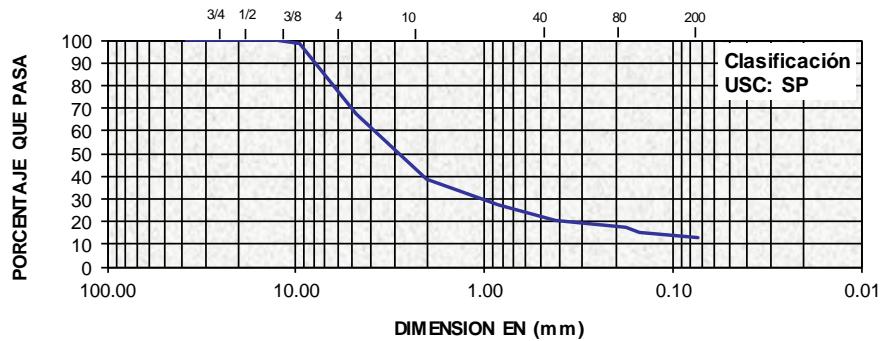
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA INV E-213-07 (AGREGADO FINO M1)

DESCRIPCIÓN: Arenas gruesas - gravas finas, obtenidas a partir de trituración de calizas, de color gris y forma angular

Peso suelo seco antes de lavar más platón = 1488.10 Peso suelo seco antes de lavar = 1380.60
Peso suelo seco después de lavar más platón = 1303.50 Peso suelo seco después de lavar = 1196.00
Peso platón = 107.5

Tamiz No.	Dimensión mm	Peso Tamiz grs	Peso Tamiz más suelo grs	Peso suelo retenido grs	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
1 1/2	38.100	550.00	550.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.400	572.10	572.10	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.000	579.60	579.60	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2	12.700	576.00	576.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	9.525	551.90	568.30	16.40	1.19	1.19	98.81
4	4.760	526.70	964.10	437.40	31.68	32.87	67.13
10	2.000	454.20	846.60	392.40	28.42	61.29	38.71
20	0.841	465.30	623.20	157.90	11.44	72.73	27.27
40	0.420	472.50	565.10	92.60	6.71	79.44	20.56
80	0.177	503.70	546.50	42.80	3.10	82.54	17.46
100	0.149	403.00	432.80	29.80	2.16	84.70	15.30
200	0.074	491.60	530.30	38.70	2.80	87.50	12.50
FONDO	0.000	115.50	317.90	172.60	12.50	100.00	0.00

1380.60 100.00



D10	D30	D60	CU	CG
0.04	1.00	4.00	100.00	6.25

— Curva Ensayo

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN,
ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA**

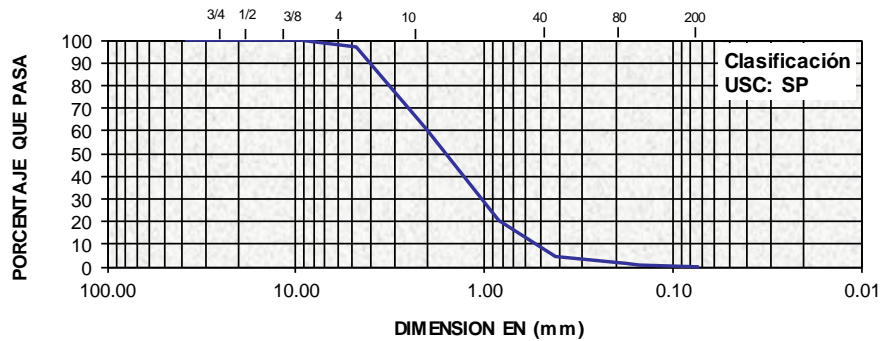
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA INV E-213-07 (AGREGADO FINO M2)

DESCRIPCIÓN: Escoria de gradación fina y finos producto de trituración de escoria, de aspecto vidrioso

Peso suelo seco antes de lavar más platón = 1305.90 Peso suelo seco antes de lavar = 1198.50
Peso suelo seco después de lavar más platón = 1298.40 Peso suelo seco después de lavar = 1191.00
Peso platón = 107.4

Tamiz No.	Dimensión mm	Peso Tamiz grs	Peso Tamiz más suelo grs	Peso suelo retenido grs	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
1 1/2	38.100	550.00	550.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.400	572.10	572.10	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.000	579.60	579.60	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2	12.700	576.00	576.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	9.525	551.90	551.90	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.760	526.70	559.70	33.00	2.75	2.75	97.25
10	2.000	454.20	893.90	439.70	36.69	39.44	60.56
20	0.841	465.30	943.30	478.00	39.88	79.32	20.68
40	0.420	472.50	668.60	196.10	16.36	95.69	4.31
80	0.177	503.70	536.80	33.10	2.76	98.45	1.55
100	0.149	403.00	418.50	12.10	1.01	99.46	0.54
200	0.074	491.60	499.80	4.20	0.35	99.81	0.19
FONDO	0.000	115.50	125.90	2.30	0.19	100.00	0.00

1198.50 100.00



D10	D30	D60	CU	CG
0.6	1.00	0.25	0.42	6.67

— Curva Ensayo

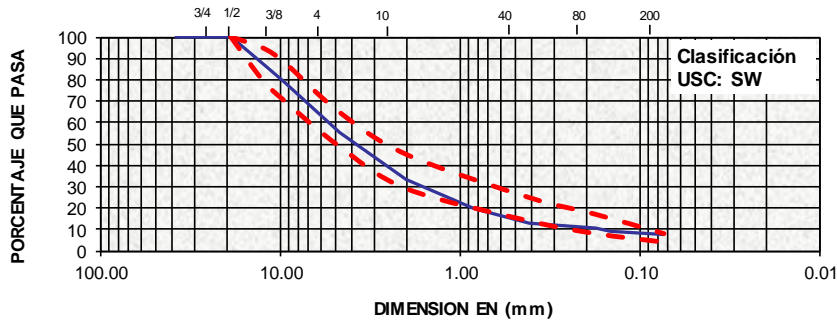
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN,
ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NORMA INV E-213-07

DESCRIPCIÓN: Grava de trituración de caliza de color gris, forma angular y textura rugosa.

Porcentaje Gravas		30		50		20		Porcentaje Total Combinado Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	Norma Porcentaje que pasa MDC-2
Tamiz No.	Dimensión mm	Porcentaje Retenido Tamiz Grava	Porcentaje por Fracción	Porcentaje Retenido Tamiz Arena Gruesa	Porcentaje por Fracción	Porcentaje Retenido Tamiz Arena Fina	Porcentaje por Fracción				
1 1/2	38.100	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
1	25.400	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4	19.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/2	12.700	41.432	12.43	0.00	0.00	0.00	0.00	12.43	12.43	87.57	80-95
3/8	9.525	27.350	8.20	1.19	0.59	0.00	0.00	8.80	21.23	78.77	70-88
4	4.760	23.495	7.05	31.68	15.84	2.75	0.55	23.44	44.67	55.33	49-65
10	2.000	1.241	0.37	28.42	14.21	36.69	7.34	21.92	66.59	33.41	29-45
20	0.841	0.531	0.16	11.44	5.72	39.88	7.98	13.85	80.44	19.56	
40	0.420	0.531	0.16	6.71	3.35	16.36	3.27	6.79	87.23	12.77	14-25
80	0.177	0.586	0.18	3.10	1.55	2.76	0.55	2.28	89.51	10.49	8-17
100	0.149	1.048	0.31	2.16	1.08	1.01	0.20	1.60	91.10	8.90	
200	0.074		0.00	2.80	1.40	0.35	0.07	1.47	92.57	7.43	4-8
FONDO	0.000	3.786	1.14	12.50	6.25	0.19	0.04	7.43	100.00	0.00	
		100.00		100.00		100.00					



D10	D30	D60	CU	CG	—	Curva Ensayo
0.2	1.80	5.50	28	2.95	- - - -	Curva Norma MDC2

ANEXO B. GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN,
ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA**

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN NORMA INV E-223-07 (AGREGADO GRUESO)

DESCRIPCIÓN: Grava de trituración de caliza de color gris, forma angular y textura rugosa.

Ensayo No.	1	2	3
Peso canastilla en el aire. Grs	386.5	386.5	386.5
Peso canastilla +suelo s.s.s. Grs	2464	2893.8	2724.7
Peso canastilla + suelo en agua. Grs	1514.4	1784.3	1677.5
Peso canastilla en agua. Grs	220.5	220.5	220.5
Peso de recipiente. Grs	135.1	177.3	170.8
Peso recipiente + suelo seco. Grs	2189	2655.4	2482.1
Peso de la muestra seca. Grs	2053.9	2478.1	2311.3
Peso de la muestra s.s.s. Grs	2077.5	2507.3	2338.2
Peso de la muestra sumergida. Grs	1293.9	1563.8	1457
Peso especifico aparente.Grs/cm ³	2.62	2.63	2.62
Peso especifico aparente (s.s.s.) .Grs/cm ³	2.65	2.66	2.65
Peso especifico nominal. Grs/cm ³	2.70	2.71	2.71
Absorcion %	1.15	1.18	1.16

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN,
ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA**

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN NORMA INV E-222-07 (AGREGADO FINO)

DESCRIPCIÓN: Grava de trituración de caliza de color gris, forma angular y textura rugosa.

Ensayo No.	1	2	3
Peso canastilla en el aire. Grs	120.5	120.5	120.5
Peso canastilla +suelo s.s.s. Grs	500	500	500
Peso canastilla + suelo en agua. Grs	926.1	925.5	925.7
Peso canastilla en agua. Grs	21.5	20	20.5
Peso de recipiente. Grs	73.3	74.5	73.8
Peso recipiente + suelo seco. Grs	560.8	561.1	561.9
Peso de la muestra seca. Grs	500	500	500
Peso de la muestra s.s.s. Grs	487.5	486.6	488.1
Peso de la muestra sumergida. Grs	305.6	305	305.2
Peso específico aparente.Grs/cm ³	2.51	2.50	2.51
Peso específico aparente (s.s.s.) .Grs/cm ³	2.57	2.56	2.57
Peso específico nominal. Grs/cm ³	2.68	2.68	2.67
Absorción %	2.56	2.75	2.44

ANEXO C. INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN, ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA

INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO NORMA INV E-230-07

DESCRIPCIÓN: Grava de trituración de caliza de color gris, forma angular y textura rugosa.

% FRACCION	PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO FRACCION (gr)	PESO PARTICULAS APLANADAS (gr)	% DE LA FRACCIÓN RESPECTO MUESTRA ORIGINAL	INDICE DE APLANAMIENT O (%)
1	2"	1 1/2"				
1	1 1/2"	1"	3101.0	1086.1	7.4	35.0
1	1"	3/4"	2916.7	1036.6	55.1	35.5
2	3/4"	1/2"	1687.2	161.4	43.7	9.6
4	1/2"	3/8"	192.1	68.0	6.1	35.4
5	3/8"	No4	71.0	22.4	13.0	31.5
INDICE DE APLANAMIENTO %						22.6

% FRACCION	PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO FRACCION (gr)	PESO PARTICULAS ALARGADAS (gr)	% DE LA FRACCIÓN RESPECTO MUESTRA ORIGINAL	INDICE DE ALARGAMIENT O (%)
1	2"	1 1/2"				
1	1 1/2"	1"	3101.0	553.8	11.03	17.9
2	1"	3/4"	2916.7	1466.8	55.1	50.3
3	3/4"	1/2"	1687.2	1287.4	43.7	76.3
4	1/2"	3/8"	192.1	109.9	5.74	57.2
5	3/8"	No4	71.0	43.6	6.32	61.4
INDICE DE ALARGAMIENTO %						63.3

ANEXO D. PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN,
ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA**

PORCENTAJE CARAS FRACTURADAS NORMA INV E-227-07

DESCRIPCIÓN: Grava de trituración de caliza de color gris, forma angular y textura rugosa.

FRACCIÓN	PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	PESO MUESTRA (gr)	PESO CARAS FRACTURADAS (gr)	% CARAS FRACTURADAS	% RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL	% CARAS FRACTURADAS SEGÚN GRADACIÓN
1	1	3/4	2916.7	2916.7	100	55.1	5510
2	3/4	1/2	1687.2	1687.2	100	43.7	4370
3	1/2	3/8	212.5	212.5	100	8.39	839
4	3/8	4	184.2	184.2	100	16.9	1690
SUMA						124.1	12409
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS %							100

ANEXO E. EQUIVALENTE DE ARENA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN,
ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA**

EQUIVALENTE DE ARENA NORMA INV E-133-07

DESCRIPCIÓN: Finos de trituración de caliza de color gris y forma angular.

Muestra	1		
Ensayo No.	1	2	3
Lectura arcilla (mm)	270.0	275.0	270.0
Lectura arena (mm)	81.0	80.0	81.0
Equivalente de arena (%)	30.0	29.1	30.0
Promedio equivalente de arena (%)	29.7		

Observaciones: El equivalente de arena se determinó para fracción que pasa la malla No. 4

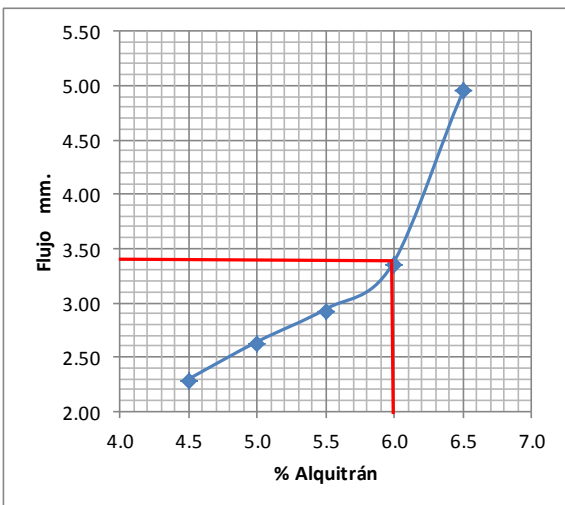
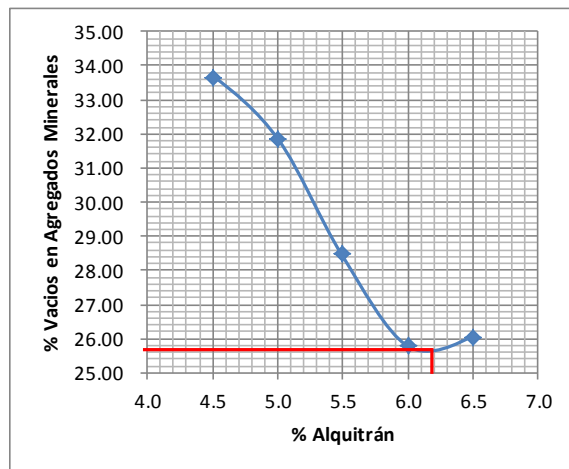
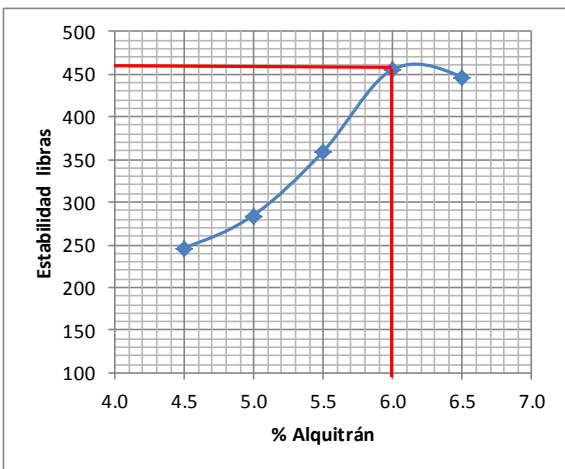
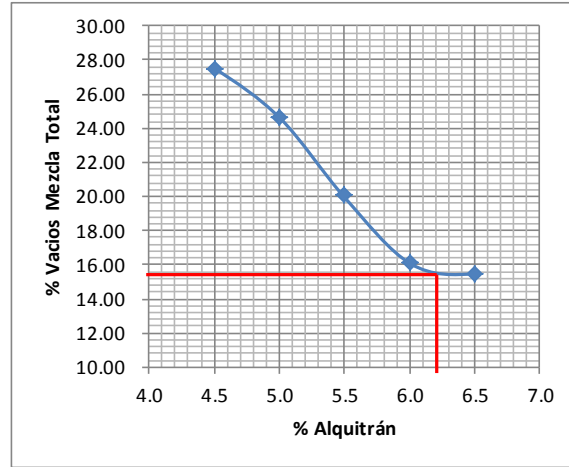
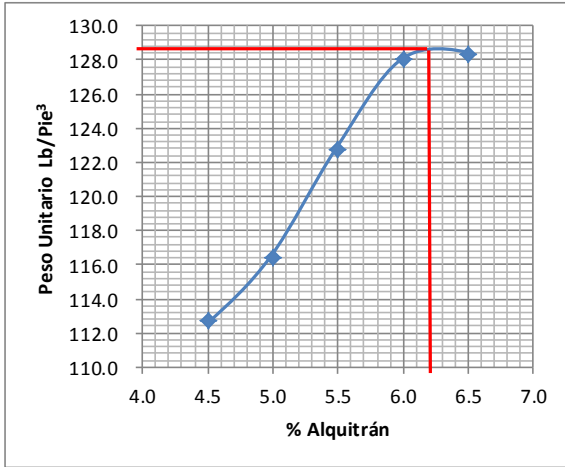
ANEXO F. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO DE MARSHALL

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EMPLEANDO ALQUITRÁN,
ESCORIA GRANULADA Y AGREGADO DE CALIZA**

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL

Mezcla No.	Asfalto %	Peso específico de agregado para diseño. Gagr			Peso específico del alquitrán. Gasf					Asfalto efectivo %	Peso unitario lbs/pe ³	Estabilidad Lbs.		Flujo mm.					
		Esesor/ probeta cm.	Seca en aire	En agua	Asfalto absorbido %	Volumen % total	Vacios con aire	Asfalto agregados	Vacios minerales			Medida	Corregida						
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	
									$\frac{(i-h)10^4}{ih(100-b)}$	$\frac{(100-b)q}{Gagr}$	$\frac{1}{(1-q/100)}$	100-k-l	100-k	$\frac{b-(100-b)/100}{b/100}$	62.4g				
1	4.5	7.28	1090.7	1241.3	645.4	1.830											302	246	2.29
		7.22	1086.7	1225.0	622.0	1.802											287	236	2.34
		7.08	1073.5	1211.9	611.4	1.788											331	279	2.41
Promedio					1.807	2.460	2.490	0.513	66.36	27.45	6.19	33.64	4.010	112.7		253		2.35	
2	5.0	6.61	1090.1	1143.0	571.3	1.907											302	284	2.62
		7.11	1065.4	1209.5	602.5	1.755											376	315	2.62
		7.00	1165.5	1209.5	607.1	1.935											346	297	2.67
Promedio					1.866	2.446	2.476	0.522	68.17	24.65	7.19	31.83	4.505	116.4		299		2.64	
3	5.5	7.02	1166.9	1199.1	596.1	1.935											420	359	2.92
		6.98	1192.5	1191.7	597.4	2.007											435	375	2.90
		6.81	1179.6	1174.2	572.0	1.959											450	403	2.67
Promedio					1.967	2.431	2.461	0.530	71.49	20.09	8.42	28.51	4.999	122.7		379		2.83	
4	6.0	6.70	1156.9	1181.2	617.6	2.053											494	456	3.35
		6.76	1207.3	1225.2	640.0	2.063											509	462	3.68
		6.55	1132.5	1154.8	600.0	2.041											539	513	3.30
Promedio					2.052	2.417	2.447	0.540	74.20	16.13	9.67	25.80	5.493	128.1		477		3.44	
5	6.5	7.04	1137.3	1213.0	644.4	2.000											524	446	4.95
		7.08	1223.4	1245.4	636.5	2.009											450	379	3.43
		6.75	1183.9	1128.4	580.6	2.161											479	436	4.75
Promedio					2.057	2.403	2.433	0.549	73.97	15.46	10.57	26.03	5.987	128.3		420		4.38	



CONTENIDO DE ALQUITRÁN

Por peso Unitario : 6.2%
 Por estabilidad : 6.0%
 Por vacios en agreg. Minerales 6.2%

ALQUITRÁN OPTIMO. % : 6.1%

Peso Unitario : 128 lbs/pie³
 Estabilidad : 475 libras
 Flujo : 3,4 mm.