

EFFECTO DEL ACEITE RECICLADO DE COCINA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MD-19 (60-70)

MAGDA LORENA DÁVILA VELANDIA
PEDRO MIGUEL MAGALDI MANOTAS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C – 2018

EFFECTO DEL ACEITE RECICLADO DE COCINA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MD-19 (60-70)

MAGDA LORENA DÁVILA VELANDIA
PEDRO MIGUEL MAGALDI MANOTAS

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos

Asesor
JUAN GABRIEL BASTIDAS MARTÍNEZ
IC. MSc.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C – 2018



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. EL ASFALTO.....	11
1.1 HISTORIA DEL ASFALTO.....	13
1.2 ASFALTOS MODIFICADOS	16
1.2.1 Historia de los asfaltos modificados	18
1.2.2 Mezclas asfálticas mejoradas en Colombia	20
2. ACEITES.....	23
2.1 ACEITES COMBUSTIBLES	23
2.2 ACEITES MINERALES	23
2.3 ACEITES COMESTIBLES	24
2.3.1 Clasificación de los aceites comestibles.....	24
2.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ACEITES	25
3. ASFALTOS MODIFICADOS CON ACEITES RECICLADOS DE COCINA	27
3.1 MARCO TEÓRICO	27
3.2 MARCO CONCEPTUAL.....	29
4. OBJETIVOS	32
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	32
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	32
5. METODOLOGÍA.....	33
5.1 MATERIALES	33
5.2 PREPARACIÓN DE ASFALTOS A CONCENTRACIONES DEL 1% DE ACEITE USADO DE COCINA	33
5.3 CARACTERIZACIÓN POR GRADO DE VISCOSIDAD.....	34
5.4 CARACTERIZACIÓN POR GRADO DE PENETRACIÓN	35
5.5 EQUIVALENCIAS ENTRE GRADO DE VISCOSIDAD Y GRADO DE PENETRACIÓN.....	36
6. METODOLOGÍA DEL TRABAJO	39
6.1 MÉTODO MARSHALL PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.....	39
6.1.1 Objetivo del método Marshall	40
6.1.2 Metodología para encontrar el porcentaje de asfalto óptimo	40
6.2 CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO MARSHALL	40
6.3 RESUMEN DEL MÉTODO	41
6.3.1 Elaboración de briquetas.....	42
6.4 RESULTADOS ENSAYO MARSHALL	49
7. ENSAYO A LA TRACCIÓN INDIRECTA.....	51
7.1 ENSAYO A LA TRACCIÓN INDIRECTA A 25°C (SECO).....	53
7.2 ENSAYO A LA TRACCIÓN INDIRECTA A 60°C.....	54
7.3 ENSAYO CÁNTABRO DE PERDIDA POR DESGASTE	56
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de penetración estándar de los asfaltos	11
Tabla 2. Especificaciones para cementos asfálticos. ASTM - 3381	12
Tabla 3. Clasificación de los asfaltos producidos por ECOPETROL	12
Tabla 4. Propiedades del asfalto de Barrancabermeja	13
Tabla 5. Radicales grasos que provienen de ácidos grasos	25
Tabla 6. Ácidos grasos saturados	26
Tabla 7. Especificaciones para cementos asfálticos. Clasificados por su viscosidad a 60°C	35
Tabla 8. Especificaciones para cementos asfálticos. Clasificación por su grado de penetración.....	36
Tabla 9. Especificaciones para cementos asfálticos. Equivalencias entre grado de viscosidad y grado de penetración.....	36
Tabla 10. Especificaciones de capacidad para aglutinante asfáltico. Clasificado por desempeño.....	37
Tabla 11. Residuo de recipiente para envejecimiento a presión (AASHTO PP1).....	38
Tabla 12. Criterios de diseño de mezclas de gradación continua por el método Marshall para Colombia	41
Tabla 13. Caracterización de los agregados finos y gruesos	47
Tabla 14. Gradación ideal.....	48
Tabla 15. Porcentaje de los agregados en el diseño.....	48
Tabla 16. Resumen del ensayo Marshall para mezclas bituminosas convencionales.	49
Tabla 17. Resumen del ensayo Marshall para mezclas bituminosas modificadas.	49
Tabla 18. Comparativo del ensayo Marshall para mezcla convencional vs modificada	50
Tabla 19. Resumen del ensayo a la tracción indirecta a 25° C en seco para mezclas bituminosas convencionales	53
Tabla 20. Resumen del ensayo a la tracción indirecta a 25°C para mezclas bituminosas modificadas.....	53
Tabla 21. Comparativo del ensayo a la tracción indirecta a 25° C para mezcla convencional vs modificada.	54
Tabla 22. Resumen del ensayo a la tracción indirecta a 60°C para mezclas bituminosas convencionales	54
Tabla 23. Resumen del ensayo a la tracción indirecta a 60°C para mezclas bituminosas modificadas.....	55
Tabla 24. Comparativo del ensayo a la tracción indirecta a 60°C para mezcla convencional vs modificada.....	55
Tabla 25. Resumen del ensayo cántabro de pérdida por desgaste en asfalto convencional.....	56
Tabla 26. Resumen del ensayo cántabro de pérdida por desgaste en asfalto modificado.....	57
Tabla 27. Comparativo del ensayo cántabro de pérdida por desgaste en asfalto convencional y modificado	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento correcto e incorrecto de reutilización del aceite casero.....	30
Figura 2. Montaje para la toma de muestras a diferentes concentraciones.....	39
Figura 3. Tamizado del material para la elaboración de las briquetas	42
Figura 4. Control del peso de la grava	43
Figura 5. Control del peso de la arena seca.....	43
Figura 6. Control del peso del asfalto.....	44
Figura 7. Calentamiento del bitumen con adición de aceite reciclado.....	44
Figura 8. Calentamiento de la arena y la grava con adición de asfalto y aceite reciclado.....	45
Figura 9. Calentamiento de las camisas metálicas.....	45
Figura 10. Armado de briquetas	46
Figura 11. Ensayo a la tracción indirecta	51
Figura 12. Método del ensayo de tracción indirecta	51
Figura 13. Equipo máquina de Los Ángeles para cántabro.....	56

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Diseño de mezcla para elaboración de mezcla asfáltica modificada con residuos de aceite de cocina (agregados gruesos y finos).....	63
Anexo 2. Diseño de mezcla para elaboración de mezcla asfáltica modificada con residuos de aceite de cocina: gradación ideal y cálculo de porcentaje de los agregados en el diseño.....	64
Anexo 3. Diseño de mezcla para elaboración de mezcla asfáltica modificada con residuos de aceite de cocina. Gráfica granulométrica de gradación combinada y gradación ideal	65
Anexo 4. Diseño de mezcla para elaboración de mezcla asfáltica modificada con residuos de aceite de cocina. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. Norma: INV E -123-2013.....	66
Anexo 5. Informe de ensayos densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso. Norma INV E - 223:2013	67
Anexo 6. Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños mayores de 19 mm (3/4") y tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2") por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Norma INV E 218-219:2013.....	68
Anexo 7. Informe de ensayos índices de alargamiento y de aplanamiento en los agregados. Norma INV E 230:2013.....	69
Anexo 8. Informe de ensayos porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso. Norma INV E 227:2013.....	70
Anexo 9. Informe de ensayos solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio. INV E - 220: 2013.....	71
Anexo 10. Informe de ensayos determinación de terrones de arcilla y partículas deleznable en los agregados. Norma INV E - 211:2013	72
Anexo 11. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos - Norma: INV E -123:2013. Humedad de la muestra - INV E 216:2013. Determinación de los límites de consistencia - INV E 125:2013/126:2013.....	73
Anexo 12. Informe de ensayos densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino. Norma INV E - 222:2013	74
Anexo 13. Informe de ensayos solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio. INV E - 220: 2013.....	75
Anexo 14. Informe de ensayos equivalente de arena de suelos y agregados finos. Norma INV E - 133:2013	76

Anexo 15. Informe de ensayos valor de azul de metileno en agregados finos. INV E 235:2013	77
Anexo 16. Informe de ensayos presencia de impurezas orgánicas en arenas usadas para la preparación de morteros o concretos (Colorimetría). Norma INV E - 212:2013.....	78
Anexo 17. Informe de ensayos determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en lo agregados. Norma INV E - 211:2013	79
Anexo 18. Informe de ensayos densidad Bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compactado. INV E - 217: 2013	80

RESUMEN

En este documento se evaluó la alternativa de aprovechar el aceite reciclado de cocina como modificador de asfaltos para la fabricación de mezclas asfálticas en Colombia.

Inicialmente se generaron las curvas reológicas para asfalto convencional MD-19 modificado, para lo cual se prepararon soluciones de asfalto-aceite reciclado de cocina con composiciones que variaron desde 0% al 1.5% de aceite reciclado de cocina; los ensayos de viscosidad se ejecutaron siguiendo la metodología INV E-714-07.

Posteriormente se realizaron pruebas Marshall para las soluciones asfalto-aceite aceite reciclado de cocina al 0,5%, 1% y 1.5% en peso, con el fin de establecer el contenido máximo de aceite usado que se puede adicionar en la mezcla que cumpla con las exigencias de la norma de mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico) artículo 450 – 13 del INVIAS; encontrando que para los agregados y el asfalto 60/70 utilizados el máximo valor que se le puede adicionar de aceite es del 2%, pues a concentraciones superiores el asfalto modificado pierde sus propiedades ligantes. Se deben realizar pruebas adicionales en laboratorio y campo para evaluar el comportamiento de estas mezclas a largo plazo.

Palabras clave: Viscosidad, aceite reciclado de cocina, asfalto, mezcla asfáltica en caliente, pruebas Marshall.

INTRODUCCIÓN

A través de los últimos años se ha incrementado significativamente el tránsito automotor en las carreteras del país. Debido a este fenómeno se ha aumentado el nivel de exigencia de durabilidad y resistencia para las vías. Como por lo general han sido diseñadas para volúmenes de tránsito menores, ha crecido el deterioro y no se cuenta con presupuesto suficiente para su mantenimiento.

Una alternativa para mejorar la calidad de las vías ha sido optimizar las propiedades del ligante (cemento asfáltico) empleado para conformar mezclas asfálticas, mediante aditivos que mejoren algunas propiedades mecánicas y reológicas convencionales tales como la susceptibilidad térmica, el envejecimiento prematuro, el ahuellamiento y la resistencia a la fatiga entre otros.

En el primer capítulo se encuentran las generalidades acerca del asfalto, teniendo en cuenta sus propiedades, una panorámica de la historia de los mismos, el desarrollo de los asfaltos modificados a nivel general y el resumen de algunos trabajos de investigación realizados en Colombia.

En el capítulo dos se estudian los aceites de acuerdo a su clasificación, se describe el proceso de modificación de los asfaltos con los mismos, así como una reseña de los parámetros especificados por las normas colombianas para modificar asfaltos.

En el tercer capítulo se expone primero la caracterización de los agregados pétreos, seguido de los ensayos Marshall a las mezclas convencionales y modificadas con aceite de cocina reciclado, y finalizando con los ensayos complementarios realizados para el asfalto normalizado y el asfalto modificado, como son punto de ablandamiento y penetración, entre otros, se realiza un análisis comparativo entre los resultados obtenidos en el laboratorio para las mezclas con asfalto modificado y sin modificar. Por último se evalúa mediante un estudio económico, el costo de la mezcla modificada con Poliestireno, haciendo una comparación con la mezcla asfáltica convencional.

1. EL ASFALTO

Un asfalto es un betún sólido, derivado del petróleo, que resulta de la destilación del mismo, el cual posee propiedades mecánicas y reológicas que dependen del tipo de procesamiento realizado, ya sea por destilación en aire o por vapor. Siendo los obtenidos a través de la destilación por vapor los más utilizados en pavimentación.

El asfalto refinado en forma que satisfaga las especificaciones para la pavimentación se le llama cemento asfáltico, que se abrevia C.A. A temperaturas ordinarias tiene la forma de un semisólido, en el que el grado de solidez se mide por la prueba de penetración. Se calienta hasta que se funde antes de mezclarse con los agregados en las mezclas para pavimentación. (Larson, 1977, p. 189).

De acuerdo a Garcés, Garro, & Gallego (1997):

Los cementos asfálticos se obtienen por destilación al vapor de los residuos más pesados del proceso de fraccionamiento del petróleo, continuándose la destilación hasta obtener la consistencia deseada. Se aplica el vapor en el refinado para que los volátiles pesados puedan ser separados sin aumentar demasiado la temperatura, ya que temperaturas excesivamente altas reducen la ductilidad, aumentan la fragilidad y producen desdoblamiento, dando lugar a un producto menos homogéneo.

La calidad de un cemento asfáltico viene afectada por la propiedad del crudo, que pueden variar mucho aún dentro de un mismo yacimiento y también por el sistema de refinación que se haya empleado (p. 199).

“El cemento asfáltico se prepara comercialmente en cinco (5) grados o rangos de consistencia definidos con base en el ensayo de penetración”. (Montejo, 2001, p. 422) (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Rangos de penetración estándar de los asfaltos

Rango	Penetración estándar 0.01 mm
AC 40-50	40-50
AC 60-70	60-70
AC 85-100	85-100
AC 120-150	120-150
AC 200-300	200-300

Fuente: Montejo, 2001

En el país los asfaltos que se utilizan como ligante en las mezclas en caliente, se encuentran dentro de las exigencias de calidad dadas por las normas de la Sociedad Americana de Ensayos y Pruebas de Materiales (ASTM). Hasta hace poco se exigía el cumplimiento de la norma ASTM D-946, la cual se basaba en el ensayo de penetración a 25°C.

Actualmente se combina con la norma de calidad ASTM D-3381, la cual utiliza de manera más racional el ensayo de viscosidad absoluta a 60°C y la viscosidad cinemática a 135°C tanto para el asfalto original como para el asfalto envejecido mediante el ensayo de película delgada. (ECOPETROL, 1997, p. 78). (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Especificaciones para cementos asfálticos. ASTM - 3381

PROPIEDAD	GRADO DE VISCOSIDAD				
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad a 60°C, P.	250 (+ -) 50	500 (+ -) 100	1000 (+ -) 200	2000 (+ -) 400	4000 (+ -) 800
Viscosidad a 135°C. min, cSt	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100 g, 5 seg	200	120	70	40	20
Punto de inflamación, copa abierta de Cleveland °F (°C)	325 (163)	350 (177)	425 (219)	450 (232)	450 (232)
Solubilidad en tricloroetileno, min. %	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Análisis al residuo de lámina delgada					
Viscosidad 25°C, max. P	1250	2500	5000	10000	20000
Ductilidad 25°C, 5cm/min.	100*	100	50	20	10

* Si la ductilidad está por debajo de 100 cm. El material se aceptaría si la ductilidad a 15.5°C es mínimo 100cm. A una velocidad de 5cm/min.

Fuente: ECOPETROL, 1997

En la Tabla 3 se puede observar la clasificación de los asfaltos producidos en Apiay, Barrancabermeja y Cartagena, según las normas antes mencionadas.

Tabla 3. Clasificación de los asfaltos producidos por ECOPETROL

ESPECIFICACIÓN ASTM	ASFALTO PROVENIENTE DE REFINERÍA		
	CARTAGENA	BARRANCABERMEJA	APIAY
ASTM D - 946	AC - 60-70	AC - 60-70, AC - 85-100	AC - 60-70
ASTM D - 3381	INTERMEDIO AC - 10, AC - 20	AC - 20	AC - 20

Fuente: ECOPETROL, 1997

En cuanto el asfalto de Barrancabermeja en la tabla 4 se encuentra sus propiedades:

Tabla 4. Propiedades del asfalto de Barrancabermeja

ASFALTO DE BARRANCABERMEJA 80/100				
PROPIEDADES	METODO	UNIDADES	ESPECIFICACION	
	ASTM		MIN	MAX
PENETRACION (25°C, 100 gr, 5s)	D5	mm/10	80	100
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (Metodo Anillo y Bola)	D36	°C (F)	42 (107,6)	53 (127,4)
PUNTO DE IGNICION Copa Abierta de Cleaveland	D92	°C (F)	232 (449,6)	
Perdida de Masa, efecto calor y aire sobre película delgada de asfalto. RTFOT	D2872	%masa		1

Fuente: ECOPETROL, 2010.

1.1 HISTORIA DEL ASFALTO

Según E-ASFALTO (2000), la palabra asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiria, en las orillas del Tigris Superior, entre los años 1400 y 600 A.c. En esta zona se encuentra en efecto la palabra *Sphalto* que significa "lo que hace caer". Luego, la palabra fue adoptada por el griego, pasó al latín y más adelante, al francés (*asphalte*), al español (asfalto) y al inglés (*asphalt*).

Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado.

En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3200 a.C. Excavaciones efectuadas en Tell Asmer, a 80 km al noreste de Bagdad, permitieron constatar que los sumerios habían utilizado un mastic de asfalto para la construcción. Dicho mastic, compuesto por betún, finos minerales y paja, se utilizaba en la pega de ladrillos o mampuestos, en la realización de pavimentos interiores (de 3 a 6 cm de espesor), para tratamientos superficiales externos de protección y como revestimiento impermeable en los

baños públicos. Este género de aplicaciones se repite en numerosas regiones de Mesopotamia, al igual que en el Valle del Indo (Mohenjo-Daro). Los Egipcios le habían encontrado otra aplicación al betún, como relleno del cuerpo en trabajos de momificación, práctica que se extiende aproximadamente hasta el año 300 a.C.

Teniendo en cuenta el gran número de aplicaciones posibles y conocidas de los ligantes hidrocarbonados, es normal que se encuentren numerosas alusiones en la literatura al respecto. Es así como en la Biblia, se menciona en varias oportunidades su uso en el arca de Noé, en la torre de Babel, en la cuna de Moisés, en las murallas de Jericó, etc. Numerosas citas figuran en casi todos los libros griegos o latinos, que según los casos, describen los yacimientos de betún natural o de asfalto, la fabricación del alquitrán de madera, los diversos usos o curiosas propiedades de este producto.

Los árabes desarrollaron un uso medicinal al asfalto, el cual se extendió hasta nuestra época. Se utiliza para el tratamiento de enfermedades a la piel y como desinfectante tópico.

Dada las propiedades combustibles que presentan los ligantes hidrocarbonados, en la antigüedad se utilizaban con fines bélicos o destructivos, en forma de bolas de betún encendidas las cuales eran catapultadas y en forma de baños incandescentes, prolongándose hasta la Edad Media.

En esta misma época cabe destacar el papel desempeñado por los ligantes hidrocarbonados en la protección de los cascos de las embarcaciones.

El betún natural fue descubierto a mediados del siglo XVI, en la Isla de Trinidad, por Cristóbal Colón. Un siglo más tarde, sir Walter Raleigh quedó asombrado ante este Lago de Betún y tomó posesión de él para la Corona Británica.

Se puede considerar que el 19 de agosto de 1681, abrió una nueva era para los ligantes hidrocarbonados, dado que los ingleses Joakin Becher y Henry Serie registraron una patente relativa a "un nuevo método para extraer brea y alquitrán del carbón de piedra", que según sus autores permitía obtener un alquitrán tan bueno como el de Suecia.

Mientras tanto, en 1712, el griego Eirini D'Eyrinis hizo otro descubrimiento: el yacimiento de asfalto de Val de Travers en Suiza y luego el yacimiento de Seyssel en el Valle del Ródano. A

partir de estos yacimientos se elaboró el "mastic de asfalto", aplicado a revestimientos de caminos y senderos. Las primeras aplicaciones tuvieron lugar en las afueras de Burdeos y en Lyon.

En el año 1781, Lord Dundonald realiza los primeros estudios relativos a la calidad y utilización de la alquitrán de hulla y barniz de hulla.

En 1824, la firma Pillot et Eyquem comenzó a fabricar adoquines de asfalto, que en 1837 se utilizaron para pavimentar la Plaza de la Concordia y los Campos Elíseos en París.

En 1852, la construcción de la carretera Paris-Perpiñan utilizó el asfalto de Val Travers, significando el comienzo de una nueva forma de construcción vial. En 1869, se introduce el procedimiento en Londres (con asfalto de Val de Travers), y en 1870 en los Estados Unidos con similar ligante. Desde esta época, el "asfalto" se implantó sólidamente en las vías urbanas y propició significativamente su uso vial.

La construcción del primer pavimento, tipo Sheet Asphalt, ocurre en 1876 en Washington D.C., con asfalto natural importado.

En 1900 aparece la primera mezcla asfáltica en caliente, utilizada en la Rue du Louvre y en la Avenue Victoria en París, la cual fue confeccionada con asfalto natural de la Isla de Trinidad.

A partir del año 1902, se inicia el empleo de asfaltos destilados de petróleo en los Estados Unidos, que por sus características de pureza y economía en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento.

La aparición y desarrollo de la circulación automovilística en las carreteras de aquel entonces, de macadam a base de agua, provocaban grandes nubarrones de polvo, ello dio origen a los tratamientos superficiales a base de emulsiones en el año 1903 con objeto de enfrentar dicho inconveniente.

En 1909 en Versalles, sobre el firme de una carretera con un tráfico diario de 5000 vehículos, se construyó una capa de aglomerado bituminoso de 5 cm. de espesor. Así pues, en los albores del siglo XX, ya existían los principales componentes de la técnica de revestimientos bituminosos. Su desarrollo y perfeccionamiento, es tarea que incumbe a los profesionales del asfalto del siglo XX.

1.2 ASFALTOS MODIFICADOS

De acuerdo con Montejo (2001):

Un asfalto modificado es un asfalto común al cual se le adicionan productos tales como látex, polietileno, cal, cemento, azufre, asfáltenos naturales, hule molido de neumáticos, aceites, resinas, fibras de acero, vidrio o asbesto entre otros, con el fin de modificar y mejorar algunas de sus características mecánicas y reológicas (p. 95).

Una mezcla asfáltica mejorada es la combinación de material pétreo, ligante asfáltico y un aditivo que aumenta las propiedades mecánicas y elevan la vida útil del pavimento y su resistencia. Se ha comprobado que las mezclas convencionales satisfacen algunas de las necesidades del mercado colombiano, como la adhesión, en distintas condiciones de carga e incremento del tránsito, pero la necesidad de optimizar los costos de las vías nacionales, cuando en su uso se requieren mayores capacidades y comportamientos, resultan insuficientes. Por ejemplo, en los asfaltos convencionales, es difícil eliminar el problema del ahuellamiento, a costo razonable, especialmente cuando se tienen condiciones de altas temperaturas.

La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Una de las búsquedas al mejorar mezclas asfálticas es entonces el cambio en algún comportamiento de la misma. Algunas de las propiedades que se desean mejorar son:

- Mayor resistencia a la fisuración y susceptibilidad térmica.
- Mayor resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento).
- Mayor adherencia entre los agregados pétreos.
- Mayor adherencia entre la carpeta de rodamiento y la base o sub-base.
- Mayor cohesividad.
- Mayor resistencia al envejecimiento.

Algunos tipos de mezclas asfálticas que se pueden obtener mediante el empleo de un asfalto modificado son:

- **Mezclas de alto módulo.** Son mezclas asfálticas de constitución similar a las convencionales en las que el cemento asfáltico empleado les confiere un modulo elástico superior al normal. La principal ventaja que se deriva del empleo de estas mezclas es que para un mismo espesor de capa aportan una mayor capacidad portante.
- **Mezclas resistentes a las deformaciones plásticas.** Son mezclas asfálticas de constitución similar a las convencionales donde el cemento asfáltico empleado minimiza el problema de las deformaciones plásticas, esto es de la formación de ahuellamientos.
- **Mezclas resistentes a la fatiga.** La mejora de la resistencia a la fatiga es una calidad buscada en todo tipo de mezclas, dado que implica directamente una mayor durabilidad.
- **Mezclas drenantes.** Son mezclas asfálticas porosas, normalmente utilizadas para mejorar el agarre de las llantas de los vehículos al pavimento y la disminución de los espejos de agua, formados en épocas de precipitaciones; esta se logra con una proporción de vacíos, muy elevada y agregado fino muy baja, lo cual genera la necesidad de tener un ligante altamente viscoso, esto con el fin de evitar el envejecimiento. Este tipo de mezcla hace que el agua fluya fácilmente dentro de la misma, para evacuarla a su través y repartirla a las obras de drenaje o subdrenaje.

Por otro lado debido a los diferentes tipos de mezclas asfálticas vistas anteriormente se deduce que un solo aditivo, no mejora todas las propiedades de la mezcla, provocando entonces, la necesidad de estudiar varios tipos de aditivo, para encontrar su mejor aplicación en cada caso (Montejo, 2001. p. 14).

Según Agnusdei & Iosco (2001):

Aunque en una mezcla asfáltica, el asfalto sea minoritario en proporción, sus propiedades pueden influir de manera significativa en su comportamiento. El tipo de mezcla será el que, en gran medida, determine la contribución hecha por el ligante sobre todo el conjunto. Generalmente, las propiedades de las mezclas con granulometría continua, dependen del enclavamiento o trabazón de los áridos, mientras que las preparadas con altos contenidos de mortero asfáltico dependen más de la rigidez de la proporción de ligante, polvo mineral y arena.

A altas temperaturas de servicio, puede que el ligante llegue a reblandecerse, facilitando la deformación de la mezcla (ahuellamiento). El riesgo de aparición de estas deformaciones es

aún mayor en pavimentos sometidos a la circulación de vehículos pesados. De manera generalizada y sin tener en cuenta otros factores que pueden influir, se puede disminuir la probabilidad de aparición de estas deformaciones aumentando la rigidez del ligante mediante el empleo de un asfalto más duro (p. 48).

Por otro lado a temperaturas de servicios bajas, el ligante se vuelve relativamente rígido y va perdiendo poder de resistencia a las tensiones, volviéndose frágil y siendo susceptible de fisuraciones. El grado de susceptibilidad a la fisuración está relacionado con la dureza del asfalto y su capacidad para absorber las sollicitaciones inducidas por el tráfico. Disminuyendo la dureza del asfalto, se minimizará el riesgo de fallo por fragilidad.

Entonces, debido a lo dicho precedentemente a la hora de buscar comportamientos globales satisfactorios de la mezclas bituminosas, la elección del asfalto adecuado para cada tipo de mezclas se vuelve un compromiso entre ambos extremos; ahuellamiento a altas temperaturas y fisuramiento por fragilidad térmica a bajas temperaturas. Donde mejorando el comportamiento a altas temperaturas, se influye negativamente en el comportamiento a bajas temperaturas.

1.2.1 Historia de los asfaltos modificados.

La más antigua referencia que se encuentra está en las patentes británicas publicadas en el año de 1843, siendo una de las más requeridas la del señor Thomas Handcock, famoso por su descubrimiento de la vulcanización del caucho. En 1943 se enlistaron más de 116 referencias entre patentes y artículos técnicos acerca de mezclas asfálticas-elastómeros. El mayor uso de estas mezclas es en capas de rodadura, juntas salientes e impermeabilizaciones. (Reyes & Reyes, 1998, p. 149).

En términos de vías pavimentadas con adiconamientos de plásticos para aumentar la resistencia podemos nombrar varias construidas en Ámsterdam, Holanda, en 1936, las cuales soportaron todo el tráfico pesado de la invasión a Alemania y su posterior retirada en la guerra mundial, la cual impresionó por su perfecto desempeño hasta el punto de crear exhaustivas recomendaciones para su construcción posterior en Europa y Estados Unidos.

La caída del precio de caucho en la década de los treinta aceleró el desarrollo de mezclas bituminosas con incorporación de caucho a través de numerosas asociaciones, grupos económicos, laboratorios y centros de investigación públicos y privados.

Durante el XVIII Congreso Mundial de Vías, realizada en Sydney, Australia, en Octubre de 1983, fue presentada la utilización de látex en cada país, debido principalmente al precio del petróleo.

Australia, Bélgica, Gran Bretaña, Francia, Portugal, Estados Unidos, España y Alemania han desarrollado procesos de modificación de los ligantes asfálticos con la incorporación de polímeros (elastómeros) de manera tal que han mejorado las propiedades y obtenido resultados más económicos.

En Francia el empleo ha sido cada vez mayor, a partir de las “jornadas de Estudios de Asfalto-Caucho” realizada en LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*) en 1964, siendo adoptada las normas técnicas, después de quince años de estudio sobre modificaciones más favorables obtenidas a través de compuestos macromoleculares para el refuerzo de carreteras.

En España se usa el látex en las capas asfálticas, especialmente para mejorar las características del ligante entre los agregados y con ello aumentar la resistencia mecánica, la susceptibilidad térmica y las condiciones reológicas generales. Varios estudios fueron realizados en el año de 1985 en España por el Ingeniero Miguel Ángel del Val, donde se sustituían un porcentaje de betún por el desperdicio plástico doméstico y era probado en el ensayo de pista de laboratorio, con una rueda maciza de 10 cm de radio y 5 cm de ancho que aplica una carga fija sobre una probeta prismática de 30 cm de ancho por 30 cm de largo y 5 cm de alto y contenida en un modelo de acero. Los resultados obtenidos fueron que la susceptibilidad a las deformaciones permanentes de la mezcla bituminosa en las que el betún se ha sustituido parcialmente por el desperdicio plástico es reducida y tanto más cuanto mayor sea el contenido de desperdicio plástico.

En Brasil las primeras experiencias fueron realizadas por el ingeniero Jean Claude Vogt, en Bahía, en 1968, con concreto asfáltico al introducirle látex SBR en forma manual a un mezclador. En 1969 el mismo ingeniero, con la colaboración de Farra, creó un tramo experimental entre dos poblaciones e introdujo el látex como parte del betún.

Colombia, sobre los asfaltos modificados con polímeros u otros aditivos ha sido ampliamente estudiado por las instituciones de educación superior, a través de proyectos de

grado, así como entidades gubernamentales y no gubernamentales, como CORASFALTOS (Corporación para la investigación y desarrollo de Asfaltos), ECOPETROL (Empresa Colombiana de Petróleos), INVIAS (Instituto Nacional de Vías) y TEXPAR ENERGY Inc, que han desarrollado una investigación llamada: “Transferencia y Desarrollo de tecnología propia para construcción de una planta de modificación de asfaltos utilizados en la pavimentación”, la cual tiene como uno de sus objetivos el desarrollo de metodologías para los asfaltos modificados por medio de la creación de una planta que fabrique este tipo de asfalto.

1.2.2 Mezclas asfálticas mejoradas en Colombia. Algunos de los estudios previos realizados sobre las mezclas asfálticas mejoradas son:

“Mejoramiento de las mezclas asfálticas a partir de la implementación de caucho como material granular fino” (Reyes, 2002). En esta investigación se encontró que al incorporarle caucho como material granular fino a una mezcla tipo MDC-II no se presentan ventajas con relación a las mezclas convencionales a temperaturas normales después de realizarse una caracterización dinámica que comprendió ensayos de módulos dinámicos, deformación permanente (ahuellamiento) y fatiga. Sin embargo, este tipo de modificación puede ser empleada en lugares donde se presenten bajas temperaturas, inferiores a 10 °C, y en altitudes superiores a los 3500 m.s.n.m. Esta disminución se presentaría debido a que el caucho le proporciona a la mezcla unas características viscoelásticas que complementan la propiedad de fluencia que el asfalto produce dentro de la mezcla.

“Efecto de los polímeros en mezclas asfálticas” (Reyes & Reyes, 2002). Como conclusión general, se determinó que la adición de polímero, de tipo homopolímero, incrementa los módulos dinámicos de las mezclas asfálticas sin importar el porcentaje de polímero que se introduzca a la mezcla, ni la temperatura a la cual se realiza el ensayo y el nivel de compactación de la misma (50 y 75 golpes por cara), lo cual es muy conveniente ya que habrá mejoras con su uso.

“Empleo de desperdicio plástico para el diseño una mezcla asfáltica drenante” (Reyes & Reyes, 2003). Los resultados obtenidos para la investigación, demuestran que el uso de desperdicios plásticos en las mezclas asfálticas drenantes mejoran las propiedades de ley de fatiga y módulos dinámicos, de permeabilidad, susceptibilidad térmica, así como la mitigación en el impacto ambiental, ya que pueden emplearse estos productos cuyo tiempo de degradación ambiental superan los 80 años.

“Viabilidad técnica de usar caucho de neumático como material de pavimentación asfáltica” (Oda & Fernández, 2001). La cual concluyó que el uso de este puede reducir la deformación permanente, el volumen del caucho es muy significativo, es decir la cantidad de aditivo influyen notablemente en las propiedades de la mezcla asfáltica mejorada mientras que el tamaño de las partículas y la temperatura no son de gran importancia.

Estudio del comportamiento de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo la cual concluyó que la mezcla asfáltica modificada con PVC, presenta mejores comportamientos que la convencional a excepción del flujo el cual puede ser mejorado cambiando la gradación del agregado pétreo empleado para la elaboración de las mezclas.

El asfalto modificado con PVC presenta muy baja susceptibilidad térmica, manifestada a través de su índice de penetración y de los cambios que en penetración se obtuvieron a distintas temperaturas. Además presenta un valor aproximado de 3 veces mayor viscosidad que el asfalto convencional, es decir permite predecir menor ahuellamiento a altas temperaturas de servicio (Herrera & Caicedo, 2004).

“Estudio del comportamiento de las mezclas asfálticas con adiciones de desechos plásticos” (Montoya & Téllez, 2004), la cual concluyó que las propiedades estudiadas disminuyeron, aunque con algunos valores aceptables por la norma, no descartando del todo que el uso de estos mejoradores ayuden al mejoramiento de otro tipos de propiedades, como lo son al envejecimiento, ahuellamiento, entre otras que no pudieron evaluar por las limitaciones de los equipos a mano en el laboratorio.

En estudios realizados en Estados Unidos por los departamentos de transporte de Utah, California y Texas (UDOT, CDOT y TDOT) (Lewandowski, 2004), han venido utilizando asfaltos modificados con Poliestireno desde comienzos de los 60's, en busca de súper pavimentos, realizando ensayos de ductibilidad a baja temperatura, resistencia y tenacidad para evaluar los diferentes ligantes utilizados. A través de la validación en campo se han examinado cerca de 33 proyectos obteniendo como conclusión que las secciones de asfalto modificado construidas en el año de 1989 no han presentado rompimiento por los cambios de temperatura prácticamente; además comparando los asfaltos modificados con polímeros respecto a los tradicionales se ha observado una disminución del 76% en el desgaste por cada año. Esto justifica el uso de asfaltos modificados con polímeros. Además afirman que el uso de asfaltos modificados ha reducido el rompimiento transversal y longitudinal de la mezcla.

Los estudios mencionados son algunos de los proyectos con los cuales se comenzó a vislumbrar en Colombia la posibilidad de uso de los asfaltos mejorados mediante la adición de desechos que optimaran su comportamiento. Estos proyectos son punto de partida para la escogencia de los aditivos y el proceso de incorporación para este proyecto.

2. ACEITES

La palabra **aceite** (del árabe *az-záyt*, el jugo de la aceituna, y éste del arameo *zaytā*) es un término genérico para designar numerosos líquidos grasos de orígenes diversos que no se disuelven en el agua y que tienen menor densidad que ésta. Es sinónimo de *óleo* (del latín *oleum*), pero este término actualmente se emplea sólo para los sacramentos de la Iglesia católica y en el arte de la pintura.

Originalmente la palabra aceite se refería únicamente al aceite de oliva, y óleo se utilizaba para los demás, pero la palabra se generalizó para denominar a aceites vegetales, animales o minerales sustituyendo a óleo en la mayoría de sus acepciones.

2.1 ACEITES COMBUSTIBLES

Los aceites combustibles son una variedad de mezclas líquidas provenientes del petróleo crudo, o de sustancias vegetales (biodiésel/biocombustibles). Ciertas sustancias químicas que se encuentran en ellos pueden evaporarse fácilmente, en cambio otras pueden disolverse más fácilmente en agua.

Son producidos por diferentes procesos de refinación, dependiendo de los usos a que se designan. Pueden ser usados como combustibles para motores, lámparas, calentadores, hornos y estufa, también como solventes.

Algunos aceites combustibles comunes incluyen al queroseno, el aceite diésel, el combustible para aviones de reacción, el aceite de cocina y el aceite para calefacción. Se distinguen uno del otro por la composición de hidrocarburos, los puntos de ebullición, los aditivos químicos y los usos.

2.2 ACEITES MINERALES

Se utiliza esta denominación para aceites obtenidos mayormente por refinación del petróleo y cuyo uso es el de lubricantes. Se usan ampliamente en la industria metalmeccánica y automotriz. Estos aceites se destacan por su viscosidad estable, capacidad de lubricación, resistencia a la temperatura y capacidad de disipar el calor entre otras.

2.3 ACEITES COMESTIBLES

Los aceites comestibles provienen tanto del reino animal como del vegetal. Una manera de determinarlos químicamente se centra principalmente en extraer el aceite de la planta usando éter petróleo y metanol a reflujo y luego aplicar una vez purificado una cromatografía en fase vapor y con esto observar la proporción de ácidos grasos presentes en este aceite. También se puede determinar usando el reactivo de Janus o Wiggs.

Existen diferentes tipos de aceites, como son los aceites de ballena, de foca o de hígado de bacalao que han llegado a consumirse pero actualmente en la cocina sólo se utilizan aceites vegetales, extraídos de semillas, de frutas o de raíces.

En general, los aceites vegetales aportan ácidos grasos insaturados y son ricos en vitamina E. Su valor energético es de 900 kcal cada 100 g.

En la antigüedad, quizá el aceite que se conoció y utilizó primero es el de ajonjolí. Se sabe que lo usaban los egipcios. Los griegos usaron aceite de oliva, y en Atenas el olivo era considerado un árbol sagrado, símbolo de la vida de la ciudad. El aceite servía para la alimentación, para el alumbrado y para uso religioso (los óleos para ungir).

2.3.1 Clasificación de los aceites comestibles. Pueden distinguirse dos tipos de aceite: los vírgenes y los refinados. Los primeros son los extraídos mediante "prensado en frío" (no más de 27 °C), conservando el sabor de la fruta o semilla de la que son extraídos.

Otro método consiste en la centrifugación a 3.200 rpm y filtración a no más de 27 °C, método que se denomina "extracción en frío". Finalmente se aplica un proceso físico (como la decantación durante 40 días) para separar los residuos más finos.

Por ambos métodos se obtiene el aceite de oliva virgen, un líquido translúcido dorado (últimamente verdoso, ya que la recolección se ha adelantado uno o dos meses), de sabor intenso y con una acidez entre 0,1° y 1,5°. Los principales aceites vírgenes que se comercializan son los de oliva, argán y girasol (aunque la mayor parte de este último es refinado), algunos de semillas (como alazor, colza, soja, pepitas de uva y calabaza) o de algunos frutos secos (nuez, almendra, avellana).

Los aceites refinados son aquellos que se someten a un proceso (refinado) y desodorizado que permite obtener un aceite que responde a ciertos criterios: organolépticamente es de un sabor

neutro, visualmente está limpio y con un color adecuado, y además es seguro alimentariamente y permite una mejor conservación. Esta técnica suele utilizarse para modificar aceites que no son aptos para el consumo humano (aceite lampante, extraído del bagazo de la oliva) o para poder aumentar la producción de determinados productos que, si fuesen sometidos a una simple presión en frío, para obtener un aceite virgen no resultarían rentables económicamente (semillas de girasol).

2.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ACEITES

Los aceites, así como las grasas, son triglicéridos de glicerol⁴ (también llamado glicerina, 1, 2, 3 propanotriol o sólo propanotriol). El glicerol es capaz de enlazar tres radicales de ácidos grasos llamados carboxilatos. Dichos radicales grasos por lo general son distintos entre sí; pueden ser saturados o insaturados. La molécula se llama triacilglicérido o triacilglicerol.

Los radicales grasos pueden ser desde 12 carbonos de cadena hasta 22 y 24 carbonos de extensión de cadena. Existen en la naturaleza al menos 50 ácidos grasos.

Algunos radicales grasos característicos provienen de alguno de los siguientes ácidos grasos:

Tabla 5. Radicales grasos que provienen de ácidos grasos

	C
Ácido linoleico	18:2
	C
Ácido linolénico	18:3
	C
Ácido oleico	18:1
	C
Ácido palmitoleico	16:1

Fuente: elaboración propia

Estos ácidos son los llamados ácidos grasos insaturados o ácidos grasos esenciales, llamados así porque el organismo humano no es capaz de sintetizarlos por sí mismo, y es necesario por tanto ingerirlos en los alimentos.

Los ácidos grasos saturados son los siguientes:

Tabla 6. Ácidos grasos saturados

Ácido esteárico	C18:0
Ácido palmítico	C16:0

Fuente: elaboración propia

Para el caso de los aceites los carboxilatos contienen insaturados o enlaces dieno o trieno, que le dan la característica líquida a temperatura ambiente. Los aceites son mezclas de triglicéridos cuya composición les da características particulares.

Los aceites insaturados como los casos ya expuestos, son susceptibles de ser hidrogenados para producir mantecas hidrogenadas industriales de determinado grado de insaturación o índice de yodo, que se destinan para margarinas y mantecas de repostería.

Son aceites de gran importancia los omega 3 y los omega 6, que son poli-insaturados, muy abundantes en peces de aguas heladas. (Wikipedia, 2019).

3. ASFALTOS MODIFICADOS CON ACEITES RECICLADOS DE COCINA

3.1 MARCO TEÓRICO

El Ministerio de Ambiente emitió la resolución que permite el aprovechamiento del aceite de cocina a gran escala para diversos fines.

Una botella de aceite de cocina es una de esas cosas que no pueden faltar en una casa. La industria de alimentos tampoco puede vivir sin él: lo necesita para freír papas, plátano, yucas. El problema es que el aceite, sobre todo después de usado, es altamente contaminante y obstruye los sistemas de acueductos y alcantarillado. Sólo un litro de aceite de cocina puede contaminar hasta 1.000 litros de agua. Si bien cuando las casas particulares lo usan la contaminación puede mitigarse, no es el caso de la industria y las grandes empresas. Por esa razón el Ministerio de Ambiente (2018) emitió la resolución en la que regula el reciclaje de este residuo para empresas y grandes complejos industriales. Hasta el pasado primero de marzo no existía en el país una ruta legal para dejar de botar en la tubería este líquido. Allí, el Ministerio traza la hoja de ruta para aprovechar el aceite usado a gran escala.

Los primeros responsables en el asunto son los productores, comercializadores y distribuidores del aceite vegetal comestible. De acuerdo con la resolución, son ellos quienes deben informarle a sus compradores en dónde, cómo y con quiénes pueden adelantar la recuperación del aceite una vez sea usado. Estas campañas de información, que deben realizar a más tardar hasta enero de 2025, deben ir dirigidas tanto al sector industrial como a las personas particulares.

En las casas, lo único que debe hacerse es almacenar el aceite de cocina usado en una botella plástica y posteriormente llevarlo a los puntos de reciclaje del mismo.

Las industrias, por otra parte, lo primero que deben hacer para reciclar el aceite de cocina usado es inscribirse ante la autoridad ambiental donde se haga el aprovechamiento del recurso. La inscripción debe contener los datos básicos de la empresa: razón social, NIT, representante legal, teléfono, dirección, entre otros.

Allí mismo deben inscribirse los gestores, es decir, aquellas empresas que vayan a recibir los aceites usados para limpiarlo, purificarlo y tratarlo hasta finalmente convertirlo en biodiesel.

La resolución contempla además que en los primeros quince días de cada año, los industriales y prestadores de servicios deben informar a la autoridad competente la cantidad

de aceite de cocina que usaron durante el año anterior, así como las constancias de que cada kilogramo fue llevado ante un gestor para su aprovechamiento.

La resolución flaquea a la hora de imponer sanciones a quienes no cumplan con esta norma ambiental, pues no contempla ningún tipo de multa.

Además, da un plazo de cinco años a los comercios y gestores para inscribirse ante la autoridad ambiental lo que, en últimas, implica que tendrán que pasar como mínimo siete años para que las empresas empiecen a reciclar estos residuos que, una vez llegan al mar, se convierten en una densa capa que bloquea la entrada de luz solar y el intercambio de oxígeno entre el agua y el aire, generando condiciones que pueden llevar a la muerte a los animales y plantas atrapados bajo su manto (El Espectador, 2018, 14 de mayo).

En los Estados Unidos, el 96% de las carreteras están cubiertas con materiales asfálticos.

El asfalto de mezcla caliente (HMA) consiste en partículas de agregado (gruesa y fina) que están unidas por un aglutinante de asfalto en temperaturas elevadas. El aglutinante de asfalto tradicional es un residuo obtenido durante el proceso de refinación de petróleo crudo. Aumentado regulaciones ambientales para nuevas perforaciones, disminución de los recursos existentes, y modificaciones al proceso de refinación que maximizan la cantidad de combustible al tiempo que minimiza los residuos de asfalto ha aumentado el costo del asfalto en los últimos años. Para hacer frente a estos desafiantes problemas, las industrias están buscando aglutinantes alternativos para reemplazar o reducir el asfalto a base de petróleo utilizado en HMA. El nuevo asfalto La encuadernadora debe ser ecológica y estar hecha de tecnología ecológica.

El enfoque de sostenibilidad adoptado por la industria de autopistas tiene llevó a los investigadores a desarrollar un asfalto ecológicamente sano, llamado bioasfalto. Las industrias de investigación ahora están produciendo bioasfalto ya sea a partir de productos de biomasa o de residuos biológicos, produciendo bioasfalto a partir de estos los bioproductos también pueden reducir la necesidad de áreas de vertedero y ayudar mitigar la emisión de gases de efecto invernadero.

Para la buena ejecución de la investigación, se hace necesario tener en cuenta las normas y especificaciones que el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, La Secretaría Distrital de Ambiente, El Senado de La República y en general todas las autoridades

ambientales, Estatales y de normatividad han desarrollado para garantizar que el impacto que estos aceites generan en el ambiente se puedan controlar y dar buen uso del mismo.

- Resolución 0316 de 2016 del el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (Capítulos II y IV).
- Ley 2811 de 1974, numerales 2, 10, 11 y 14.
- Constitución Política de Colombia, Artículos 79 y 80.
- Proyecto de Ley 061 de 2014- Senado de la República
- Manual de normas y procedimientos para la gestión de aceites usados (Alcaldía Mayor de Bogotá).

3.2 MARCO CONCEPTUAL

La calidad de un pavimento es tan buena como lo sean la calidad de los materiales y del proceso constructivo; ningún equipo sofisticado puede compensar el uso de materiales y técnicas constructivas deficientes. Los pavimentos flexibles están compuestos de dos materiales: asfalto y agregados (piedras, generalmente trituradas). El asfalto es un producto bituminoso semisólido a temperatura ambiente, preparado mediante un proceso de destilación del petróleo crudo, bitumen, que contiene un porcentaje muy bajo de productos volátiles a temperaturas elevadas (superiores a 130 °C); posee propiedades adhesivas y aglomerantes y es soluble en solventes aromáticos y en tricloroetileno.⁷ La designación del cemento asfáltico se da en Colombia por grados de penetración, en décimas de milímetro (0,1 mm); generalmente, se producen los grados de penetración 40-50, 60-70 y 80-100, de acuerdo con las características de la mezcla y del proyecto, siendo el grado 40-50 el más duro y el 80-100 el más blando. Los agregados utilizados deben ser suficientemente resistentes para soportar las cargas y los esfuerzos a los que se somete el pavimento, y ser compatibles físico-químicamente con el asfalto; dependiendo del tipo de mezcla asfáltica que requiera el pavimento, debe cumplir con una determinada distribución y tamaño de partículas, calidad que la aseguran las plantas de trituración y de fabricación de la mezcla asfáltica.

En el mundo se generaran anualmente grandes volúmenes de aceites usados, provenientes del consumo de lubricantes por el sector automotor, de aceites de proceso y aceites de transformadores, entre otros. Esto llevó a emprender un análisis cualitativo y cuantitativo de las diferentes actividades realizadas en la cadena comercial de este residuo (generación,

almacenamiento, mezcla, recolección, transporte y disposición final), encontrándose resultados inquietantes que atañen al sector energético por las prácticas de disposición final, ya que los aceites usados se están utilizando como combustibles en forma indiscriminada y sin tratamiento, por la pequeña y mediana industria. (Sanabria Grajales, 2016).

En Colombia cada año se generan cerca de 1,2 millones de barriles de aceite usado, de los cuales se ha calculado un potencial de recuperación cercano a los 420.000 barriles. Aproximadamente 540 BPD (barriles por día) son incorporados al mercado de los combustibles, particularmente en hornos y calderas de industrias medianas y pequeñas, como talleres de fundición, talleres de metalmecánica, pequeños chircales, textileras, siderúrgicas pequeñas, fábricas de confecciones, etc. y en el sector de servicios especialmente en las lavanderías.



Figura 1. Procedimiento correcto e incorrecto de reutilización del aceite casero

Fuente: Elaboración propia

Por desconocimiento de procedimientos técnicos para su adaptación, por ausencia de normatividad sobre su reutilización industrial, por la carencia de estándares de consumo en calderas, hornos y secadores y por el mercado negro existente con estos productos, se presume que los manejos dados a los aceites usados y en general a este tipo de energéticos alternativos, son inadecuados, no solo ambiental, sino técnicamente.

Estos procedimientos están generando la degradación del medio ambiente por la gran cantidad de contaminantes, particularmente aquellos asociados con contenidos de metales como arsénico, cadmio, cromo, plomo y antimonio entre otros, que son emitidos a la atmósfera durante el proceso de combustión. Estos compuestos químicos producen un efecto directo sobre la salud humana y varios de ellos son cancerígenos.

La implementación de planes y programas tendientes a lograr un apropiado manejo, recolección, transporte y aprovechamiento de este residuo, se traducirá en grandes beneficios económicos, energéticos, ambientales y sociales, por la liberación de energéticos tradicionales que pueden ser exportados, por la opción de una nueva alternativa de disposición, por la remoción de contaminantes especialmente los metales pesados y por la generación de un mercado formal que elimine su carácter de residuo peligroso, fomentando la así la participación de los diferentes actores para su recuperación, acopio y tratamiento. (Ministerio de Minas y Energía. Unidad de Planeación Minero-Energética, 2001).

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la aplicación del aceite de cocina reciclado como modificante del cemento asfáltico para mezclas asfálticas para el uso en pavimentos.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización de materiales agregados pétreos y cemento asfáltico para mezclas asfálticas y pavimentos.
- Recopilar información sobre experiencias de utilización de aceites en mezclas asfálticas.
- Establecer las temperaturas óptimas para agregados, mezcla y compactación para las diferentes mezclas de asfaltos modificados con aceite reciclado de cocina que cumpla con los requisitos de la norma 450 de INVIAS 2013; Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua usando de base un asfalto 60/70 que es el más usado en Colombia.
- Encontrar el porcentaje máximo de aceite usado de cocina que se puede adicionar al asfalto en cumplimiento de la norma 450 de INVIAS 2013.
- Encontrar el porcentaje máximo de asfalto modificado a adicionar en cumplimiento de la norma 450 de INVIAS 2013.

5. METODOLOGÍA

En este capítulo son descritos los materiales, instrumentos y métodos experimentales usados para la realización de los diferentes ensayos.

5.1 MATERIALES

Los principales materiales usados para el desarrollo de esta investigación fueron agregados vírgenes, cemento asfáltico, aceite reciclado de cocina.

Con el fin de conocer el comportamiento en laboratorio de las mezclas asfálticas fabricadas con asfalto modificado con aceite usado de cocina, se realizarán los siguientes ensayos:

- Realización de pruebas Marshall para con el fin de encontrar el contenido óptimo de asfalto modificado y espacios vacíos en las mezclas asfálticas que cumplan con la norma INVIAS.
- Ensayo Cantabro para caracterización de las mezclas asfálticas abiertas
- Ensayo a la tracción indirecta a 60°C (24 horas)
- Ensayo a la tracción indirecta a 25°C (1 hora)

5.2 PREPARACIÓN DE ASFALTOS A CONCENTRACIONES DEL 1% DE ACEITE USADO DE COCINA

Se prepararan unas muestras de asfaltos modificados con aceite usado de cocina en los porcentajes en peso que se muestran a continuación:

- Asfalto 100% en peso
- Asfalto 99,0% y Aceite Usado de cocina 1.0% en peso

El asfalto puede ser caracterizado de tres maneras. Estas formas de caracterizar el asfalto resultan útiles si la interpretación de los resultados es apropiada, el asfalto se puede caracterizar por grado de viscosidad, por grado de penetración y por grado de desempeño. Independientemente de cada caracterización intenta evaluar la consistencia del asfalto a una o varias temperaturas, así como evaluar propiedades relacionadas con pureza, susceptibilidad al envejecimiento y seguridad.

5.3 CARACTERIZACIÓN POR GRADO DE VISCOSIDAD

La siguiente tabla muestra las especificaciones para cementos asfálticos clasificados por grado de viscosidad a 60 °C.

El principio fundamental de la caracterización por grado de viscosidad es determinar la viscosidad absoluta a 60 °C y asignar como resultado o consistencia obtenida el grado AC correspondiente, para luego verificar los demás requisitos para este grado AC (por ejemplo AC30) en el resto de ensayos especificados.

Los ensayos especificados son:

- Viscosidad a 60 °C (ASTM D2171).
- Viscosidad Cinemática a 135 °C (ASTM D2170).
- Penetración a 25 °C (ASTM D 5).
- Punto de inflamación con copa abierta Cleveland (ASTM D92).
- Solubilidad en tricloroetileno (ASTM D70).
- Efecto del calor y el aire en materiales asfálticos mediante el horno de película delgada TFO. (ASTM D1754).
- Viscosidad a 60 °C (ASTM D2171). Al residuo del envejecido TFO. (Horno de película delgado por sus siglas en inglés)
- Ductilidad a 25 °C (ASTM D113). Al residuo del envejecido TFO. (Horno de película delgado por sus siglas en inglés).

Tabla 7. Especificaciones para cementos asfálticos. Clasificados por su viscosidad a 60°C

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	Grado de viscosidad					
			AC-25	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60°C	N s/m ²	D-2170	250 ± 50	500 ± 100	1000 ± 200	2000 ± 400	3000 ± 600	4000 ± 800
Viscosidad, 135°C, mínimo	mm ² /s	D.2170	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, mínimo	1/10 mm	D-5	220	140	80	60	50	40
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta, mínimo	°C	D-92	163	177	219	232	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, mínimo	%	D-2042	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Pruebas sobre residuo del ensayo de horno sobre película delgada:		D-1754						
Viscosidad, 60°C, máx.	N s/m ²	D-2171	1250	2500	5000	10000	15000	20000
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, mínimo	cm	D-113	100 ^A	100	75	50	40	25

Fuente: Salazar Delgado, 2011

5.4 CARACTERIZACIÓN POR GRADO DE PENETRACIÓN

La siguiente tabla muestra las especificaciones para cementos asfálticos clasificados por grado de penetración a 25 °C.

El principio fundamental es clasificar el asfalto de acuerdo con los resultados del ensayo de penetración a 25 °C. Se debe verificar el cumplimiento de los de más parámetros especificados. Los ensayos especificados son:

- Penetración a 25 °C (ASTM D 5).
- Punto de inflamación con copa abierta Cleveland (ASTM D92).
- Ductilidad a 25 °C (ASTM D113).
- Solubilidad en tricloroetileno (ASTM D70).
- Cambio de masa en horno de película delgada TFO (ASTM D1754).
- Penetración a 25 °C (ASTM D 5). Al residuo del envejecido TFO.
- Ductilidad a 25 °C (ASTM D113). Al residuo del envejecido TFO.

Tabla 8. Especificaciones para cementos asfálticos. Clasificación por su grado de penetración

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	GRADO DE PENETRACIÓN									
			40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
			Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	---	D-5	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta	°C	D-92	232	---	232	---	232	---	218	---	177	---
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min	cm	D-113	100	---	100	---	100	---	100	---	100 ^A	---
Solubilidad en tricloroetileno	%	D-2042	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---
Penetración retenida después de la prueba de horno sobre película delgada	%	D-5 Después de realizar D-1754	55+	---	52+	---	47+	---	42+	---	37+	---
Ductilidad 25°C, 5 cm/min, después de prueba de horno sobre película delgada	cm	D-113 Después de realizar D-1754	---	---	50	---	75	---	100	---	100 ^A	---

A. Si la ductilidad a 25°C es menor que 100 cm se puede aceptar el material si la ductilidad a 15.5°C es mínimo 100 cm a una tasa de 5 cm/min.

Fuente: Salazar Delgado, 2011

5.5 EQUIVALENCIAS ENTRE GRADO DE VISCOSIDAD Y GRADO DE PENETRACIÓN

Debido a la posibilidad de utilizar la clasificación de grado de viscosidad a 60 °C o la de penetración a 25 °C, es importante conocer la equivalencia para estas dos formas de clasificar el asfalto destinado para la construcción de pavimentos.

Tabla 9. Especificaciones para cementos asfálticos. Equivalencias entre grado de viscosidad y grado de penetración

Grado de Penetración	Grado de Viscosidad AC (Asphalt Cement)
40-50	AC-40
60-70	AC-20
85-100	AC-10
120-150	AC-5
200-300	AC-2.5

Fuente: Salazar Delgado, 2011

- Ensayo de envejecimiento de ligantes asfálticos utilizando el recipiente de envejecimiento presurizado PAV (ASTM D6521).

Tabla 10. Especificaciones de capacidad para aglutinante asfáltico. Clasificado por desempeño

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	GRADO DEL DESEMPEÑO						
		PG 46	PG 52	PG 58	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
		-34 -40 -46	-10 -16 -22 -28 -34 -40 -46	-16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34	-10 -16 -22 -28 -34
Promedio 7-días Temperatura Máxima de Diseño de Pavimento	°C	<46	<52	<58	<64	<70	<76	<82
Temperatura Mínima de Diseño de Pavimento ⁽¹⁾	°C	>-34>-40>- 46	>-10>-16> -22>-28>-34>- 40>-46	>-16>-22>- 28>-34>-40	>-10>-16> -22>-28>- 34>-40	>-10>-16> -22>-28>- 34>-40	>-10>-16> -22>-28>-34	>-10>-16> -22>-28>-34
Aglutinante Original								
Temperatura de Punto de Inflamación, Mínima	°C	230						
Viscosidad, 3 Pa.s, Temperatura de Prueba, máxima	°C	135						
Cizalla Dinámica ⁽²⁾ G'/sen δ, mín. 1.10 kPa, de 25-mm, Plato 1-mm de Espacio, Temp. de Prueba a 10-rad/s	°C	46	52	58	64	70	76	82
Horno sobre película delgada rodante (Método de Prueba D-2872)								
Pérdida de masa, máxima	%	1.0						
Cizalla Dinámica: G'/sen δ, mín. 2.20 kPa, Plato de 25-mm, 1-mm de Espacio, Temp. de Prueba a 10 rad/s	°C	46	52	58	64	70	76	82

Fuente: Salazar Delgado, 2011

Tabla 11. Residuo de recipiente para envejecimiento a presión (AASHTO PP1)

Residuo de Recipiente para Envejecimiento a Presión (AASHTO PP1)								
Temperatura de Envejecimiento PAV ¹⁾	°C	90	90	100	100	100 (110)	100 (110)	100 (110)
G'/sen δ, máx. 5000 kPa, Plato de 8 mm, 2 mm de Espacio, Temp de Prueba a 10 rad/s	°C	10 7 4	25 22 19 16 13 10 7	25 22 19 16 13	31 28 25 22 19 16	34 31 28 25 22 19	37 34 31 28 25	40 37 34 31 28
Resistencia a la Fluencia: ¹⁾ S, máx. 300 MPa, valor m, mín. 0.300, Tempo de Prueba en 60 s	°C	-24 -30 -36	0 -6 -12 -18 -24 -30 -36	-6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24	0 -6 -12 -18 -24
Tensión Directa: (4) Falla de Deformación, mín. 1.0 %, Temp. de Prueba a 1.0 m/minuto	°C	-24 -30 -36	0 -6 -12 -18 -24 -30 -36	-6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24	0 -6 -12 -18 -24

1) Las temperaturas del pavimento se estiman por medio de las temperaturas del aire utilizando un algoritmo contenido en el Programa de Computadora SUPERPAVE.

2) Para control de calidad de la producción de cemento asfáltico sin modificar, la medida de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituir a las medidas de cizalla dinámica de G'/sen δ en las temperaturas de prueba donde el asfalto es un fluido Newtoniano. Se puede utilizar cualquier norma adecuada para medir la viscosidad, incluyendo viscosímetro capilar o rotacional (Métodos de Prueba D-2170 ó D-2171).

3) La temperatura de envejecimiento PAV es 100°C para PG 64 y grados superiores, excepto para climas desérticos donde es 110°C.

4) Si la dureza a la deformación gradual es menor que 300 MPa, no se requiere la prueba de tensión directa. Si la dureza a la deformación está entre 300 y 600 MPa el requerimiento de falla de deformación de la tensión directa se puede utilizar en lugar del requerimiento del esfuerzo a la fluencia. El requerimiento del valor m se debe satisfacer en ambos casos.

Fuente: AASHTO, 2003

6. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

En nuestro ensayo para la preparación de los asfaltos modificados se pesará la cantidad requerida del asfalto 60-70 en una balanza digital, posteriormente se someterá a calentamiento hasta los 110°C en un Erlenmeyer de 250 ml, garantizando que todo el asfalto esté totalmente fluidizado; luego usando la balanza se pesará la cantidad de aceite usado requerido para la composición a elaborar y se agregará al asfalto caliente, se procederá a la agitación periódicamente de 1 minuto cada 5 minutos hasta alcanzar los 20 minutos manteniendo el asfalto modificado con aceite de cocina reciclado a 110°C. Con el fin de lograr una homogeneidad en el asfalto modificado en los intervalos de no agitación se tapaná el Erlenmeyer con el fin de evitar el escape de compuestos orgánicos volantes (COVs.). Por último, el asfalto modificado se dejará de un día para otro a temperatura ambiente.

Las pruebas se realizarán en un intervalo de temperaturas entre 80 y 130 °C para cada uno de los asfaltos modificados mencionados anteriormente.



Figura 2. Montaje para la toma de muestras a diferentes concentraciones

Fuente: Cárdenas Villamizar, 2017

6.1 MÉTODO MARSHALL PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

La metodología Marshall fue desarrollada por Bruce Marshall, con el fin de permitir el diseño de mezclas asfálticas en laboratorio y el control de calidad en campo, es un método

empírico que requiere que se respete en su totalidad su procedimiento para no perder su significado. (Cárdenas Villamizar, 2017).

6.1.1 Objetivo del método Marshall. Establecer el contenido óptimo de asfalto por medio de la experiencia, formulación ó por la relación polvo-asfalto.

6.1.2 Metodología para encontrar el porcentaje de asfalto óptimo. Para cada uno de los asfaltos modificados se elaborarán 5 muestras con diferentes contenidos de asfalto así: una en el valor estimado, 2 por encima y 2 por debajo de éste, con incrementos del 0,5% de asfalto, para cada muestra se elaboran 3 especímenes. Los agregados deben secarse a 105°C y 110°C y las temperaturas de mezclado deben corresponder a 170+-20 cSt y la de compactación a 280+-30 cSt. (Cárdenas Villamizar, 2017).

6.2 CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO MARSHALL

Permite el análisis del peso unitario y vacío de los especímenes compactado, la estabilidad de resistencia máxima a 60 °C (libras) y la deformación total (flujo) en el espécimen dada en pulgadas.

Una vez obtenidas las curvas reológicas, se seleccionarán las muestras analizadas inicialmente:

- Asfalto 100% en peso
- Asfalto 99,0% y Aceite Usado de cocina 1.0% en peso

Todos los componentes de la mezcla asfáltica deben cumplir con las especificaciones dadas por INVIAS en la norma I.N.V. E – 748 – 07 y 450-2013 como se muestra en la tabla.

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall.

El procedimiento se puede emplear tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas. El método es aplicable a mezclas elaboradas con cemento asfáltico y agregados pétreos con tamaño máximo menor o igual a 25.4 mm (1”).

Tabla 12. Criterios de diseño de mezclas de gradación continua por el método Marshall para Colombia

CARACTERÍSTICA	NORMA ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO	
		CATEGORÍA DE TRANSITO				
		NT1	NT2	NT3		
Compactación (golpes/cara)		50	75 (112)	75 (112)	75	
Estabilidad mínima (N)	E - 748 (E-800)	5.000	7.500 (16.875)	9.000 (33.750)	15.000	
Flujo (mm)		2,0 a 4,0	2,0 a 4,0 (3,0 a 6,0)	2,0 a 3,5 (3,0 a 5,3)	2,0 a 3,0	
Relación Estabilidad/flujo (kN7mm)		2,0 a 4,0	3,0 a 5,0 (4,5 a 7,5)	3,0 a 6,0 (4,5 a 9,0)	-	
Vacios con aire	Rodadura	E - 736	3,0 a 6,0	3,0 a 5,0	4,0 a 6,0	NA
(Va) %	Intermedia	ó	4,0 a 8,0	4,0 a 7,0	4,0 a 7,0	4,0 a 6,0
(Nota 3)	Base	E - 799	NA	5,0 a 8,0	5,0 a 8,0	4,0 a 6,0
Vacios en los agregados	T.Máx 38 mm	E - 799	13,0			
minerales	T.Máx 25 mm		14,0			14,0
(VAM), % mínimo	T.Máx 19 mm		15,0			
	T.Máx 10 mm		16,0			
Vacios llenos de asfalto (VFA)%		E - 799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	63 a 75
Relación Llenante/ligante efectivo, en peso		E - 799	0,8 a 1,2		1,2 a 1,4	
Concentración del llenante, valor máximo		E - 745	Valor crítico			
Evaluación de propiedades de empaquetamiento por el método Bailey		-	Reportar			
Espesor promedio de película de asfalto, mínimo		E - 741	7,5			

Fuente: Instituto Nacional de Vías, 2013a

6.3 RESUMEN DEL MÉTODO

El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2½") de altura, preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación. Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así fabricadas, se determinarán previamente las gravedades específicas de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura, de acuerdo con las normas correspondientes.

El procedimiento se inicia con la preparación de briquetas de ensayo, para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás, fijadas para el proyecto. Además, se deberá determinar previamente la gravedad específica bulk de los agregados, así como la gravedad específica del asfalto, y se deberá efectuar un análisis de Densidad Vacíos de las probetas compactadas. Para determinar el contenido óptimo de asfalto para una gradación de agregados dada o preparada, se deberá elaborar una serie de probetas con distintos porcentajes de asfalto, de tal manera que al graficar los diferentes valores obtenidos después de ser ensayadas, permitan determinar ese valor "óptimo".

6.3.1 Elaboración de briquetas

- Se selecciona el agregado grueso (gravilla triturada ya tamizada) y se pone a secar en la estufa hasta evaporar todo el contenido de humedad existente.
- El mismo procedimiento se hace con la arena.



Figura 3. Tamizado del material para la elaboración de las briquetas

Fuente: Elaboración propia

- Posteriormente, se pesa la grava en una balanza hasta obtener 623.7g que es el peso de la dosificación de este material.



Figura 4. Control del peso de la grava

Fuente: Elaboración propia

- Se toma el peso de la arena seca hasta obtener 510.3g



Figura 5. Control del peso de la arena seca

Fuente: Elaboración propia

- Se pesa el asfalto en un recipiente para obtener el peso óptimo para la elaboración de nuestra mezcla.



Figura 6. Control del peso del asfalto

Fuente: Elaboración propia

- Se procede a calentar el bitumen a una temperatura de 110°C y se le adiciona el aceite reciclado de cocina (0.66g) que corresponde al 1% del peso para modificarlo.



Figura 7. Calentamiento del bitumen con adición de aceite reciclado

Fuente: Elaboración propia

- En un mismo recipiente metálico se calienta la arena y la grava y se adiciona el asfalto modificado con el aceite de cocina reciclado y se revuelve hasta obtener una mezcla homogénea y se toma la temperatura para que no supere los 140°C.



Figura 8. Calentamiento de la arena y la grava con adición de asfalto y aceite reciclado

Fuente: Elaboración propia

- Anteriormente, se han puesto a calentar en el horno las camisas metálicas para la elaboración de nuestras briquetas.



Figura 9. Calentamiento de las camisas metálicas

Fuente: Elaboración propia

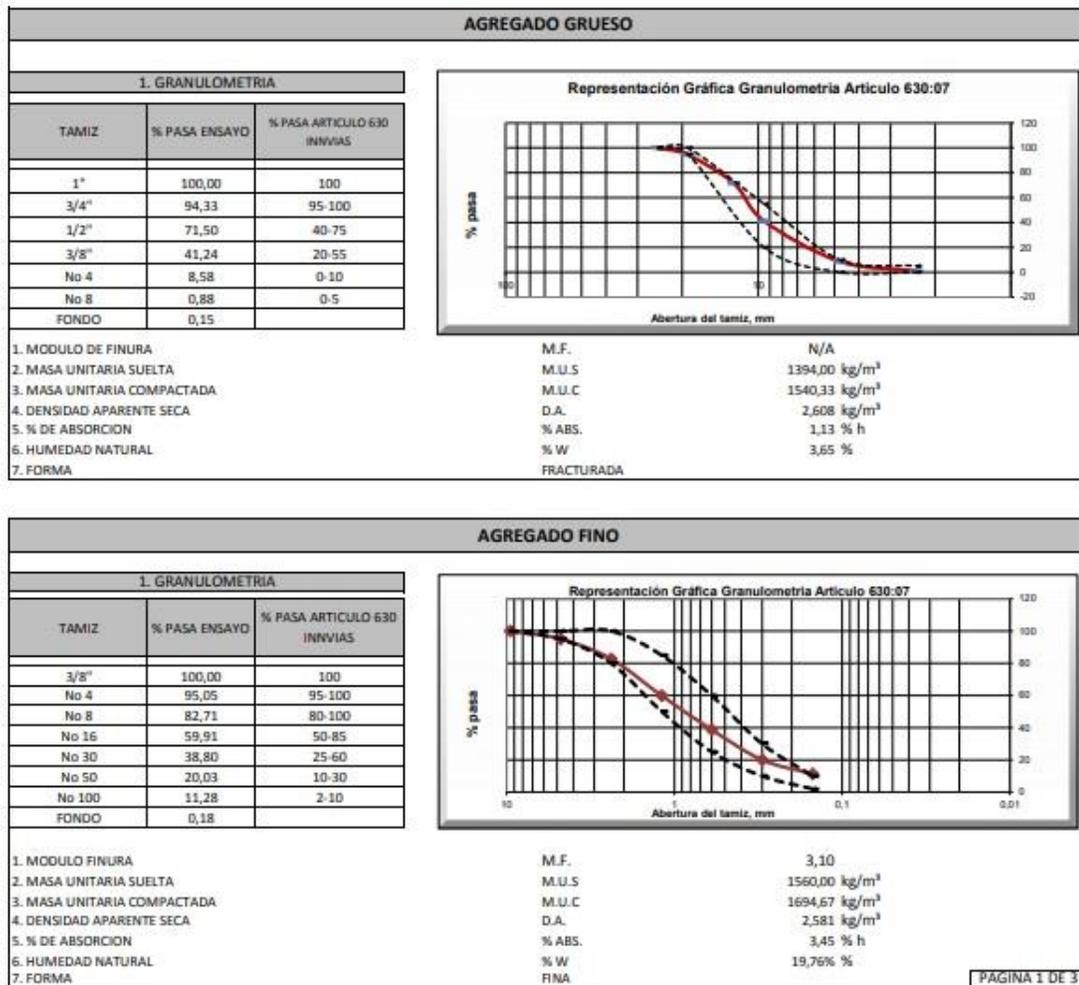
- Una vez lista la mezcla asfáltica modificada en caliente, procedemos a armar nuestras briquetas.



Figura 10. Armado de briquetas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Caracterización de los agregados finos y gruesos



Fuente: Laboratorio DCL ingeniería

Tabla 14. Gradación ideal

GRADACION IDEAL									
TAMIZ		TAMAÑO MAXIMO							
mm	pulg.	75,0	63,0	50,0	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5
		3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
75,00	3"	100,0	100,0	100	100	100	100	100	100
63,00	2 1/2"	100,0	100,0	100	100	100	100	100	100
50,00	2"	83,3	83,3	100	100	100	100	100	100
37,50	1 1/2"	73,2	73,2	87,9	100	100	100	100	100
25,00	1"	61,0	61,0	73,2	83,3	100	100	100	100
19,00	3/4"	53,6	53,6	64,3	73,2	87,9	100	100	100
12,50	1/2"	44,7	44,7	53,6	61	73,2	83,3	100	100
9,50	3/8"	39,2	39,2	47,1	53,6	64,3	73,2	87,9	100
4,75	4	28,7	28,7	34,5	39,2	47,1	53,6	64,3	73,2
2,36	8	21,0	21,0	25,2	28,7	34,5	39,3	47,1	53,6
1,18	16	15,4	15,4	18,5	21	25,2	28,7	34,5	39,3
0,60	30	11,3	11,3	13,5	15,4	18,5	21	25,2	28,7
0,30	60	8,2	8,2	9,9	11,3	13,5	15,4	18,5	21
0,15	100	6	6	7,3	8,3	9,9	11,3	13,5	14,4

Fuente: Laboratorio DCL ingeniería

Tabla 15. Porcentaje de los agregados en el diseño

CALCULO DE PORCENTAJE DE LOS AGREGADOS EN EL DISEÑO					
TAMIZ		% PASA ARENA	% PASA GRAVA	GRADACION COMBINADA AGREGADOS	GRADACION IDEAL TAMAÑO MAXIMO
NORMAL	ALTERNO				
75	3"				
62,5	2 1/2"				
50	2"				
37,5	1 1/2"				
25	1"		100,00	100,00	100
19	3/4"		94,33	96,88	87,9
12,5	1/2"		71,50	84,33	73,2
9,5	3/8"	100,00	41,24	67,68	64,3
4,75	Nº 4	95,05	8,58	47,49	47,1
2,36	Nº 8	82,71	0,88	37,70	34,5
1,18	Nº 16	59,91	0,88	27,44	25,2
0,6	Nº 30	38,80	0,88	17,94	18,5
0,3	Nº 60	20,03	0,00	9,01	13,5
0,15	Nº 100	11,28	0,00	5,08	9,9
% AGREGADOS			0,45	0,55	
% ARENA PARA DISEÑO			0,45		
% GRAVA PARA DISEÑO			0,55		

Fuente: Laboratorio DCL ingeniería

6.4 RESULTADOS ENSAYO MARSHALL

Tabla 16. Resumen del ensayo Marshall para mezclas bituminosas convencionales.

ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13)- CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL			
Briqueta No.	4	5	6
Tipo de mezcla	MDC-19- MD		
% Asfalto	5.3	5.3	5.3
Altura briqueta (cm)	6.5	6.45	6.51
Peso briqueta en aire seca (g)	1092.4	1025.5	1171.8
Peso briqueta en aire SSS (g)	1104.9	1155.7	1174.3
Peso briqueta en agua (g)	565.9	631.6	631.8
Lectura de carga (KN)	16.94	18.09	17.32
Flujo (10-3)"	140	120	130

Fuente: Instituto Nacional de Vías, 2013b

Tabla 17. Resumen del ensayo Marshall para mezclas bituminosas modificadas.

ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13)- CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO			
Briqueta No.	7	8	9
Tipo de mezcla	MDC-19- MD		
% Asfalto	5.3	5.3	5.3
Altura briqueta (cm)	6.16	5.52	6.02
Peso briqueta en aire seca (g)	1107.8	1015.8	1062.8
Peso briqueta en aire SSS (g)	1108.1	1016.4	1064
Peso briqueta en agua (g)	612.1	563.1	598.7
Lectura de carga (KN)	9	9.24	9.06
Flujo (10-3)"	190	180	190

Fuente: Instituto Nacional de Vías, 2013b

Tabla 18. Comparativo del ensayo Marshall para mezcla convencional vs modificada

COMPARACIÓN ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13)- CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL vs MODIFICADO						
Briqueta No.	4	5	6	7	8	9
Tipo de mezcla	MDC-19- MD					
% Asfalto	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
Altura briqueta (cm)	6.5	6.45	6.51	6.16	5.52	6.02
Peso briqueta en aire seca (g)	1092.4	1025.5	1171.8	1107.8	1015.8	1062.8
Peso briqueta en aire SSS (g)	1104.9	1155.7	1174.3	1108.1	1016.4	1064
Peso briqueta en agua (g)	565.9	631.6	631.8	612.1	563.1	598.7
Lectura de carga (KN)	16.94	18.09	17.32	9	9.24	9.06
Flujo (10-3)"	140	120	130	190	180	190
	CONVENCIONAL			MODIFICADO		

Fuente: Instituto Nacional de Vías, 2013b

De acuerdo a la tabla comparativa del método Marshall, se pueden determinar dos aspectos:

- El promedio de la lectura de cargas en las briquetas con asfalto convencional fue de 17.45KN mientras que la lectura de cargas en el las briquetas con asfalto modificado es de 9.1KN dando mayores resultados el asfalto convencional.
- El promedio del flujo (10-3)" en las briquetas con asfalto convencional fue de 130 mientras que la lectura de cargas en el las briquetas con asfalto modificado es de 186 dando mayores resultados el asfalto modificado.

7. ENSAYO A LA TRACCIÓN INDIRECTA



Figura 11. Ensayo a la tracción indirecta

Fuente: Elaboración propia

Este ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, igual a la definida en el ensayo Marshall, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura

Esta configuración de carga provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical, y esta tracción es la que agota la probeta y desencadena la rotura en el plano diametral.

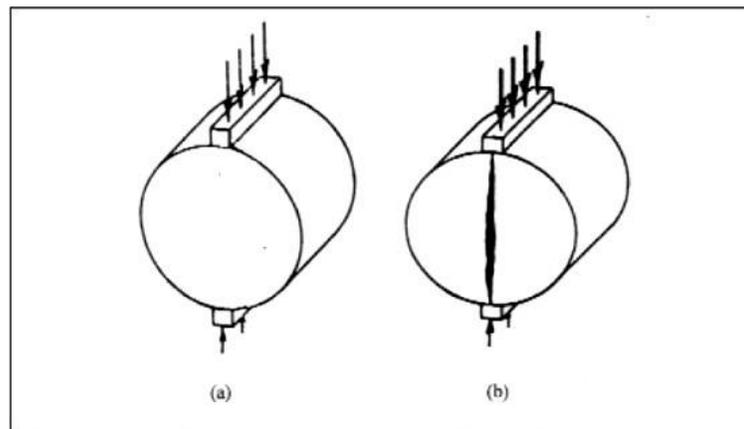


Figura 12. Método del ensayo de tracción indirecta

Fuente: Elaboración propia

La briqueta es cargada a compresión según un plano diametral vertical de la misma. Para poder cargar la probeta a compresión en un plano diametral vertical, se requiere un dispositivo de sujeción de la probeta a través del cual se materialice dicho plano de carga.

Como parte de este dispositivo, y en contacto directo con dos generatrices diametralmente opuestas de la briqueta, existen dos elementos encargados de evitar la rotura local de la probeta durante el ensayo. Se utilizan unas placas de apoyo curvo, con radio de curvatura igual al radio nominal de la probeta, de 12,7 o 25,4 mm de ancho, para que la distribución de tensiones no se altere significativamente y para que los cálculos del módulo de elasticidad y la relación de Poisson se faciliten manteniendo constante el ancho de carga, en lugar de un ancho de carga variable durante el ensayo, que ocurriría con una placa de carga plana.

Por la norma la velocidad de desplazamiento del sistema durante la carga será uniforme e igual a 50,8 mm/min, igual a la empleada por la prensa en el ensayo Marshall. Como la respuesta del material es altamente dependiente de la temperatura, la temperatura será una variable más para el ensayo.

El ensayo de tracción indirecta tiene validez para materiales de comportamiento fundamentalmente elástico y lineal. La norma indica el uso de una temperatura de 25 ± 1 °C, pero permite el uso de otras temperaturas para analizar la susceptibilidad térmica de la mezcla en estudio y sugiere que no se utilicen temperaturas superiores al punto de reblandecimiento del ligante por ser predominante el carácter viscoso de las mezclas.

Kandhal (1996) ha estudiado seis betunes de diferente procedencia, con penetraciones variables entre 42 y 80, utilizados en una mezcla de tipo densa para la construcción de un firme de prueba. Se determinaron las propiedades de los ligantes a las temperaturas usadas para conducir el ensayo de tracción indirecta sobre las probetas Marshall: 4, 15.6, 25 y 60°C.

El proyecto permitió verificar que, dentro del rango de temperaturas analizado, la resistencia a tracción mostró excelente correlación con la temperatura del ensayo y la penetración del betún, aumentando cuando la temperatura o la penetración bajaban con una tendencia recta en ejes de resistencia y penetración logarítmicos.

7.1 ENSAYO A LA TRACCIÓN INDIRECTA A 25°C (SECO)

Tabla 19. Resumen del ensayo a la tracción indirecta a 25° C en seco para mezclas bituminosas convencionales

ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA (25° C)- CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL			
Briqueta No.	7	8	9
Tipo de mezcla	MDC-19- MD		
% Asfalto	5.3	5.3	5.3
Altura briqueta (cm)	7.05	7.07	7.06
Peso briqueta en aire seca (g)	1160.4	1138.9	1159.8
Peso briqueta en aire SSS (g)	1169.5	1151.1	1169.2
Peso briqueta en agua (g)	603.6	588.3	609.4
Lectura de carga (KN)	7.37	7.75	7.8
Flujo (10-3)"			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Resumen del ensayo a la tracción indirecta a 25°C para mezclas bituminosas modificadas

ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA (25° C)- CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO			
Briqueta No.	1	2	3
Tipo de mezcla	MDC-19- MD		
% Asfalto	5.3	5.3	5.3
Altura briqueta (cm)	6.55	6.52	6.52
Peso briqueta en aire seca (g)	1161.3	1211.6	1114.2
Peso briqueta en aire SSS (g)	1162	1218.1	1195
Peso briqueta en agua (g)	636.5	686.6	667.9
Lectura de carga (KN)	5.38	5.33	5.32
Flujo (10-3)"			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Comparativo del ensayo a la tracción indirecta a 25° C para mezcla convencional vs modificada.

ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA (25° C)- CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL vs MODIFICADO						
Briqueta No.	7	8	9	1	2	3
Tipo de mezcla	MDC-19- MD					
% Asfalto	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
Altura briqueta (cm)	7.05	7.07	7.06	6.55	6.52	6.52
Peso briqueta en aire seca (g)	1160.4	1138.9	1159.8	1161.3	1211.6	1114.2
Peso briqueta en aire SSS (g)	1169.5	1151.1	1169.2	1162	1218.1	1195
Peso briqueta en agua (g)	603.6	588.3	609.4	636.5	686.6	667.9
Lectura de carga (KN)	7.37	7.75	7.8	5.38	5.33	5.32
Flujo (10-3)"						
	CONVENCIONAL			MODIFICADO		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla comparativa del método tracción indirecta a 25°C, podemos determinar dos:

- El promedio de la lectura de cargas en las briquetas con asfalto convencional fue de 7.64KN mientras que la lectura de cargas en el las briquetas con asfalto modificado es de 5.34KN dando mayores resultados el asfalto convencional.

7.2 ENSAYO A LA TRACCIÓN INDIRECTA A 60°C

Tabla 22. Resumen del ensayo a la tracción indirecta a 60°C para mezclas bituminosas convencionales

ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA (60°C)- CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL			
Briqueta No.	10	11	12
Tipo de mezcla	MDC-19- MD		
% Asfalto	5.3	5.3	5.3
Altura briqueta (cm)	7.1	7.1	7.06
Peso briqueta en aire seca (g)	1176	1176.9	1106.1
Peso briqueta en aire SSS (g)	1184.4	1185.2	1124.6
Peso briqueta en agua (g)	629.5	619.1	567.7
Lectura de carga (KN)	9.03	7.17	9.78
Flujo (10-3)"			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Resumen del ensayo a la tracción indirecta a 60°C para mezclas bituminosas modificados

RACCIÓN INDIRECTA (60°C)- CONCRETO ASFÁLTICO MO			
Briqueta No.	10	11	12
Tipo de mezcla	MDC-19- MD		
% Asfalto	5.3	5.3	5.3
Altura briqueta (cm)	6.03	6.3	6.05
Peso briqueta en aire seca (g)	1171.1	1167.4	1095.5
Peso briqueta en aire SSS (g)	1120.9	1167.2	1097.4
Peso briqueta en agua (g)	637.2	653.4	627.4
Lectura de carga (KN)	5.29	5.8	5.44
Flujo (10-3)"			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Comparativo del ensayo a la tracción indirecta a 60°C para mezcla convencional vs modificada

ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA (60°C)- CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL vs MODIFIVADO						
Briqueta No.	10	11	12	10	11	12
Tipo de mezcla	MDC-19- MD					
% Asfalto	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
Altura briqueta (cm)	7.1	7.1	7.06	6.03	6.3	6.05
Peso briqueta en aire seca (g)	1176	1176.9	1106.1	1171.1	1167.4	1095.5
Peso briqueta en aire SSS (g)	1184.4	1185.2	1124.6	1120.9	1167.2	1097.4
Peso briqueta en agua (g)	629.5	619.1	567.7	637.2	653.4	627.4
Lectura de carga (KN)	9.03	7.17	9.78	5.29	5.8	5.44
Flujo (10-3)"						
	CONVENCIONAL			MODIFICADO		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla comparativa del método tracción indirecta a 60°C, podemos determinar:

- El promedio de la lectura de cargas en las briquetas con asfalto convencional fue de 8.66KN mientras que la lectura de cargas en el las briquetas con asfalto modificado es de 5.29KN dando mayores resultados el asfalto convencional.

7.3 ENSAYO CÁNTABRO DE PERDIDA POR DESGASTE

Para este ensayo se hizo la misma elaboración de briquetas solo que con 50 golpes por cara y después se introdujo en la máquina de ensayo de los ángeles a una temperatura dada. Después de ello se pesa la muestra de briqueta, como se muestra a continuación en la figura



Figura 13. Equipo máquina de Los Ángeles para cántabro

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Resumen del ensayo cántabro de pérdida por desgaste en asfalto convencional

CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS			
ENSAYO CANTABRO DE PERDIDA POR DESGASTE			
Referencia	MDC-19- MD (Convencional)		
Muestra	1	2	3
Condición de la muestra	Seca	Seca	Seca
Descripción	300 u	300 u	300 u
Masa muestra inicial (g)	1066	1155.6	1175.5
Masa muestra final (g)	959.5	966.6	1026.2
Perdida (g)	106.5	189	149.3
% Perdida	9.99	16.36	12.70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Resumen del ensayo cántabro de perdida por desgaste en asfalto modificado

CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS			
ENSAYO CANTABRO DE PERDIDA POR DESGASTE			
Referencia	MDC-19- MD (Modificado)		
Muestra	4	5	6
Condición de la muestra	Seca	Seca	Seca
Descripción	300 u	300 u	300 u
Masa muestra inicial (g)	1183.9	1142.4	1102.1
Masa muestra final (g)	953.3	825.7	845.3
Perdida (g)	230.6	316.7	256.8
% Perdida	19.48	27.72	23.30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Comparativo del ensayo cántabro de perdida por desgaste en asfalto convencional y modificado

CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS						
ENSAYO CANTABRO DE PERDIDA POR DESGASTE						
Referencia	MDC-19- MD					
Muestra	1	2	3	4	5	6
Condición de la muestra	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca
Descripción	300 u	300 u	300 u	300 u	300 u	300 u
Masa muestra inicial (g)	1066	1155.6	1175.5	1183.9	1142.4	1102.1
Masa muestra final (g)	959.5	966.6	1026.2	953.3	825.7	845.3
Perdida (g)	106.5	189	149.3	230.6	316.7	256.8
% Perdida	9.99	16.36	12.70	19.48	27.72	23.30
	CONVENCONAL			MODIFICADO		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla comparativa del método Marshall, podemos determinar dos aspectos:

- El promedio de pérdidas en las briquetas con asfalto convencional fue de 148g mientras que la lectura de cargas en el las briquetas con asfalto modificado es de 268g dando mayores pérdidas el asfalto modificado.
- El promedio en el porcentaje de pérdidas en las briquetas con asfalto convencional fue de 13,02 mientras que la lectura de cargas en el las briquetas con asfalto modificado es de 23.5 dando mayores pérdidas el asfalto modificado.

CONCLUSIONES

La adición de aceite reciclado de cocina al concreto asfáltico al 1% tiende a desmejorar las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla, y se no presenta como una alternativa viable para la utilización de dichos aceites, generando pérdidas en las propiedades físicas y funcionales de la mezcla.

Se pretendió utilizar el porcentaje de aceite reciclado de cocina al 1% y al 2%, sin embargo, al fabricar las briquetas con asfalto modificado con aceite reciclado al 2%, nos dimos cuenta después de su compactación a 75 golpes, que dichas briquetas se desasían al desencofrarlas, se perdía todo el ligante del bitumen y había desprendimiento de agregados; por esta razón, se decidió hacer las briquetas con el 1% ya que tuvieron un buen comportamiento al elaborar las muestras.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las briquetas con el 1% de aceite reciclado de cocina y comparándolas con las briquetas convencionales, se puede concluir que este no es el contenido óptimo ya que se obtuvieron resultados deficientes con respecto a la mezcla convencional en términos de estabilidad y flujo así como una pérdida importante en la resistencia a la deformación como se puede observar en los resultados de laboratorio.

RECOMENDACIONES

Utilizar porcentajes menores al 1% de aceite reciclado de cocina y hacer nueva pruebas para determinar el comportamiento físico de la mezcla asfáltica.

Realizar nuevas pruebas con diferentes mezclas asfálticas y diferentes porcentajes de aceite reciclado siempre y cuando sean menores al 2% ya que se demostró que con dicho porcentaje se pierde en el asfalto sus propiedades ligantes.

REFERENCIAS

- AASHTO. (2003). Normas técnicas para ensayos con asfaltos. Recuperado de <http://www.aashto.org>
- Agnusdei, J. & Iosco, O. (2001). *Durabilidad de mezclas asfáltica preparadas con ligante modificados con polímeros*. Buenos Aires: Comisión de Investigaciones Científicas-Lemit.
- Cárdenas Villamizar, D. C. (2017). Evaluación de la resistencia mecánica de mezclas asfálticas elaboradas con asfalto modificado con aceites lubricantes usados. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/58037/1/30305848.2017.pdf>
- E-ASFALTO. (2000). Historia del asfalto. Recuperado de http://www.e-asfalto.com/go/?orig_asf/historia_del_asfalto.htm
- ECOPETROL. (1997). *Los asfaltos colombianos: cartilla práctica para el manejo de los asfaltos colombianos*. Popayán: Universidad del Cauca.
- ECOPETROL. (2010). Propiedades del asfalto de Barrancabermeja. Recuperado de <http://www.ecopetrol.com.co/especiales/catalogo/asfaltos.htm>
- El Espectador. (2018, 14 de mayo). Ya es posible reciclar el aceite de cocina usado en Colombia. Recuperado de <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/ya-es-posible-reciclar-el-aceite-de-cocina-usado-en-colombia-articulo-744117>
- Garcés, C., Garro, O. & Gallego, L. (1997). *Pavimentos*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Herrera O. & Caicedo L. (2004). *Estudio del comportamiento de mezclas densas en caliente con adición de PVC*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería Civil. Área de suelos.
- Instituto Nacional de Vías. (2013a). Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico): artículo 450-13. Recuperado de <ftp://ftp.ani.gov.co/Ruta%20del%20Sol%20I/Tramo%20Villetas%20%20-%20Guaduas/ENTREGA%20FINAL/disco28/ANEXO%20B%20-%20ESPECIFICACIONES/ESPECIFICACIONES%20CIVILES/G450.pdf>

- Instituto Nacional de Vías. (2013b). Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall: I.N.V. E – 748 – 07. Recuperado de <ftp://ftp.ani.gov.co/Bogota%20Villavicencio%20Sector1/4%20HIDRAULICA/Auxiliar/ANX12%20Especificaciones%20Tecnicas%20Invias/normas%20Invias/Normas/Invias/Ensayos/Norma%20INV%20E-748-07.pdf>
- Kandhal, P.S. (1996). *Effect of asphalt film thickness on short and long term aging of asphalt paving mixtures*. Transportation Research Board, Transportation Research Record, No.1535, 83-90
- Larson, T. D. (1977). *Concretos de cementos Portland y asfálticos*. 2 ed. México: Compañía Editorial continental.
- Lewandowski, L. (2004). Historical performance of polymer modified asphalt pavements: part I, *Goodyear Chemical magazine (june 23)*, 7-8.
- Ministerio de Ambiente. (2018). Resolución 0316. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/7d-res%20316%20de%202018.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía. Unidad de Planeación Minero-Energética. (2001). Transformación de los aceites usados para su utilización como energéticos en proceso de combustión. Recuperado de https://bdigital.upme.gov.co/jspui/bitstream/001/1219/2/upme_211_transformacion%20de%20aceites%20usados%202.pdf
- Montejo, A. (2001). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia 2001.
- Montoya, C. & Téllez, A. (2004). *Estudio del comportamiento de las mezclas asfálticas con adiciones de desechos plásticos*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería Civil. Área de suelos.
- Oda, S. & Fernández, J. (2001). *Viabilidad técnica de usar caucho de neumático como material de pavimentación asfáltica*. Maringa: Universidad Estatal de Maringa, Escuela de Ingeniería San Carlos.

- Reyes, F. & Reyes, O. (1998). Mejoramiento de las propiedades mecánicas de una capa de asfalto con desperdicios plásticos. En: *XI Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Reyes, F. & Reyes, O. (2002). *Efecto de los polímeros en mezclas asfálticas*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Reyes, F. & Reyes, O. (2003). *Empleo de desperdicio plástico para el diseño una mezcla asfáltica drenante*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Reyes, F. (2002). *Mejoramiento de las mezclas asfálticas a partir de la implementación de caucho como material granular fino*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Salazar Delgado, J. (2011). Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.01.22:047). *Métodos y Materiales* 1(1), 25-38. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/8392/7926>
- Sanabria Grajales, L. E. (2016). Usos del aceite de palma y sus derivados oleoquímicos en la industria de los pavimentos. *Revista Palmas*, 37, 163-172. Recuperado de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11932>
- Wikipedia. (2019). Aceites. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Aceite>

Anexo 1. Diseño de mezcla para elaboración de mezcla asfáltica modificada con residuos de aceite de cocina (agregados gruesos y finos)

DISEÑO DE MEZCLA PARA ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON RESIDUOS DE ACEITE DE COCINA
 $f^c = 2000 \text{ P.S.I.} - 140 \text{ kgf/cm}^2$



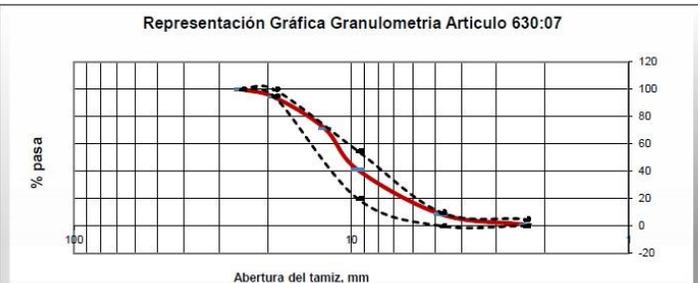
EMPRESA: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA	CALCULO: WILSON JUEZ
DIRECCION: DIAGONAL 46A No 15-10	CANTERA: CEMEX - AV BOYACA
OBRA: TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE	FECHA DE DISEÑO: 11/05/2018
INGENIERO(A): MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS	INFORME DCL N°: 0522-18
MATERIAL: ARENA DE RIO GRAVA 3/4"	
LOCALIZACIÓN: BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA	

AGREGADO GRUESO

1. GRANULOMETRIA		
TAMIZ	% PASA ENSAYO	% PASA ARTICULO 630 INNVIAS
1"	100,00	100
3/4"	94,33	95-100
1/2"	71,50	40-75
3/8"	41,24	20-55
No 4	8,58	0-10
No 8	0,88	0-5
FONDO	0,15	

1. MODULO DE FINURA
2. MASA UNITARIA SUELTA
3. MASA UNITARIA COMPACTADA
4. DENSIDAD APARENTE SECA
5. % DE ABSORCION
6. HUMEDAD NATURAL
7. FORMA

M.F.	N/A
M.U.S	1394,00 kg/m ³
M.U.C	1540,33 kg/m ³
D.A.	2,608 kg/m ³
% ABS.	1,13 % h
% W	3,65 %
FRACTURADA	

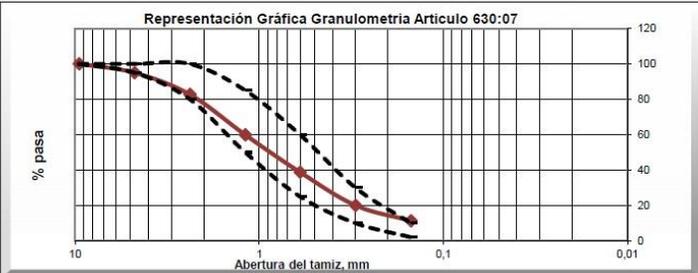


AGREGADO FINO

1. GRANULOMETRIA		
TAMIZ	% PASA ENSAYO	% PASA ARTICULO 630 INNVIAS
3/8"	100,00	100
No 4	95,05	95-100
No 8	82,71	80-100
No 16	59,91	50-85
No 30	38,80	25-60
No 50	20,03	10-30
No 100	11,28	2-10
FONDO	0,18	

1. MODULO FINURA
2. MASA UNITARIA SUELTA
3. MASA UNITARIA COMPACTADA
4. DENSIDAD APARENTE SECA
5. % DE ABSORCION
6. HUMEDAD NATURAL
7. FORMA

M.F.	3,10
M.U.S	1560,00 kg/m ³
M.U.C	1694,67 kg/m ³
D.A.	2,581 kg/m ³
% ABS.	3,45 % h
% W	19,76 %
FINA	



Anexo 2. Diseño de mezcla para elaboración de mezcla asfáltica modificada con residuos de aceite de cocina: gradación ideal y cálculo de porcentaje de los agregados en el diseño

DISEÑO DE MEZCLA PARA ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON RESIDUOS DE ACEITE DE COCINA

$f'c = 2000 \text{ P.S.I.} - 140 \text{ kgf/cm}^2$



9

CEMENTO

1. CLASE DE CEMENTO	CEMEX CONVENCIONAL	4. RELACION AGUA CEMENTO	0,51
2. DENSIDAD APARENTE	3,03	5. RESISTENCIA kgf/cm^2	140
3. SLUMP	$3" \pm 1"$		

GRADACION IDEAL

TAMIZ		TAMAÑO MAXIMO							
mm	pulg.	75,0	63,0	50,0	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5
		3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
75,00	3"	100,0	100,0	100	100	100	100	100	100
63,00	2 1/2"	100,0	100,0	100	100	100	100	100	100
50,00	2"	83,3	83,3	100	100	100	100	100	100
37,50	1 1/2"	73,2	73,2	87,9	100	100	100	100	100
25,00	1"	61,0	61,0	73,2	83,3	100	100	100	100
19,00	3/4"	53,6	53,6	64,3	73,2	87,9	100	100	100
12,50	1/2"	44,7	44,7	53,6	61	73,2	83,3	100	100
9,50	3/8"	39,2	39,2	47,1	53,6	64,3	73,2	87,9	100
4,75	4	28,7	28,7	34,5	39,2	47,1	53,6	64,3	73,2
2,36	8	21,0	21,0	25,2	28,7	34,5	39,3	47,1	53,6
1,18	16	15,4	15,4	18,5	21	25,2	28,7	34,5	39,3
0,60	30	11,3	11,3	13,5	15,4	18,5	21	25,2	28,7
0,30	50	8,2	8,2	9,9	11,3	13,5	15,4	18,5	21
0,15	100	6	6	7,3	8,3	9,9	11,3	13,5	14,4

CALCULO DE PORCENTAJE DE LOS AGREGADOS EN EL DISEÑO

TAMIZ		% PASA ARENA	% PASA GRAVA	GRADACION COMBINADA AGREGADOS	GRADACION IDEAL TAMAÑO MAXIMO
NORMAL	ALTERNO				
75	3"				
62,5	2 1/2"				
50	2"				
37,5	1 1/2"				
25	1"		100,00	100,00	100
19	3/4"		94,33	96,88	87,9
12,5	1/2"		71,50	84,33	73,2
9,5	3/8"	100,00	41,24	67,68	64,3
4,75	Nº 4	95,05	8,58	47,49	47,1
2,36	Nº 8	82,71	0,88	37,70	34,5
1,18	Nº 16	59,91	0,88	27,44	25,2
0,6	Nº 30	38,80	0,88	17,94	18,5
0,3	Nº 50	20,03	0,00	9,01	13,5
0,15	Nº 100	11,28	0,00	5,08	9,9
% AGREGADOS			0,45	0,55	
% ARENA PARA DISEÑO			0,45		
% GRAVA PARA DISEÑO			0,55		

Anexo 3. Diseño de mezcla para elaboración de mezcla asfáltica modificada con residuos de aceite de cocina. Gráfica granulométrica de gradación combinada y gradación ideal

DISEÑO DE MEZCLA PARA ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON RESIDUOS DE ACEITE DE COCINA
 $f'c = 2000 \text{ P.S.I.} - 140 \text{ kgf/cm}^2$



GRAFICA GRANULOMETRICA DE GRADACION COMBINADA Y GRADACION IDEAL

CURVA DE GRADACION INVIAS ARTICULO 630:13



DOSIFICACION FINAL DISEÑO MEZCLA DE CONCRETO - 2000 PSI

% AGREGADOS		CANTIDADES EN VOLUMEN POR m³		CAJONES DE 0,30mX0,30mX0,30m POR BULTO DE CEMENTO	
% GRAVA	0,55	CEMENTO (BULTO)	5,4	CEMENTO kg	50
% ARENA	0,45	ARENA	0,579	ARENA kg	4,0
CEMENTO kg	270	GRAVA	0,792	GRAVA kg	5,4
AGUA LITROS	137,7	AGUA LITROS	137,7	AGUA-CAJON	0,94

VOLUMEN ABSOLUTO EN LITROS POR m³		CANTIDADES A MEZCLAR POR BULTO CEMENTO		CANTIDADES EN PESO kg POR m³ CONCRETO	
CEMENTO	89,1	CEMENTO kg	50	CEMENTO kg	270,0
AGUA-CEMENTO	226,8	ARENA kg	142,2	ARENA kg	903,1
AGREGADOS	773,2	GRAVA kg	173,8	GRAVA kg	1103,8
GRAVA	423,3	AGUA LITROS	25,5	AGUA LITROS	137,7
ARENA	349,9				

BALDE DE 9 LITROS POR BULTO DE CEMENTO	
CEMENTO kg	50
ARENA	12
GRAVA	16
AGUA -BALDE	2,83

OBSERVACIONES: _____


WILSON JUEZ MORA
 Gerente Tecnico - Tnlgo. Construcciones Civiles
 Reviso y aprobo


MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ
 Jefe de laboratorio
 Elaboro

Anexo 4. Diseño de mezcla para elaboración de mezcla asfáltica modificada con residuos de aceite de cocina. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. Norma: INV E - 123-2013

DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS NORMA: INV E - 123/124:2013 HUMEDAD DE LA MUESTRA - INV E 216:2013 DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA - INV E 125:2013/126:2013																																																																																																																																																																																																																																																																																														
EMPRESA: <u>UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA</u> DIRECCION: <u>DIAGONAL 46A No 15-10</u> OBRA: <u>TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE</u> INGENIERO(A): <u>MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS</u> MATERIAL: <u>GRAVA 3/4"</u> CANTERA: <u>CEMEX - AV BOYACA</u> LOCALIZACIÓN: <u>BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA</u>	SONDEO N°: <u>N/A</u> APIQUE N°: <u>N/A</u> PROFUNDIDAD: <u>N/A</u> FECHA DE TOMA: <u>30/10/2018</u> FECHA DE ENSAYO: <u>01/11/2018</u> INFORME DCL N°: <u>0522-9</u>																																																																																																																																																																																																																																																																																													
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="7" style="text-align: center;">DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS NORMA: INV E -123-2013</th> </tr> <tr> <td colspan="2">Masa inicial total seca (g):</td> <td colspan="5" style="text-align: right;">11000,1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Masa inicial L-T 200 masa costante (g):</td> <td colspan="5" style="text-align: right;">10908,1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Masa final del ensayo: L-T 200 (g):</td> <td colspan="5" style="text-align: right;">10903,5</td> </tr> <tr> <th rowspan="2">No.</th> <th rowspan="2">Tamiz mm</th> <th colspan="3">GRANULOMETRIA</th> <th rowspan="2">Limite inferior</th> <th rowspan="2">Limite Superior</th> </tr> <tr> <th>Masa Retenida (g)</th> <th>% Retenido</th> <th>% Acumulado</th> </tr> <tr><td>3"</td><td>75,00</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td></td></tr> <tr><td>2 1/2"</td><td>63,00</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td></td></tr> <tr><td>2"</td><td>50,00</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td></td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>37,50</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100%</td></tr> <tr><td>1"</td><td>25,00</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100%</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19,00</td><td>623,7</td><td>5,7%</td><td>5,7%</td><td>94,3%</td><td>95%</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12,50</td><td>2510,8</td><td>22,8%</td><td>28,5%</td><td>71,5%</td><td></td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9,50</td><td>3329,4</td><td>30,3%</td><td>58,8%</td><td>41,2%</td><td>20%</td></tr> <tr><td>1/4"</td><td>6,30</td><td>-</td><td>-</td><td>58,8%</td><td>41,2%</td><td></td></tr> <tr><td>N° 4</td><td>4,75</td><td>3592,1</td><td>32,7%</td><td>91,4%</td><td>8,6%</td><td>0%</td></tr> <tr><td>N° 8</td><td>2,36</td><td>847,3</td><td>7,7%</td><td>99,1%</td><td>0,9%</td><td>0%</td></tr> <tr><td>N° 10</td><td>2,00</td><td>-</td><td>-</td><td>99,1%</td><td>0,9%</td><td></td></tr> <tr><td>N° 12</td><td>1,70</td><td>-</td><td>-</td><td>99,1%</td><td>0,9%</td><td></td></tr> <tr><td>N° 16</td><td>1,18</td><td>-</td><td>-</td><td>99,1%</td><td>0,9%</td><td>0%</td></tr> <tr><td>N° 30</td><td>0,600</td><td>-</td><td>-</td><td>99,1%</td><td>0,9%</td><td>0%</td></tr> <tr><td>N° 40</td><td>0,425</td><td>-</td><td>-</td><td>99,1%</td><td>0,9%</td><td></td></tr> <tr><td>N° 50</td><td>0,300</td><td>-</td><td>-</td><td>99,1%</td><td>0,9%</td><td></td></tr> <tr><td>N° 60</td><td>0,180</td><td>-</td><td>-</td><td>99,1%</td><td>0,9%</td><td></td></tr> <tr><td>N° 100</td><td>0,150</td><td>-</td><td>-</td><td>99,1%</td><td>0,9%</td><td></td></tr> <tr><td>N° 200</td><td>0,075</td><td>-</td><td>-</td><td>99,1%</td><td>0,9%</td><td></td></tr> <tr><td>FONDO</td><td>-</td><td>0,15</td><td>0,0%</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>10.903,5</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS NORMA: INV E -123-2013							Masa inicial total seca (g):		11000,1					Masa inicial L-T 200 masa costante (g):		10908,1					Masa final del ensayo: L-T 200 (g):		10903,5					No.	Tamiz mm	GRANULOMETRIA			Limite inferior	Limite Superior	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	3"	75,00	-	-	0,0%	100,0%		2 1/2"	63,00	-	-	0,0%	100,0%		2"	50,00	-	-	0,0%	100,0%		1 1/2"	37,50	-	-	0,0%	100,0%	100%	1"	25,00	-	-	0,0%	100,0%	100%	3/4"	19,00	623,7	5,7%	5,7%	94,3%	95%	1/2"	12,50	2510,8	22,8%	28,5%	71,5%		3/8"	9,50	3329,4	30,3%	58,8%	41,2%	20%	1/4"	6,30	-	-	58,8%	41,2%		N° 4	4,75	3592,1	32,7%	91,4%	8,6%	0%	N° 8	2,36	847,3	7,7%	99,1%	0,9%	0%	N° 10	2,00	-	-	99,1%	0,9%		N° 12	1,70	-	-	99,1%	0,9%		N° 16	1,18	-	-	99,1%	0,9%	0%	N° 30	0,600	-	-	99,1%	0,9%	0%	N° 40	0,425	-	-	99,1%	0,9%		N° 50	0,300	-	-	99,1%	0,9%		N° 60	0,180	-	-	99,1%	0,9%		N° 100	0,150	-	-	99,1%	0,9%		N° 200	0,075	-	-	99,1%	0,9%		FONDO	-	0,15	0,0%	-	-	-			10.903,5					<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">W% DE LA MUESTRA</th> </tr> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">INV E 216:2013</th> </tr> <tr> <td>P₁ = Muestra humeda+ Recipiente (g)</td> <td style="text-align: right;">500,2</td> </tr> <tr> <td>P₂ = Muestra Seca + Recipiente (g)</td> <td style="text-align: right;">486,6</td> </tr> <tr> <td>P₃ = Masa Del Recipiente (g)</td> <td style="text-align: right;">113,6</td> </tr> <tr> <td>W% = PORCENTAJE DE HUMEDAD</td> <td style="text-align: right;">3,65%</td> </tr> </table> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">LIMITES DE CONSISTENCIA</th> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO-LL</th> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">INV E 125:2013</th> </tr> <tr> <td>Prueba N°</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>N° de Golpes</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P₁</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P₂</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P₃</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P_w</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P_s</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>W%</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </table> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">LÍMITE PLÁSTICO - LP</th> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">INV E 126:2013</th> </tr> <tr> <td>Prueba N°</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>P₁</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P₂</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P₃</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P_w</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P_s</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>W%</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </table>	W% DE LA MUESTRA		INV E 216:2013		P ₁ = Muestra humeda+ Recipiente (g)	500,2	P ₂ = Muestra Seca + Recipiente (g)	486,6	P ₃ = Masa Del Recipiente (g)	113,6	W% = PORCENTAJE DE HUMEDAD	3,65%	LIMITES DE CONSISTENCIA				LÍMITE LÍQUIDO-LL				INV E 125:2013				Prueba N°	1	2	3	N° de Golpes	-	-	-	P ₁	-	-	-	P ₂	-	-	-	P ₃	-	-	-	P _w	-	-	-	P _s	-	-	-	W%	-	-	-	LÍMITE PLÁSTICO - LP				INV E 126:2013				Prueba N°	1	2	3	P ₁	-	-	-	P ₂	-	-	-	P ₃	-	-	-	P _w	-	-	-	P _s	-	-	-	W%	-	-	-
DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS NORMA: INV E -123-2013																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Masa inicial total seca (g):		11000,1																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Masa inicial L-T 200 masa costante (g):		10908,1																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Masa final del ensayo: L-T 200 (g):		10903,5																																																																																																																																																																																																																																																																																												
No.	Tamiz mm	GRANULOMETRIA			Limite inferior	Limite Superior																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		Masa Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3"	75,00	-	-	0,0%	100,0%																																																																																																																																																																																																																																																																																									
2 1/2"	63,00	-	-	0,0%	100,0%																																																																																																																																																																																																																																																																																									
2"	50,00	-	-	0,0%	100,0%																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1 1/2"	37,50	-	-	0,0%	100,0%	100%																																																																																																																																																																																																																																																																																								
1"	25,00	-	-	0,0%	100,0%	100%																																																																																																																																																																																																																																																																																								
3/4"	19,00	623,7	5,7%	5,7%	94,3%	95%																																																																																																																																																																																																																																																																																								
1/2"	12,50	2510,8	22,8%	28,5%	71,5%																																																																																																																																																																																																																																																																																									
3/8"	9,50	3329,4	30,3%	58,8%	41,2%	20%																																																																																																																																																																																																																																																																																								
1/4"	6,30	-	-	58,8%	41,2%																																																																																																																																																																																																																																																																																									
N° 4	4,75	3592,1	32,7%	91,4%	8,6%	0%																																																																																																																																																																																																																																																																																								
N° 8	2,36	847,3	7,7%	99,1%	0,9%	0%																																																																																																																																																																																																																																																																																								
N° 10	2,00	-	-	99,1%	0,9%																																																																																																																																																																																																																																																																																									
N° 12	1,70	-	-	99,1%	0,9%																																																																																																																																																																																																																																																																																									
N° 16	1,18	-	-	99,1%	0,9%	0%																																																																																																																																																																																																																																																																																								
N° 30	0,600	-	-	99,1%	0,9%	0%																																																																																																																																																																																																																																																																																								
N° 40	0,425	-	-	99,1%	0,9%																																																																																																																																																																																																																																																																																									
N° 50	0,300	-	-	99,1%	0,9%																																																																																																																																																																																																																																																																																									
N° 60	0,180	-	-	99,1%	0,9%																																																																																																																																																																																																																																																																																									
N° 100	0,150	-	-	99,1%	0,9%																																																																																																																																																																																																																																																																																									
N° 200	0,075	-	-	99,1%	0,9%																																																																																																																																																																																																																																																																																									
FONDO	-	0,15	0,0%	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		10.903,5																																																																																																																																																																																																																																																																																												
W% DE LA MUESTRA																																																																																																																																																																																																																																																																																														
INV E 216:2013																																																																																																																																																																																																																																																																																														
P ₁ = Muestra humeda+ Recipiente (g)	500,2																																																																																																																																																																																																																																																																																													
P ₂ = Muestra Seca + Recipiente (g)	486,6																																																																																																																																																																																																																																																																																													
P ₃ = Masa Del Recipiente (g)	113,6																																																																																																																																																																																																																																																																																													
W% = PORCENTAJE DE HUMEDAD	3,65%																																																																																																																																																																																																																																																																																													
LIMITES DE CONSISTENCIA																																																																																																																																																																																																																																																																																														
LÍMITE LÍQUIDO-LL																																																																																																																																																																																																																																																																																														
INV E 125:2013																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Prueba N°	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																											
N° de Golpes	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
P ₁	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
P ₂	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
P ₃	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
P _w	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
P _s	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
W%	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
LÍMITE PLÁSTICO - LP																																																																																																																																																																																																																																																																																														
INV E 126:2013																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Prueba N°	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																											
P ₁	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
P ₂	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
P ₃	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
P _w	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
P _s	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
W%	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
L-T 10: Lavado sobre tamiz N° 10 L-T 200: Lavado sobre tamiz N° 200																																																																																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">GRAFICA DE GRADACIÓN DEL MATERIAL</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="text-align: center;"> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="text-align: center;"> P₁ = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g P₂ = Masa Recipiente + Suelo Seco, en g P₃ = Masa Recipiente, en g P_w = Masa del Agua, en g P_s = Masa Suelo Seco, en g W = Contenido de agua, en % </td> </tr> </table> </td> </tr> </table>		GRAFICA DE GRADACIÓN DEL MATERIAL			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="text-align: center;"> P₁ = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g P₂ = Masa Recipiente + Suelo Seco, en g P₃ = Masa Recipiente, en g P_w = Masa del Agua, en g P_s = Masa Suelo Seco, en g W = Contenido de agua, en % </td> </tr> </table>	LÍMITE LÍQUIDO			P ₁ = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g P ₂ = Masa Recipiente + Suelo Seco, en g P ₃ = Masa Recipiente, en g P _w = Masa del Agua, en g P _s = Masa Suelo Seco, en g W = Contenido de agua, en %																																																																																																																																																																																																																																																																																					
GRAFICA DE GRADACIÓN DEL MATERIAL																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="text-align: center;"> P₁ = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g P₂ = Masa Recipiente + Suelo Seco, en g P₃ = Masa Recipiente, en g P_w = Masa del Agua, en g P_s = Masa Suelo Seco, en g W = Contenido de agua, en % </td> </tr> </table>	LÍMITE LÍQUIDO			P ₁ = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g P ₂ = Masa Recipiente + Suelo Seco, en g P ₃ = Masa Recipiente, en g P _w = Masa del Agua, en g P _s = Masa Suelo Seco, en g W = Contenido de agua, en %																																																																																																																																																																																																																																																																																									
LÍMITE LÍQUIDO																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	P ₁ = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g P ₂ = Masa Recipiente + Suelo Seco, en g P ₃ = Masa Recipiente, en g P _w = Masa del Agua, en g P _s = Masa Suelo Seco, en g W = Contenido de agua, en %																																																																																																																																																																																																																																																																																													
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">RESULTADOS</th> </tr> <tr> <td>Limite Líquido</td> <td style="text-align: center;">N.L.L.</td> <td>Tamaño maximo nominal (pulg)</td> <td style="text-align: center;">1"</td> </tr> <tr> <td>Limite Plástico</td> <td style="text-align: center;">N.L.P.</td> <td>Tamaño nominal (pulg)</td> <td style="text-align: center;">3/4"</td> </tr> <tr> <td>Índice Plástico</td> <td style="text-align: center;">N.P.</td> <td>U.S.C</td> <td style="text-align: center;">G.W.</td> </tr> <tr> <td>Gravas</td> <td style="text-align: center;">91%</td> <td>Modulo de finura</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Arenas</td> <td style="text-align: center;">8%</td> <td>Porcentaje de perdida en el ensayo</td> <td style="text-align: center;">0,04</td> </tr> <tr> <td>Pasa tamiz N° 200</td> <td style="text-align: center;">1%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: right;">PAGINA 1 DE 7</td> </tr> </table>		RESULTADOS				Limite Líquido	N.L.L.	Tamaño maximo nominal (pulg)	1"	Limite Plástico	N.L.P.	Tamaño nominal (pulg)	3/4"	Índice Plástico	N.P.	U.S.C	G.W.	Gravas	91%	Modulo de finura	-	Arenas	8%	Porcentaje de perdida en el ensayo	0,04	Pasa tamiz N° 200	1%			PAGINA 1 DE 7																																																																																																																																																																																																																																																																
RESULTADOS																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Limite Líquido	N.L.L.	Tamaño maximo nominal (pulg)	1"																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Limite Plástico	N.L.P.	Tamaño nominal (pulg)	3/4"																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Índice Plástico	N.P.	U.S.C	G.W.																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Gravas	91%	Modulo de finura	-																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Arenas	8%	Porcentaje de perdida en el ensayo	0,04																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Pasa tamiz N° 200	1%																																																																																																																																																																																																																																																																																													
PAGINA 1 DE 7																																																																																																																																																																																																																																																																																														
 WILSON JUEZ MORA Gerente Técnico - Trigo. Construcciones Civiles Reviso y aprobo	 MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ Jefe de laboratorio Elabora																																																																																																																																																																																																																																																																																													

Anexo 5. Informe de ensayos densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso. Norma INV E - 223:2013

INFORME DE ENSAYOS DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO NORMA INV E - 223:2013		 INGENIERÍA S.A.S. DISEÑO DE VÍAS, CONSTRUCCIÓN Y LABORATORIO CIVIL	
EMPRESA:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA	SONDEO N°:	N/A
DIRECCION:	DIAGONAL 46A No 15-10	APIQUE N°:	N/A
OBRA:	TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE	PROFUNDIDAD:	N/A
INGENIERO(A):	MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS	FECHA DE TOMA:	30/10/2018
MATERIAL:	GRAVA 3/4"	FECHA DE ENSAYO:	01/11/2018
CANTERA:	CEMEX - AV BOYACA	INFORME DCL N°:	0522-9
LOCALIZACIÓN:	BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA		

DENSIDAD APARENTE BULK, BULK SSS, NOMINAL Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
DATOS DEL ENSAYO	PUNTO No. 1	PUNTO No. 2	PROMEDIO
B=Masa en el aire del material saturado superficialmente seco SSS (g)	4600,2	4500,1	
C=Masa aparente de la muestra saturada en agua (g)	2861,5	2796,7	
A=Masa en el aire del material secado al horno	4547,9	4450,3	
Ds bulk DENSIDAD APARENTE - BULK (g/cm ³) = (0,9975*A)/(B-C)	2,609	2,606	2,608
Ds sss DENSIDAD APARENTE SSS (g/cm ³) = (0,9975*B)/(B-C)	2,639	2,635	2,637
Ds nominal DENSIDAD NOMINAL (g/cm ³) = (0,9975*A)/(A-C)	2,690	2,685	2,687
ABSORCION (%) = ((B-A)/A)*100	1,15	1,12	1,13

PAGINA 2 DE 7

OBSERVACIONES: La norma invias articulo 6 - tabla 630-3 exige maximo el 5% de absorción


 WILSON JUEZ MORA
 Gerente Tecnico - Tnlgo. Construcciones Civiles
 Reviso y aprobo


 MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ
 Jefe de laboratorio
 Elabora

Anexo 6. Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños mayores de 19 mm (3/4") y tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2") por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.

Norma INV E 218-219:2013

INFORME DE ENSAYOS									
RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MAYORES DE 19 mm (3/4") Y TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR ABRASION E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES									
NORMA INV E 218-219:2013									
EMPRESA:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA					SONDEO N° :	N/A		
DIRECCION:	DIAGONAL 46A No 15-10					APIQUE N° :	N/A		
OBRA:	TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE					PROFUNDIDAD :	N/A		
INGENIERO(A) :	MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS					FECHA DE TOMA:	30/10/2018		
MATERIAL:	GRAVA 3/4"					FECHA DE ENSAYO:	01/11/2018		
CANTERA:	CEMEX - AV BOYACA					INFORME DCL N°:	0522-9		
LOCALIZACIÓN :	BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA								

CLASE DE GRADACION USADA	A
NUMERO DE ESFERAS	12
NUMERO DE REVOLUCIONES	500
MASA SECA ANTES DEL ENSAYO (g)	5000,3
MASA SECA DESPUES DEL ENSAYO (g)	3859,7
PERDIDA DE MATERIAL	1140,6
PORCENTAJE DE DESGASTE	22,81

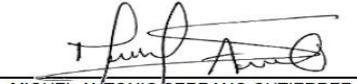
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	MASA DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYO (G)						
		GRANULOMETRIAS						
(alt.)	(alt.)	A	B	C	D	1	2	3
2 1/2"	2"					2500±50		
2"	1 1/2"					2500±50	5000±50	
1 1/2"	1"					5000±50	5000±25	5000±25
1"	3/4"	1250±25						5000±25
3/4"	1/2"	1250±25						
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10					
3/8"	1/4"	1250±10	2500±10	2500±10				
1/4"	No. 4			2500±10				
No. 4	No. 8				5000±10			
TOTALES		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
NUMERO DE REVOLUCIONES		500	500	500	500	1000	1000	1000
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12

PAGINA 3 DE 7

OBSERVACIONES: La norma invias articulo 6 - tabla 630-3 exige maximo el 40% de desgaste



WILSON JUEZ MORA
Gerente Técnico - Trilgo. Construcciones Civiles
Revisó y aprobo



MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ
Jefe de laboratorio
Elaboro

Anexo 7. Informe de ensayos índices de alargamiento y de aplanamiento en los agregados.
Norma INV E 230:2013

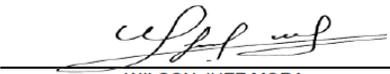
INFORME DE ENSAYOS ÍNDICES DE ALARGAMIENTO Y DE APLANAMIENTO EN LOS AGREGADOS NORMA INV E 230:2013						 DISEÑO DE VÍAS, CONSTRUCCIÓN Y LABORATORIO CIVIL
EMPRESA:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA			SONDEO N°:	N/A	
DIRECCION:	DIAGONAL 46A No 15-10			APIQUE N°:	N/A	
OBRA:	TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE			PROFUNDIDAD:	N/A	
INGENIERO(A):	MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS			FECHA DE TOMA:	30/10/2018	
MATERIAL:	GRAVA 3/4"			FECHA DE ENSAYO:	01/11/2018	
CANTERA:	CEMEX - AV BOYACA			INFORME DCL N°:	0522-9	
LOCALIZACIÓN:	BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA					

INDICE DE APLANAMIENTO					
TAMAÑO DEL AGREGADO (TAMIZ)		% RETENIDO GRADACION INICIAL	MASA INICIAL DE CADA FRACCION	MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL CALIBRADOR DE ALARGAMIENTO	INDICE DE APLANAMIENTO POR FRACCION
PASA	RETENIDO				
2 1/2"	2"	-	-	-	-
2"	1 1/2"	-	-	-	-
1 1/2"	1"	0	-	-	-
1"	3/4"	5,67%	623,7	76,0	12,2%
3/4"	1/2"	22,83%	2510,8	311,3	12,4%
1/2"	3/8"	30,27%	3329,4	449,5	13,5%
3/8"	Nº 4	32,66%	3592,1	495,7	13,8%
		TOTALES	10056	1332,5	
PORCENTAJE INDICE APLANAMIENTO TOTAL					13

OBSERVACIÓN: La norma invias articulo 6 - tabla 630-3 exige maximo el 25% particulas aplanadas

INDICE DE ALARGAMIENTO					
TAMAÑO DEL AGREGADO (TAMIZ)		% RETENIDO GRADACION INICIAL	MASA INICIAL DE CADA FRACCION	MASA DE LAS PARTICULAS QUE PASAN EL CALIBRADOR DE ALARGAMIENTO	INDICE DE APLANAMIENTO POR FRACCION
PASA	RETENIDO				
2 1/2"	2"	-	-	-	-
2"	1 1/2"	-	-	-	-
1 1/2"	1"	-	-	-	-
1"	3/4"	5,67%	623,7	94,2	15,1%
3/4"	1/2"	22,83%	2510,8	369,1	14,7%
1/2"	3/8"	30,27%	3329,4	512,7	15,4%
3/8"	1/4"	32,66%	3592,1	560,4	15,6%
		TOTALES	10056,0	1536,4	
PORCENTAJE INDICE APLANAMIENTO TOTAL					15

OBSERVACIÓN: La norma invias articulo 6 - tabla 630-3 exige maximo el 25% de alargamiento

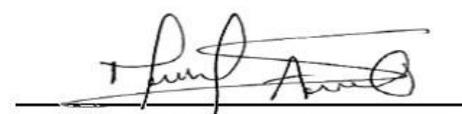


WILSON JUEZ MORA
Gerente Tecnico - Tnlgo. Construcciones Civiles
Reviso y aprobo



MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ
Jefe de laboratorio
Elaboro

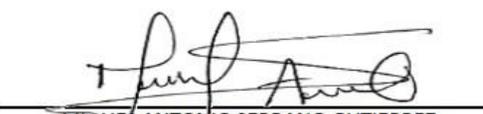
Anexo 8. Informe de ensayos porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso. Norma INV E 227:2013

INFORME DE ENSAYOS PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN UN AGREGADO GRUESO NORMA INV E 227:2013						
EMPRESA:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA			SONDEO N°:	N/A	
DIRECCION:	DIAGONAL 46A No 15-10			APIQUE N°:	N/A	
OBRA:	TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE			PROFUNDIDAD:	N/A	
INGENIERO(A):	MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS			FECHA DE TOMA:	30/10/2018	
MATERIAL:	GRAVA 3/4"			FECHA DE ENSAYO:	01/11/2018	
CANTERA:	CEMEX - AV BOYACA			INFORME DCL N°:	0522-9	
LOCALIZACIÓN:	BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA					
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		% RETENIDO GRADACION INICIAL	MASA INICIAL DE CADA FRACCION	MASA DE LAS PARTICULAS CON CARAS FRACTURADAS	% CARAS FRACTURADAS	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA	RETENIDO					
1"	3/4"	-	623,7	531,5	85,21%	531,5
3/4"	1/2"	22,83	2510,8	2313,2	92,13%	2313,2
1/2"	3/8"	30,27	3329,4	2987,8	89,74%	2987,8
3/8"	Nº 4	32,66	3592,1	3434,4	95,61%	3434,4
TOTALES			10056	9266,9	92,15%	9266,9
TOTAL PORCENTAJE CARAS FRACTURADAS						92
						PAGINA 5 DE 7
OBSERVACIONES: _____						
 WILSON JUEZ MORA Gerente Tecnico - Tnlgo. Construcciones Civiles Reviso y aprobo			 MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ Jefe de laboratorio Elabora			

Anexo 9. Informe de ensayos solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio. INV E - 220: 2013

INFORME DE ENSAYOS										
SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO										
INV E - 220: 2013										
EMPRESA:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA				SONDEO N°:	N/A				
DIRECCION:	DIAGONAL 46A No 15-10				APIQUE N°:	N/A				
OBRA:	TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE				PROFUNDIDAD:	N/A				
INGENIERO(A):	MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS				FECHA DE TOMA:	30/10/2018				
MATERIAL:	GRAVA 3/4"				FECHA DE ENSAYO:	01/11/2018				
CANTERA:	CEMEX - AV BOYACA				INFORME DCL N°:	0522-9				
LOCALIZACIÓN:	BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA									
AGREGADO GRUESO										
FRACCIÓN		% RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL	PORCENTAJE RETENIDO EN LA FRACCIÓN (%)	MASA DE LA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO (g)	MASA RETENIDA DESPUES DEL ENSAYO (g)	PORCENTAJE QUE PASA DESPUÉS DEL ENSAYO (%)	PORCENTAJE DE PÉRDIDA EN PESO (%)			
PASA	RETENIDO									
2 1/2"	2"		-	-	-	-	-			
2"	1 1/2"									
1 1/2"	1"	0,0	6,2	1515,2	1319,8	12,90	0,8			
1"	3/4"	5,7								
3/4"	1/2"	22,8	58,1	1005,6	976,2	2,93	1,7			
1/2"	3/8"	30,3								
3/8"	Nº 4	32,7	35,7	300,1	287,5	4,20	1,5			
TOTALES		91,4	100	PÉRDIDA DE AGREGADOS GRUESOS (%) =			4,0			
ANÁLISIS CUALITATIVO										
FRACCIÓN		NÚMERO DE PARTICULAS ANTES DEL ENSAYO	PARTÍCULAS AFECTADAS DESPUÉS DEL ENSAYO							
PASA	RETENIDO		DESINTEGRACION		ROTURA		AGRIETAMIENTO		EXFOLIACIÓN	
			Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
2 1/2"	1 1/2"									
1 1/2"	3/4"	200	0	0	1	1	1	1	1	1
AGREGADO FINO										
FRACCIÓN		% GRADACIÓN ORIGINAL	PORCENTAJE RETENIDO EN LA FRACCIÓN (%)	MASA DE LA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO (g)	MASA RETENIDA DESPUES DEL ENSAYO (g)	PORCENTAJE PASA DESPUÉS DEL ENSAYO (%)	PORCENTAJE DE PÉRDIDA EN PESO (%)			
PASA	RETENIDO									
3/8"	Nº 4	-	-	-	-	-	-			
Nº 4	Nº 8	-	-	-	-	-	-			
Nº 8	Nº 16	-	-	-	-	-	-			
Nº 16	Nº 30	-	-	-	-	-	-			
Nº 30	Nº 50	-	-	-	-	-	-			
Nº 50	Nº 100	-	-	-	-	-	-			
< Nº 100		-	-	-	-	-	-			
TOTALES			0	PÉRDIDA DE AGREGADOS FINOS (%) =			0			
							PAGINA 6 DE 7			
PÉRDIDA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (%)					4					
OBSERVACIONES: PARA EL DESARROLLO DEL ENSAYO SE UTILIZO SULFATO DE SODIO										
La norma invias articulo 6 - tabla 630-3 exige maximo el 12% de Solidez										
 WILSON JUEZ MORA Gerente Tecnico - Tnlgo. Construcciones Civiles Reviso y aprobo				 MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ Jefe de laboratorio Elaboro						

Anexo 10. Informe de ensayos determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en lo agregados. Norma INV E - 211:2013

INFORME DE ENSAYOS			DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES EN LO AGREGADOS				NORMA INV E - 211:2013	
								
EMPRESA:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA			SONDEO N° :	N/A			
DIRECCION:	DIAGONAL 46A No 15-10			APIQUE N° :	N/A			
OBRA:	TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE			PROFUNDIDAD :	N/A			
INGENIERO(A) :	MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS			FECHA DE TOMA:	30/10/2018			
MATERIAL:	GRAVA 3/4"			FECHA DE ENSAYO:	01/11/2018			
CANTERA:	CEMEX - AV BOYACA			INFORME DCL N°:	0522-9			
LOCALIZACIÓN :	BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA							
TAMAÑO DEL AGREGADO		TAMIZ PARA REMOVER EL RESIDUO DE TERRONES DE ARCILLA	MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (g)	PESO DE LAS PARTICULAS RETENIDAS (g)	% DE GRADACION ORIGINAL	% DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES		
PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ							
MAYORES A 1 1/2"		Nº 4	-	-	-	-		
1 1/2"	3/4"	Nº 4	3010,5	3008,1	5,67%	0,08%		
3/4"	3/8"	Nº 4	2010,3	2009,3	30,27%	0,05%		
3/8"	Nº 4	Nº 8	1020,7	1020,0	32,66%	0,07%		
AGREGADO FINO RETENIDO Nº 16		Nº 20	-	-	-	-		
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES						0,20%		
							PAGINA 7 DE 7	
OBSERVACIONES:	La norma invias articulo 6 - tabla 630-3 exige maximo el 0,25% de terrones de arcilla							
								
WILSON JUEZ MORA				MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ				
Gerente Tecnico - Tnlgo. Construcciones Civiles				Jefe de laboratorio				
Reviso y aprobo				Elaboro				

Anexo 11. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos - Norma: INV E - 123:2013. Humedad de la muestra - INV E 216:2013. Determinación de los límites de consistencia - INV E 125:2013/126:2013

DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS - NORMA: INV E -123:2013 HUMEDAD DE LA MUESTRA - INV E 216:2013 DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA - INV E 125:2013/126:2013																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
EMPRESA: <u>UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA</u> DIRECCION: <u>DIAGONAL 46A No 13-10</u> OBRA: <u>TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE</u> INGENIERO(A): <u>MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS</u> MATERIAL: <u>ARENA DE RIO</u> CANTERA: <u>CEMEX - AV BOYACA</u> LOCALIZACIÓN: <u>BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA</u>	SONDEO N°: <u>N/A</u> APIQUE N°: <u>N/A</u> PROFUNDIDAD: <u>N/A</u> FECHA DE ENSAYO: <u>30/10/2018</u> FECHA DE TOMA: <u>04/11/2018</u> INFORME DCL N°: <u>0522-18</u>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="7" style="text-align: center;">DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS NORMA: INV E -123-2013</th> </tr> <tr> <td colspan="2">Masa Inicial total seca (g):</td> <td colspan="5">1500,5</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Masa Inicial L-T 200 masa constante (g):</td> <td colspan="5">1418,6</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Masa final del ensayo: L-T 200 (g):</td> <td colspan="5">1412,9</td> </tr> <tr> <th>Tamiz</th> <th colspan="5">GRANULOMETRIA</th> <th>Limite Inferior</th> <th>Limite Superior</th> </tr> <tr> <th>No.</th> <th>mm</th> <th>Masa Retenida (g)</th> <th>% Retenido</th> <th>% Acumulado</th> <th>% Pasa</th> <th></th> <th></th> </tr> <tr><td>3"</td><td>75,00</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2 1/2"</td><td>63,00</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2"</td><td>50,00</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>37,50</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1"</td><td>25,00</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19,00</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12,50</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9,50</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td>100%</td><td>100%</td></tr> <tr><td>1/4"</td><td>6,30</td><td>-</td><td>-</td><td>0,0%</td><td>100,0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N° 4</td><td>4,75</td><td>74,3</td><td>5,0%</td><td>5,0%</td><td>95,0%</td><td>95%</td><td>100%</td></tr> <tr><td>N° 8</td><td>2,36</td><td>185,2</td><td>12,3%</td><td>17,3%</td><td>82,7%</td><td>80%</td><td>100%</td></tr> <tr><td>N° 10</td><td>2,00</td><td>-</td><td>-</td><td>17,3%</td><td>82,7%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N°12</td><td>1,70</td><td>-</td><td>-</td><td>17,3%</td><td>82,7%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N°16</td><td>1,18</td><td>342,1</td><td>22,8%</td><td>40,1%</td><td>59,9%</td><td>50%</td><td>85%</td></tr> <tr><td>N°30</td><td>0,600</td><td>316,7</td><td>21,1%</td><td>61,2%</td><td>38,8%</td><td>25%</td><td>60%</td></tr> <tr><td>N°40</td><td>0,425</td><td>-</td><td>-</td><td>61,2%</td><td>38,8%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N°50</td><td>0,300</td><td>281,7</td><td>18,8%</td><td>80,0%</td><td>20,0%</td><td>10%</td><td>30%</td></tr> <tr><td>N°60</td><td>0,180</td><td>-</td><td>-</td><td>80,0%</td><td>20,0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>N°100</td><td>0,150</td><td>131,2</td><td>8,7%</td><td>88,7%</td><td>11,3%</td><td>2%</td><td>10%</td></tr> <tr><td>N°200</td><td>0,075</td><td>81,5</td><td>5,4%</td><td>94,1%</td><td>5,9%</td><td>0%</td><td>5%</td></tr> <tr><td>FONDO</td><td>-</td><td>0,18</td><td>0,0%</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1.412,9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS NORMA: INV E -123-2013							Masa Inicial total seca (g):		1500,5					Masa Inicial L-T 200 masa constante (g):		1418,6					Masa final del ensayo: L-T 200 (g):		1412,9					Tamiz	GRANULOMETRIA					Limite Inferior	Limite Superior	No.	mm	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa			3"	75,00	-	-	0,0%	100,0%			2 1/2"	63,00	-	-	0,0%	100,0%			2"	50,00	-	-	0,0%	100,0%			1 1/2"	37,50	-	-	0,0%	100,0%			1"	25,00	-	-	0,0%	100,0%			3/4"	19,00	-	-	0,0%	100,0%			1/2"	12,50	-	-	0,0%	100,0%			3/8"	9,50	-	-	0,0%	100,0%	100%	100%	1/4"	6,30	-	-	0,0%	100,0%			N° 4	4,75	74,3	5,0%	5,0%	95,0%	95%	100%	N° 8	2,36	185,2	12,3%	17,3%	82,7%	80%	100%	N° 10	2,00	-	-	17,3%	82,7%			N°12	1,70	-	-	17,3%	82,7%			N°16	1,18	342,1	22,8%	40,1%	59,9%	50%	85%	N°30	0,600	316,7	21,1%	61,2%	38,8%	25%	60%	N°40	0,425	-	-	61,2%	38,8%			N°50	0,300	281,7	18,8%	80,0%	20,0%	10%	30%	N°60	0,180	-	-	80,0%	20,0%			N°100	0,150	131,2	8,7%	88,7%	11,3%	2%	10%	N°200	0,075	81,5	5,4%	94,1%	5,9%	0%	5%	FONDO	-	0,18	0,0%	-	-	-	-			1.412,9						<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">W% DE LA MUESTRA</th> </tr> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">INV E 216:2013</th> </tr> <tr> <td>P₁ = Muestra humedad Recipiente (g)</td> <td style="text-align: right;">300,6</td> </tr> <tr> <td>P₂ = Muestra Seca + Recipiente (g)</td> <td style="text-align: right;">264,7</td> </tr> <tr> <td>P₃ = Masa Del Recipiente (g)</td> <td style="text-align: right;">83,12</td> </tr> <tr> <td>W% = PORCENTAJE DE HUMEDAD</td> <td style="text-align: right;">19,76%</td> </tr> </table> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">LIMITES DE CONSISTENCIA</th> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">LIMITE LIQUIDO-LL</th> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">INV E 125:2013</th> </tr> <tr> <td>Prueba N°</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>N° de Golpes</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P₁</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P₂</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P₃</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P_W</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P_S</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>W%</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </table> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">LIMITE PLÁSTICO - LP</th> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">INV E 126:2013</th> </tr> <tr> <td>Prueba N°</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>P₁</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P₂</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P₃</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P_W</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>P_S</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>W%</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </table>	W% DE LA MUESTRA		INV E 216:2013		P ₁ = Muestra humedad Recipiente (g)	300,6	P ₂ = Muestra Seca + Recipiente (g)	264,7	P ₃ = Masa Del Recipiente (g)	83,12	W% = PORCENTAJE DE HUMEDAD	19,76%	LIMITES DE CONSISTENCIA				LIMITE LIQUIDO-LL				INV E 125:2013				Prueba N°	1	2	3	N° de Golpes	-	-	-	P ₁	-	-	-	P ₂	-	-	-	P ₃	-	-	-	P _W	-	-	-	P _S	-	-	-	W%	-	-	-	LIMITE PLÁSTICO - LP				INV E 126:2013				Prueba N°	1	2	3	P ₁	-	-	-	P ₂	-	-	-	P ₃	-	-	-	P _W	-	-	-	P _S	-	-	-	W%	-	-	-
DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS NORMA: INV E -123-2013																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Masa Inicial total seca (g):		1500,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Masa Inicial L-T 200 masa constante (g):		1418,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Masa final del ensayo: L-T 200 (g):		1412,9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Tamiz	GRANULOMETRIA					Limite Inferior	Limite Superior																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
No.	mm	Masa Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
3"	75,00	-	-	0,0%	100,0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2 1/2"	63,00	-	-	0,0%	100,0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2"	50,00	-	-	0,0%	100,0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1 1/2"	37,50	-	-	0,0%	100,0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1"	25,00	-	-	0,0%	100,0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
3/4"	19,00	-	-	0,0%	100,0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1/2"	12,50	-	-	0,0%	100,0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
3/8"	9,50	-	-	0,0%	100,0%	100%	100%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1/4"	6,30	-	-	0,0%	100,0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
N° 4	4,75	74,3	5,0%	5,0%	95,0%	95%	100%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
N° 8	2,36	185,2	12,3%	17,3%	82,7%	80%	100%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
N° 10	2,00	-	-	17,3%	82,7%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
N°12	1,70	-	-	17,3%	82,7%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
N°16	1,18	342,1	22,8%	40,1%	59,9%	50%	85%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
N°30	0,600	316,7	21,1%	61,2%	38,8%	25%	60%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
N°40	0,425	-	-	61,2%	38,8%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
N°50	0,300	281,7	18,8%	80,0%	20,0%	10%	30%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
N°60	0,180	-	-	80,0%	20,0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
N°100	0,150	131,2	8,7%	88,7%	11,3%	2%	10%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
N°200	0,075	81,5	5,4%	94,1%	5,9%	0%	5%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FONDO	-	0,18	0,0%	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		1.412,9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
W% DE LA MUESTRA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
INV E 216:2013																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
P ₁ = Muestra humedad Recipiente (g)	300,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
P ₂ = Muestra Seca + Recipiente (g)	264,7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
P ₃ = Masa Del Recipiente (g)	83,12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
W% = PORCENTAJE DE HUMEDAD	19,76%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
LIMITES DE CONSISTENCIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
LIMITE LIQUIDO-LL																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
INV E 125:2013																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Prueba N°	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
N° de Golpes	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
P ₁	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
P ₂	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
P ₃	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
P _W	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
P _S	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
W%	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
LIMITE PLÁSTICO - LP																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
INV E 126:2013																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Prueba N°	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
P ₁	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
P ₂	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
P ₃	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
P _W	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
P _S	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
W%	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
L-T 10: Lavado sobre tamiz N° 10 L-T 200: Lavado sobre tamiz N° 200		La norma Invias articulo 6 - tabla 630-1 exige maximo el 5% de pasa tamiz 200																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">GRAFICA DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL ARTICULO 630 NORMA INVIAS 2013</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> </table>		GRAFICA DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL ARTICULO 630 NORMA INVIAS 2013				P ₁ = Masa Recipiente + Suelo Húmedo, en g P ₂ = Masa Recipiente + Suelo Seco, en g P ₃ = Masa Recipiente, en g P _W = Masa del Agua, en g P _S = Masa Suelo Seco, en g W = Contenido de agua, en %																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
GRAFICA DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL ARTICULO 630 NORMA INVIAS 2013																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">RESULTADOS</th> </tr> <tr> <td>Limite Líquido</td> <td>N.L.L</td> <td>Tamaño maximo (pulg)</td> <td>1/2"</td> </tr> <tr> <td>Limite Plástico</td> <td>N.L.P.</td> <td>Tamaño maximo nominal (pulg)</td> <td>N° 8</td> </tr> <tr> <td>Indice Plástico</td> <td>N.P.</td> <td>U.S.C</td> <td>S.W.</td> </tr> <tr> <td>Gravas</td> <td>5%</td> <td>Modulo de finura</td> <td>3,10</td> </tr> <tr> <td>Arenas</td> <td>95%</td> <td>Porcentaje de perdida en el ensayo</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>Pasa tamiz N° 200</td> <td>6%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: right;">PAGINA 1 DE 8</td> </tr> </table>			RESULTADOS				Limite Líquido	N.L.L	Tamaño maximo (pulg)	1/2"	Limite Plástico	N.L.P.	Tamaño maximo nominal (pulg)	N° 8	Indice Plástico	N.P.	U.S.C	S.W.	Gravas	5%	Modulo de finura	3,10	Arenas	95%	Porcentaje de perdida en el ensayo	0,40	Pasa tamiz N° 200	6%			PAGINA 1 DE 8																																																																																																																																																																																																																																																																																											
RESULTADOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Limite Líquido	N.L.L	Tamaño maximo (pulg)	1/2"																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Limite Plástico	N.L.P.	Tamaño maximo nominal (pulg)	N° 8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Indice Plástico	N.P.	U.S.C	S.W.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Gravas	5%	Modulo de finura	3,10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Arenas	95%	Porcentaje de perdida en el ensayo	0,40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Pasa tamiz N° 200	6%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
PAGINA 1 DE 8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
 WILSON JUEZ MORA Gerente Técnico - Tnigo. Construcciones Civiles Reviso y aprueba		 MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ Jefe de laboratorio Elabora																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

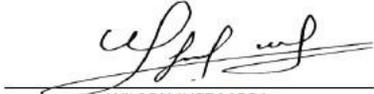
Anexo 12. Informe de ensayos densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino. Norma INV E - 222:2013

INFORME DE ENSAYOS DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO NORMA INV E - 222:2013			
EMPRESA:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA	SONDEO N° :	N/A
DIRECCION:	DIAGONAL 46A No 15-10	APIQUE N° :	N/A
OBRA:	TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE	PROFUNDIDAD :	N/A
INGENIERO(A) :	MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS	FECHA DE TOMA:	30/10/2018
MATERIAL:	ARENA DE RIO	FECHA DE ENSAYO:	04/11/2018
CANTERA:	CEMEX - AV BOYACA	INFORME DCL N°:	0522-18
LOCALIZACIÓN :	BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA		

DATOS DEL ENSAYO	1	2	PROMEDIO
S= Masa de la muestra saturada y superficialmente seca SSS (g)	500,3	500,5	
B= Masa del picnometro aforado lleno de agua (g)	659,5	659,5	
C= Masa del picnometro aforado con muestra y lleno de agua (g)	972,5	972,5	
A= Masa al aire de la muestra seca al horno (g)	483,4	484,0	
Volumen del picnometro	500	500	
Densidad relativa SH (gr/cm³) =A/(B+S-C)	2,581	2,582	2,581
Densidad relativa en estado SSS (gr/cm³) =S/(B+S-C)	2,671	2,670	2,670
Densidad relativa Aparente =A/(B+A-C)	2,837	2,830	2,834
Absorción (%) = ((S-A)/A)*100	3,5	3,4	3,45

PAGINA 2 DE 8

OBSERVACIONES: La norma invias articulo 6 - tabla 630-1 exige maximo el 4% de absorcion

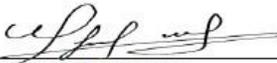


WILSON JUEZ MORA
Gerente Técnico - Tnlgo. Construcciones Civiles
Reviso y aprobo

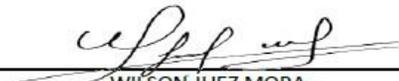


MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ
Jefe de laboratorio
Elaboro

Anexo 13. Informe de ensayos solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio. INV E - 220: 2013

INFORME DE ENSAYOS				SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO				INV E - 220: 2013			
EMPRESA: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA				SONDEO N° : N/A							
DIRECCION: DIAGONAL 46A No 15-10				APIQUE N° : N/A							
OBRA: TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE				PROFUNDIDAD : N/A							
INGENIERO(A) : MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS				FECHA DE TOMA: 30/10/2018							
MATERIAL: ARENA DE RIO				FECHA DE ENSAYO: 04/11/2018							
CANTERA: CEMEX - AV BOYACA				INFORME DCL N°: 0522-18							
LOCALIZACIÓN : BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA											
AGREGADO GRUESO											
FRACCIÓN		% RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL	PORCENTAJE RETENIDO EN LA FRACCIÓN (%)	MASA DE LA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO (g)	MASA RETENIDA DESPUES DEL ENSAYO (g)	PORCENTAJE QUE PASA DESPUÉS DEL ENSAYO (%)	PORCENTAJE DE PÉRDIDA EN PESO (%)				
PASA	RETENIDO										
2 1/2"	2"	-	-	-	-	-	-				
2"	1 1/2"	-	-	-	-	-	-				
1 1/2"	1"	-	-	-	-	-	-				
1"	3/4"	-	-	-	-	-	-				
3/4"	1/2"	-	-	-	-	-	-				
1/2"	3/8"	-	-	-	-	-	-				
3/8"	Nº 4	-	-	-	-	-	-				
TOTALES		0,0	0	PÉRDIDA DE AGREGADOS GRUESOS (%) =				0,00			
ANÁLISIS CUALITATIVO											
FRACCIÓN		NÚMERO DE PARTICULAS ANTES DEL ENSAYO	PARTÍCULAS AFECTADAS DESPUÉS DEL ENSAYO								
PASA	RETENIDO		PARTIDAS		ESCAMOSAS		DESINTEGRADA		VUELTAS LAJAS		
			Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
2 1/2"	1 1/2"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2"	3/4"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AGREGADO FINO											
FRACCIÓN		% RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL	PORCENTAJE RETENIDO EN LA FRACCIÓN (%)	MASA DE LA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO (g)	MASA RETENIDA DESPUÉS DEL ENSAYO (g)	PORCENTAJE PASA DESPUÉS DEL ENSAYO (%)	PORCENTAJE DE PÉRDIDA EN PESO (%)				
PASA	RETENIDO										
3/8"	Nº 4	4,95	5,26	300,2	266,0	11,4	0,6				
Nº 4	Nº 8	12,34	13,11	100,5	93,6	6,9	0,9				
Nº 8	Nº 16	22,8	24,22	100,5	98,0	2,5	0,6				
Nº 16	Nº 30	21,1	22,42	100,3	96,7	3,6	0,8				
Nº 30	Nº 50	18,8	19,94	101,7	95,6	6,0	1,2				
Nº 50	Nº 100	8,7	9,29	100,5	90,8	9,7	0,9				
< Nº 100		5,4	5,77	100,3	91,6	8,7	0,5				
TOTALES		94,1	100	PÉRDIDA DE AGREGADOS FINOS (%) =				5,50			
										PAGINA 3 DE 8	
PERDIDA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (%)						5,2					
OBSERVACIONES: La norma invias articulo 6 - tabla 630-1 exige maximo 10% solidez											
 WILSON JUEZ MORA Gerente Tecnico - Tnlgo. Construcciones Civiles Reviso y aprobo						 MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ Jefe de laboratorio Elaboro					

Anexo 14. Informe de ensayos equivalente de arena de suelos y agregados finos. Norma INV E - 133:2013

INFORME DE ENSAYOS EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS NORMA INV E - 133:2013				 DCL INGENIERIA S.A.S DISEÑO DE VÍAS, CONSTRUCCIÓN Y LABORATORIO CIVIL	
EMPRESA:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA	SONDEO N° :	N/A		
DIRECCION:	DIAGONAL 46A No 15-10	APIQUE N° :	N/A		
OBRA:	TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE	PROFUNDIDAD :	N/A		
INGENIERO(A) :	MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS	FECHA DE TOMA:	30/10/2018		
MATERIAL:	ARENA DE RIO	FECHA DE ENSAYO:	04/11/2018		
CANTERA:	CEMEX - AV BOYACA	INFORME DCL N°:	0522-18		
LOCALIZACIÓN :	BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA				
MUESTRA N°:	18-994				
PRUEBA N°:	1	2	3		
LONGITUD DE CABEZA A MARCA SUPERIOR DE DISPOSITIVO (mm):	254	254	254		
MEDIDA DE ARENA (MARCA SUPERIOR DEL DISPOSITIVO) (mm):	336	337	336		
MEDIDA DE ARENA (mm):	82	83	83		
MEDIDA DE ARCILLA (mm):	95	96	97		
EQUIVALENTE DE ARENA (%):	86,7	86,2	85,8		
EQUIVALENTE DE ARENA REDONDEADO (%):	87	87	86		
EQUIVALENTE DE ARENA (%):			87		
			PAGINA 4 DE 8		
OBSERVACIONES:	La norma invias articulo 6 - tabla 630-1 exige minimo el 60% de equivalente de arena				
 WILSON JUEZ MORA Gerente Tecnico - Tnlgo. Construcciones Civiles Reviso y aprobo	 MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ Jefe de laboratorio Elaboro				

Anexo 15. Informe de ensayos valor de azul de metileno en agregados finos. INV E 235:2013

INFORME DE ENSAYOS VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS INV E 235:2013		 <small>DISEÑO DE VIAS, CONSTRUCCIÓN Y LABORATORIO CIVIL</small>	
EMPRESA:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA	SONDEO N° :	N/A
DIRECCION:	DIAGONAL 46A No 15-10	APIQUE N° :	N/A
OBRA:	TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE	PROFUNDIDAD :	N/A
INGENIERO(A) :	MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS	FECHA DE TOMA:	30/10/2018
MATERIAL:	ARENA DE RIO	FECHA DE ENSAYO:	04/11/2018
CANTERA:	CEMEX - AV BOYACA	INFORME DCL N°:	0522-18
LOCALIZACIÓN :	BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA		
NUMERO DE ENSAYO		1	
V= Volumen total añadido de la solución colorante (ml)		10	
M= Masa de la muestra de ensayo (g)		32,3	
AC= Adición de colorante de azul de metileno (mg/mL)		0,31	
VALOR DE AZUL DE METILENO= (AC/M)*V		3,1	
		PAGINA 5 DE 8	
OBSERVACIONES:	La norma invias articulo 6 - tabla 630-1 exige maximo el 5% de azul de metileno		
 WILSON JUEZ MORA Gerente Tecnico - Tnlgo. Construcciones Civiles Reviso y aprobo		 MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ Jefe de laboratorio Elaboro	

Anexo 16. Informe de ensayos presencia de impurezas orgánicas en arenas usadas para la preparación de morteros o concretos (Colorimetría). Norma INV E - 212:2013

INFORME DE ENSAYOS PRESENCIA DE IMPUREZAS ORGANICAS EN ARENAS USADAS PARA LA PREPARACIÓN DE MORTEROS O CONCRETOS (COLORIMETRIA) NORMA INV E - 212:2013					
EMPRESA:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA	SONDEO N° :	N/A		
DIRECCION:	DIAGONAL 46A No 15-10	APIQUE N° :	N/A		
OBRA:	TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE	PROFUNDIDAD :	N/A		
INGENIERO(A) :	MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS	FECHA DE TOMA:	30/10/2018		
MATERIAL:	ARENA DE RIO	FECHA DE ENSAYO:	04/11/2018		
CANTERA:	CEMEX - AV BOYACA	INFORME DCL N°:	0522-18		
LOCALIZACIÓN :	BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA				

NÚMERO DE REFERENCIA ORGÁNICA	0	1	2	3	4	5
					PAGINA 6 DE 8	

OBSERVACIONES: La norma invias articulo 6 - tabla 630-1 exige el color mas oscuro el tercer grado para colorimetria



WILSON JUÉZ MORA
Gerente Tecnico - Tnlgo. Construcciones Civiles
Reviso y aprobo



MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ
Jefe de laboratorio
Elaboro

Anexo 17. Informe de ensayos determinación de terrones de arcilla y partículas deleznable en lo agregados. Norma INV E - 211:2013

INFORME DE ENSAYOS						
DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES EN LO AGREGADOS						
NORMA INV E - 211:2013						
EMPRESA:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA		SONDEO N° :	N/A		
DIRECCION:	DIAGONAL 46A No 15-10		APIQUE N° :	N/A		
OBRA:	TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE		PROFUNDIDAD :	N/A		
INGENIERO(A) :	MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS		FECHA DE TOMA:	30/10/2018		
MATERIAL:	ARENA DE RIO		FECHA DE ENSAYO:	04/11/2018		
CANTERA:	CEMEX - AV BOYACA		INFORME DCL N°:	0522-18		
LOCALIZACIÓN :	BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA					

TAMAÑO DEL AGREGADO		TAMIZ PARA REMOVER EL RESIDUO DE TERRONES DE ARCILLA	MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (g)	PESO DE LAS PARTICULAS RETENIDAS (g)	% DE GRADACION ORIGINAL	% DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES
PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ					
MAYORES A 1 1/2"		Nº 4	-	-	-	-
1 1/2"	3/4"	Nº 4	-	-	-	-
3/4"	3/8"	Nº 4	-	-	-	-
3/8"	Nº 4	Nº 8	-	-	4,95%	-
AGREGADO FINO RETENIDO Nº 16		Nº 20	500,2	496,5	22,80%	0,74%
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES						0,74%
						PAGINA 7 DE 8

OBSERVACIONES: La norma invias articulo 6 - tabla 630-1 exige maximo el 1% para terrones de arcilla y particulas deleznable



WILSON JUEZ MORA
Gerente Tecnico - Tnlgo. Construcciones Civiles
Reviso y aprobo



MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ
Jefe de laboratorio
Elaboro

Anexo 18. Informe de ensayos densidad Bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compactado. INV E - 217: 2013

INFORME DE ENSAYOS DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE DE VACIOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTADO INV E - 217: 2013					
EMPRESA:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA	SONDEO N° :	N/A		
DIRECCION:	DIAGONAL 46A No 15-10	APIQUE N° :	N/A		
OBRA:	TRABAJO DE GRADO ASFALTO MODIFICADO CON RESIDUO DE ACEITE	PROFUNDIDAD :	N/A		
INGENIERO(A) :	MAGDA LORENA DAVILA VELANDIA - MIGUEL MAGALDI MANOTAS	FECHA DE TOMA:	30/10/2018		
MATERIAL:	ARENA DE TRITURACIÓN Y GRAVA TRITURADA DE 1" a 3/4"	FECHA DE ENSAYO:	07/11/2018		
CANTERA:	CEMEX - AV BOYACA	INFORME DCL N°:	0522-18		
LOCALIZACIÓN :	BOGOTA D.C. - CUNDINAMARCA				

AGREGADO FINO					
No. De capas:	3	No. De golpes por capa:	25		
1. DATOS DEL ENSAYO		PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
MUESTRA N°		19-994			
N° MOLDE		2	2	2	
Masa del molde (gr)		4003	4003	4003	
Peso de la muestra sin compactar + molde (gr)		8492	8475	8501	
Peso de la muestra compactada + molde (gr)		8895	8861	8875	
Volumen del molde (cm ³)		2876	2876	2876	
Peso de la muestra sin compactar (gr)		4489	4472	4498	
Peso de la muestra compactada (gr)		4892	4858	4872	
Masa unitaria suelta (gr/cm ³)		1561	1555	1564	1560
Porcentaje de vacios en los agregados finos sueltos (%)		39,41	39,64	39,29	39,44
Masa unitaria compactada (gr/cm ³)		1701	1689	1694	1695
Porcentaje de vacios en los agregados finos compactados (%)		33,97	34,44	34,24	34,22

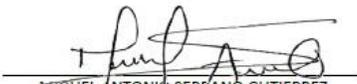
AGREGADO GRUESO					
No. De capas:	3	No. De golpes por capa:	25		
1. DATOS DEL ENSAYO		PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
MUESTRA N°		19-995			
N° MOLDE		5	5	5	
Masa del molde (gr)		4182	4182	4182	
Peso de la muestra sin compactar + molde (gr)		18200	18362	18402	
Peso de la muestra compactada + molde (gr)		19823	19762	19833	
Volumen del molde (cm ³)		10143	10143	10143	
Peso de la muestra sin compactar (gr)		14018	14180	14220	
Peso de la muestra compactada (gr)		15641	15580	15651	
Masa unitaria suelta (gr/cm ³)		1382	1398	1402	1394
Porcentaje de vacios en los agregados gruesos sueltos (%)		46,89	46,28	46,13	46,43
Masa unitaria compactada (gr/cm ³)		1542	1536	1543	1540
Porcentaje de vacios en los agregados gruesos compactados (%)		40,14	40,38	40,10	40,21

PAGINA 8 DE 8

OBSERVACION: _____



WILSON JUEZ MORA
Gerente Tecnico - Tnlgo. Construcciones Civiles
Reviso y aprobo



MIGUEL ANTONIO SERRANO GUTIERREZ
Jefe de laboratorio
Elaboro