

**DETERMINACIÓN DE LA ADHERENCIA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS
ELABORADAS CON ASFALTOS CONVENCIONALES Y MATERIALES DE
PEÑA Y RÍO**

**EDWARD CAMILO URREGO AGUILERA
CRISTIAN CAMILO RUIZ RAMÍREZ**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2016**

**DETERMINACIÓN DE LA ADHERENCIA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS
ELABORADAS CON ASFALTOS CONVENCIONALES Y MATERIALES DE
PEÑA Y RÍO**

**EDWARD CAMILO URREGO AGUILERA
CRISTIAN CAMILO RUIZ RAMÍREZ**

**Director
JUAN CARLOS RUGE CÁRDENAS
Ingeniero Civil**

**CO-Director
JUAN MIGUEL SÁNCHEZ DURÁN
Ingeniero Civil**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2016**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5 CO)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#)

[Advertencia](#)

Usted es libre para:



Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

El licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe darle crédito a esta obra **de manera adecuada**, proporcionando un enlace a la licencia, e **indicando si se han realizado cambios**. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo del licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con **fines comerciales**.



Sin Derivar — Si usted **mezcla, transforma o crea nuevo material a partir de esta obra**, usted no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — Usted no puede aplicar términos legales ni **medidas tecnológicas** que restrinjan legalmente a otros hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Aviso:

Usted no tiene que cumplir con la licencia para los materiales en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una **excepción o limitación aplicable**.

No se entregan garantías. La licencia podría no entregarle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como **relativos a publicidad, privacidad, o derechos morales** pueden limitar la forma en que utilice el material.

Nota de aceptación:

Director de Proyecto

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, noviembre, 2016

DEDICATORIA

Este trabajo está especialmente dedicado

A mi familia, por ellos soy lo que soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor incondicional y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño y mi coraje para hacer esos sueños realidad.

Gracias también a mi querida abuela quien fue testigo en este duro proceso, me aconsejó, me guió y me colaboro hasta donde no más pudo en un buen tiempo, ahora donde estás sé que te estás sintiendo la mujer más orgullosa por esa labor cumplida.

Camilo Urrego

Dedico este logro a mi familia, amigos y conocidos porque sin su apoyo y ayuda constante seguramente la realización de este el principal y primer paso para cumplir mis sueños y objetivos no se hubiesen podido lograr.

A mi amada madre Lúgía Ramírez, por su entrega, dedicación y sacrificio en la búsqueda de la mejor herencia que un padre le puede dar a sus hijos, su formación, también dedico este logro a Dios por poner en mi camino a personas de gran corazón que estuvieron ahí sirviendo de cimentación en este proceso de formación.

A mi padre Crisóstomo Ruíz por ser parte de esta majestuosa familia y brindarme tan radical y bonita experiencia de vida, desde donde estás sé estas orgulloso de mí y también sé que me guías bajo la bendición de Dios.

Cristian Camilo Ruíz Ramírez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a Dios, por acompañarnos todos los días bendiciendo cada uno de nuestros pasos y por aarnos permitido lograr la realización de este trabajo de culminación de una de las etapas más importantes de nuestra vida.

Por otra parte, le queremos agradecer al Ing. Juan Miguel Sánchez Durán y al Ing. Juan Carlos Ruge, quien con su conocimiento, esfuerzo y dedicación nos brindaron su apoyo incondicional para la realización de este proyecto. De igual manera agradecemos a aquellas personas que con su aporte contribuyeron a este gran proceso que hoy estamos culminando.

Por último, agradecemos al laboratorista de pavimentos de la universidad católica de Colombia don Hugo Rondón, quien nos acompañó en todo momento y nos compartió su conocimiento para la realización de los ensayos de laboratorio.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	12
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES	17
1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	17
1.3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.4 OBJETIVOS	20
1.4.1 Objetivo general	20
1.4.2 Objetivos específicos	20
1.5 DELIMITACIÓN	21
1.5.1 Alcance y tiempo.	21
1.5.2 Espacio.	21
1.6 MARCO TEORICO	21
1.6.1 Pavimentos.	21
1.6.1.1 Pavimento flexible.	22
1.6.2 Cemento asfáltico.	22
1.6.2.1 Clasificación.	23
1.6.3 Materiales pétreos.	24
1.6.3.1 Caracterización de material granular según su procedencia.	24
1.6.3.2 Caracterización de material granular por su tamaño.	25
1.6.4 Método Marshall.	25
1.6.5 Ensayo de tracción indirecta.	26
1.7 MARCO CONCEPTUAL	28
1.7.1 Mezcla asfáltica.	28
1.7.2 Clasificación de las mezclas asfálticas.	30
1.7.2.1 Por fracciones de agregado pétreo empleado.	30
1.7.2.2 Por la temperatura de puesta en obra.	30
1.7.2.3 Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.	30
1.7.2.4 Por el tamaño máximo del agregado pétreo.	31
1.7.2.5 Por la granulometría.	31
1.7.3 Tipos de mezclas	31
1.7.3.1 Mezcla asfáltica abierta en frío	31
1.7.3.2 Mezcla asfáltica abierta en caliente	31
1.7.3.3 Mezcla asfáltica drenante.	32
1.7.3.4 Mezcla Discontinuas en caliente o micro aglomerados.	32
1.7.3.5 Mezclas con esqueleto mineral.	32
1.7.3.6 Mezclas sin esqueleto mineral.	32
1.7.3.7 Mezclas de alto módulo.	32

1.7.3.8 Mezcla asfáltica densa en caliente.	33
1.7.4 Características de las mezclas.	33
2. METODOLOGIA	35
3. DISEÑO METODOLÓGICO	36
3.1 OBTENCIÓN Y ACOPIO DE INFORMACIÓN	36
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL	36
3.2.1 Caracterización al agregado de río y peña.	36
3.2.1.1 Caracterización del agregado de río	37
3.2.1.2 Caracterización del agregado de peña	38
3.3 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFALTICO	39
3.4 DISEÑO DE LA MEZCLA	39
3.4.1 Granulometría mezcla asfáltica MDC – 19.	39
3.5 REALIZACION DE ENSAYOS DE LABORATORIO	41
3.5.1 Tracción indirecta.	41
3.5.1.1 Ejecución de ensayo.	42
3.5.2 Riedel Webber.	49
3.5.2.1 Tamizado, secado y mezcla entre el agregado y el cemento asfaltico	49
3.5.2.2 Concentración y distribución del reactivo.	50
3.5.2.3. Criterios para inspección visual.	52
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
4.1 RIEDEL WEBER	54
4.1.1 Agregado mixto con inclusión de asfalto 40 – 50	54
4.1.2 Agregado mixto con inclusión de asfalto 60 – 70	55
4.1.3 Agregado mixto con inclusión de asfalto 80 - 100	56
4.1.4 Análisis y comparación de resultados obtenidos	57
4.2 TRACCIÓN INDIRECTA	58
4.2.1 Ecuaciones a utilizar para el cálculo de resistencia conservada	58
4.2.2 Material de río	61
4.2.3 Material mixto	63
4.2.4 Material de peña	65
4.2.5 Análisis y comparación de resultados	67
5. CONCLUSIONES	68
6. RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXO	74
ANEXO II	82
ANEXO III	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Probeta asfáltica sometida al ensayo de tracción indirecta	27
Figura 2. Esquema metodología de investigación	35
Figura 3. Dosificación del material río y peña	42
Figura 4. Ligante Asfáltico	43
Figura 5. Mezclado del agregado y el ligante	43
Figura 6. Prensa para compactar las probetas	44
Figura 7. Probetas compactadas	44
Figura 8. Acondicionamiento de las probetas saturadas	45
Figura 9. Probetas en seco	45
Figura 10. Probeta sometida al ensayo tracción indirecta	46
Figura 11. Probeta con la carga máxima	47
Figura 12. Subgrupo-Secas y Saturadas	47
Figura 13. Probeta fallada.....	48
Figura 14. Inspección visual	48
Figura 15. Materiales para realización del ensayo.....	49
Figura 16. Tamizado, secado y mezcla	50
Figura 17. Dosis de carbonato sódico en tubos de ensayo	51
Figura 18. Resultado de laboratorio asfalto 40 - 50	54
Figura 19. Resultado de laboratorio asfalto 60 - 70	55
Figura 20. Resultado de laboratorio asfalto 80 -100	56
Figura 21. Evidencia desprendimiento total para asfalto 80 – 100.....	56
Figura 22. Evaluación y comportamiento - índice de adhesividad Riedel Weber ..	58
Figura 23. Gráfico de la resistencia a la tensión - material de río	61
Figura 24. Porcentaje de resistencias del material de río	62
Figura 25. Gráfico de la resistencia del material de mixto	63
Figura 26. Porcentaje de resistencia del material de mixto.....	64
Figura 27. Grafico de la resistencia del material de peña	65
Figura 28. Porcentaje de resistencia del material de agregado de peña	66
Figura 29. Grafica general de resistencia conservada por tipo de material y asfalto	67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones del cemento asfáltico.....	24
Tabla 2. Resultados de ensayos de granulometría para agregado de río.	37
Tabla 3.Resultados de ensayos de granulometría para agregado de peña.....	38
Tabla 4.Franjas granulométricas para mezclas asfálticas - MDC 19	39
Tabla 5.Granulometría mezcla asfáltica MDC - 19	40
Tabla 6. Granulometría mezcla mixta	40
Tabla 7. Distribución de briquetas para realización de ensayo	42
Tabla 8.Concentración de reactivo	51
Tabla 9.Valor Riedel Weber	53
Tabla 10. Índice de adhesividad Riedel Weber por tipo de asfalto	57
Tabla 11. Resumen valores de Índice de adhesividad Riedel Weber	57
Tabla 12. Verificación de resistencia	60
Tabla 13. Resultado agregado de río.....	61
Tabla 14. Resultados de agregado mixto	63
Tabla 15. Resultado agregado de peña	65
Tabla 16. Resumen valores de la resistencia conservada.....	67

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Especificaciones procedimiento ensayo Tracción Indirecta – Agregado de río.....	75
Anexo B. Especificaciones procedimiento ensayo Tracción Indirecta – Agregado mixto	76
Anexo C. Especificaciones procedimiento ensayo Tracción Indirecta – Agregado peña.....	77
Anexo D. Caracterización asfalto 80-100.....	78
Anexo E. Caracterización asfalto 60-70. 1	79
Anexo F. Caracterización asfalto 60-70. 2	80
Anexo G. Caracterización asfalto 60-70. 3	81
Anexo H. Procedimiento para elaboración de probetas – Agregado de río	83
Anexo I. Procedimiento para elaboración de probetas - Agregado mixto	84
Anexo J. Procedimiento para elaboración de probetas - Agregado peña	85
Anexo K. Granulometría de agregado - mixto.....	87
Anexo L. Granulometría de agregado – peña.....	87
Anexo M. Granulometría para el agregado de río - MDC- 19	88

GLOSARIO

A continuación, encontramos definiciones de términos para un mejor entendimiento del tema que se está desarrollando.

ADHESIÓN Y COHESIÓN: Adhesión es la capacidad de asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimento.

Cohesión es la capacidad de asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

DEFORMACIÓN DE TRACCIÓN: Deformación axial resultante de la aplicación de una carga de tracción, que se calcula como el cambio de la longitud efectiva de la probeta, causada por la aplicación de la carga de tracción, dividida por la longitud efectiva original, antes de aplicar la carga.

DUCTILIDAD: Las mezclas asfálticas dúctiles pueden desarrollar deformaciones permanentes o elásticas bajo cargas repetida sin que el material experimente fallas estructurales, excepto cuando dichas cargas o deformaciones excedan los máximos permitidos por su resistencia.

DURABILIDAD: Con esta medida se puede ver que tanto puede retener un asfalto en sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Existen pruebas para evaluar la durabilidad del asfalto, son pruebas de película delgada de horno y la prueba de película delgada de horno rotatorio, ambas incluyen el calentamiento de la película delgada de asfalto.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien, examina una propiedad del asfalto considerada para algunos como la relación con la cohesión y la adhesión.

FALLA: Punto en el cual la carga de tracción alcanza un valor máximo mientras la probeta es sometida a tracción a una velocidad de deformación constante.

FRANJAS DE CARGA: se utilizan unas franjas de carga que tienen una superficie cóncava y un radio de curvatura igual al radio nominal del espécimen. Para especímenes de 4" de diámetro, la franja debe ser de 0.5" de ancho. La longitud de la franja de carga tiene que exceder el espesor de los especímenes.

IMPERMEABILIDAD: Es la resistencia al paso de aire y agua al interior del pavimento.

LIGANTE ASFÁLTICO: Se clasifica por lo general de acuerdo a su consistencia evaluada a través de dos ensayos penetración y viscosidad. Para llevar a cabo esta

investigación se utilizan tres tipos de asfalto 40-50, 60-70 y 80-100. En países desarrollados su clasificación se realiza a través del grado de funcionamiento.

TENSIÓN DE ROTURA: Debido a la tensión la probeta fallaría alrededor de los puntos de carga debido a tensiones de compresión y no en la porción central de las muestras debido a tensiones de tracción.

TENSIÓN DE TRACCIÓN: Tensión axial resultante de la aplicación de una carga de tracción, calculada como la carga de tracción dividida por el área original de la sección transversal de la probeta.

VISCOSIDAD: se puede entender como la resistencia que tiene un material a fluir sobre una superficie. En los pavimentos, es un parámetro físico que ha sido utilizado desde la década de los sesenta para determinar de una manera aproximada, las temperaturas de fabricación de mezclas asfálticas.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca analizar el comportamiento de los agregados pétreos planteados en esta investigación agregado de río, agregado de peña y la mezcla de estos bajo la ejecución de los ensayos tracción indirecta INVIAS 725 – 13 y Riedel Weber INVIAS 774 – 13, obteniendo de estos en el caso de tracción indirecta el valor en porcentaje de resistencia conservada o resistencia retenida para los cementos asfálticos con valores de penetración en decimas de milímetro 40 – 50, 60 – 70 y 80 – 100 dándole cumplimiento así a la especificación y/o requisito de verificación del diseño preliminar plasmados en las tablas del Instituto Nacional de Vías 450 - 11 y 450 - 10 del artículo 450 - 13 mezclas asfálticas de gradación continua en donde se evalúan diferentes factores, pero que en el presente trabajo de investigación se evaluó el porcentaje de resistencia conservada como requisito de verificación de diseño de mezclas asfálticas relacionado con el valor porcentaje de adherencia mínimo exigido por la norma.

Por otra parte, se evalúa el valor índice de adhesividad Riedel Weber para la combinación de los agregados de río y peña, en este ensayo se busca evaluar el comportamiento en la combinación de estos agregados después de realizar el ensayo en la universidad.

Es importante resaltar que la obtención del material a utilizar fue determinante, pues del acopio adecuado de este dependió la calidad de los resultados obtenidos en cada laboratorio. En principio para el ensayo de tracción indirecta se planteó realizar el diseño y la implementación de 54 probetas distribuidas así dieciocho (18) por tipo de material y seis (6) para cada asfalto, adicionalmente para el ensayo Riedel Weber se toma como referencia los resultados obtenidos en trabajo de grado realizado por Diego Solano y Juan Manuel Gómez referentes al tema, este se realizó para el agregado de río y peña mientras que en el presente trabajo de investigación se realizó el ensayo con la unión de los dos agregados logrando así obtener los valores de índice de adhesividad respectivos para ser comparados con los del trabajo de grado mencionado en líneas anteriores.

Finalmente se obtienen los valores en porcentaje de resistencia conservada o resistencia retenida por el ensayo tracción indirecta para los diferentes agregados pétreos, paralelo a esto se relacionan estos porcentajes con el mínimo exigido por el INVIAS en su artículo de especificaciones generales requeridas para la aprobación del diseño de mezclas asfálticas, también en los resultados del ensayo Riedel Weber se obtiene los valores de adhesividad, en estos radica y es el pilar de la presente investigación, la información obtenida dado que con los resultados se logró trascender el alcance del proyecto con valores de adhesividad altos y porcentajes de resistencia conservada por encima de los permisibles por el Instituto Nacional de Vías.

PALABRAS CLAVES: Agregado, mezclas, tracción indirecta, resistencia conservada, Riedel weber.

INTRODUCCIÓN

El pavimento de una carretera debe cumplir con ciertos requisitos para garantizar al usuario seguridad como principal y más relevante condición de servicio, es por esto que la selección de los agregados y el cemento asfáltico juegan un papel importante a la hora de realizarse el diseño de la mezcla. Para adentrarnos en el tema se quiere exaltar la función de estos dos componentes, vitales a la hora de interactuar de manera mono tónica en función de servicio y durabilidad.

En primer lugar, tenemos al cemento asfáltico como uno de los componentes de las mezclas asfálticas sin ser menos importante que los agregados y con una misión específica y es la de adherirse al agregado, este presenta un comportamiento variable dependiendo del aumento o reducción de la temperatura, por esto se debe seleccionar el tipo de asfalto más conveniente dependiendo del clima en donde se va implementar. Adicionalmente hay dos propiedades del cemento asfáltico a las que se le debe tener mayor enfoque, estas son la durabilidad, adhesión y cohesión. La durabilidad indica que tanto tiempo permanecen sus características luego de ser expuesto a proceso de degradación y/o servicio. (COLOMBIA, ASOPAC - Asociación de productores y pavimentadores asfálticos de, 2004)

Por otra parte, la adhesión y cohesión, tema principal a desarrollar en este trabajo de investigación, pues bien, para entrar en contexto es por esta propiedad del asfalto que se quiere evaluar la adherencia como prioridad para generar seguridad en el tiempo de servicio de la carpeta de rodadura en la estructura del pavimento. La adhesión es la capacidad del cemento asfáltico de adherirse al agregado mientras que la cohesión es la capacidad de mantener firmemente en su puesto las partículas de agregado en el pavimento.

En segundo lugar, es importante exaltar que los agregados constituyen entre el 90% y el 95% en peso y entre el 75% y el 85% en volumen en la mayoría de las estructuras del pavimento, esto hace que la calidad del agregado sea un factor determinante en el comportamiento del pavimento, los agregados se clasifican en naturales y procesados, sin duda son de mucha importancia en el diseño de mezclas asfálticas; de su tratamiento, selección y condición depende la calidad, durabilidad, seguridad y servicio de las carpetas asfálticas.

Los principales aspectos que se desean desarrollar en el presente trabajo de investigación, serán los de realizar ensayos de laboratorio que nos permitan inicialmente descartar uno de los materiales que interactúan en esta metodología como lo es el agregado de peña, o por el contrario, ofrecerlo como alternativa de diseño para sustituir o complementar al agregado de río, agregado que por muchos años se ha venido posicionando en el diseño de mezclas asfálticas por sus excelentes propiedades y su trayectoria: adicionalmente se quiere evaluar la adherencia que genera la interacción de los dos materiales, agregado de río y de peña como posible alternativa de diseño reduciendo así los costos y por qué no ser

pioneros en la Universidad Católica de Colombia como evaluadores de este agregado que seguramente es derivado de futuras investigaciones referentes al tema.

1. GENERALIDADES

1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Bogotá como capital y mayor centro poblado del país, está llamada a ser el eje del desarrollo, no obstante se hace evidente que el mal estado de las vías en la ciudad genera serios inconvenientes en la seguridad, movilidad y el desarrollo; en el artículo “vías en Bogotá”, del diario El Espectador en su versión online, se afirma que después de haber realizado la contraloría un seguimiento al estado de la malla vial local se evidencio que de los 8.289 kilómetros/carril de vías locales el 58% se encuentra en mal estado, el 23,8% en regular y tan sólo el 17,9% están bien, “Esta ciudad, con cerca de 8 millones de habitantes y tendencia a su aumento, tiene una malla vial de 15.656 km–carril, el 40% en mal estado. (BETANCOURT Carlos, 2015)

Con base en lo mencionado anteriormente, y sin desconocer la problemática que se hace visible en el país sobre el deterioro y la falta de inversión en la malla vial en el territorio nacional, se busca analizar por medio del ensayo tracción indirecta y Riedel Webber el porcentaje y valor de adherencia en la mezcla asfáltica según los criterios de evaluación de la metodología del diseño Marshall junto con la normativa de INVIAS. Posiblemente el daño de las vías en Bogotá esté dado principalmente por la escasa intervención y/o mantenimiento, pero hipotéticamente este daño también se está presentando por la incorporación de agregado de peña de manera excesiva en el diseño de mezclas asfálticas dosificadas por las plantas que se encuentran a las afueras de la ciudad. La anterior es una hipótesis que se plantea en este trabajo de grado.

Por otra parte, en la Universidad Católica de Colombia dentro del repositorio se encontró una tesis de posgrado realizada por Astrid Yohana Piragua Pantoja e Iván Eduardo Bacca Prieto, especialistas en pavimentos, donde su tema de tesis fue el análisis dinámico de una mezcla densa en caliente tipo 2 (mdc-19) modificada con desechos de caucho-cuero provenientes de una remontadora de calzado - cemento asfáltico 60-70 y agregado de peña. Esta tesis es un referente importante para la realización del presente trabajo de grado, pues nuestros compañeros utilizan el material de peña para hacer los respectivos análisis dinámicos y de alguna manera nos da un indicio de cuál puede ser el comportamiento de este material frente al agregado de río.

Además, En la Universidad se ha iniciado por parte de algunos de nuestros compañeros, el estudio y análisis de la adherencia para los agregados mencionados anteriormente por medio del ensayo Riedel Webber únicamente para el 100% en material de Río y 100% de material de peña, es por esto que se le quiere dar continuidad a dicha línea de investigación incorporando la mezcla de los dos materiales y poder así profundizar en el tema. Lo anterior permite utilizar los resultados de laboratorio obtenidos como soporte y/o apoyo para el desarrollo de los objetivos planteados en el presente documento, logrando así darle continuidad

al estudio de la adherencia en mezclas asfálticas específicamente entre sus dos componentes de mayor relevancia, los agregados pétreos y el concreto asfáltico.

Pues bien, dándole trascendencia al eje central de esta justificación es importante mencionar, que en Colombia la normatividad del país exige que los diseños de mezclas asfálticas sean realizados por la metodología Marshall; dicho método de diseño maneja los siguientes criterios de verificación y aceptación; análisis de la adherencia, resistencia al ahuellamiento, módulo resiliente y resistencia a la fatiga (tabla 450 – 9 del artículo 450 - 13). El respectivo análisis de cada uno de los componentes de dicha norma mencionados anteriormente requiere de una amplia inversión y equipos especiales para lograr darle cumplimiento; motivo por el cual el presente trabajo de investigación dentro de sus alcances busca darle énfasis al análisis de la adherencia en las mezclas asfálticas por medio del ensayo tracción indirecta (norma I.N.V.E - 725), basados en el parámetro exigido y requisitos establecidos en la normativa INVIAS del artículo 450 – 13 “especificaciones generales de construcción de carreteras” en la tabla 450 – 11 “Verificación del diseño Marshall”, donde el porcentaje de adherencia mínimo exigido por el INVIAS para mezcla asfáltica debe ser del 80%, de igual manera se pretende realizar el ensayo Riedel Webber (norma I.N.V.E – 774), por medio de este se busca analizar el comportamiento de la adherencia entre los agregados finos y el bitumen mediante la clasificación dada por esta norma promoviendo así el desarrollo de este criterio, componente no menos importante que los mencionados anteriormente, pero que es ficha clave en la búsqueda de los objetivos del presente trabajo de grado con el fin de obtener el comportamiento de los agregados pétreos convencionales y no convencionales utilizados como materiales de estudio.

Para finalizar, es importante destacar que “Dentro de una estructura de pavimento con capa asfáltica, los agregados pétreos más exigentes, en cuanto a durabilidad, textura y resistencia mecánica se refiere, son aquellos que conforman las mezclas asfálticas. Dentro de estas, son los encargados de soportar las cargas impuestas por el parque automotor y transmitirla en menores proporciones a las capas subyacentes. De la calidad de estos materiales depende en gran medida la evolución de los mecanismos de daño que ocurren en mezclas asfálticas como son el ahuellamiento, la fatiga, el stripping y el daño por humedad”. (RONDÓN Hugo alexander, 2015)

1.3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La adherencia en la mezcla asfáltica es uno de los pilares dentro del proceso de construcción vial, es la variable del pavimento en la que se debe cumplir y garantizar las principales propiedades de las mezclas asfálticas. Cuando se diseña una mezcla asfáltica, se espera que esta trabaje de manera mono tónica en función de las exigencias en diseño y obedezca las propiedades del cemento asfáltico.

Por otra parte, el pavimento presenta diversas fallas, estas clasificadas por normativa, de acuerdo a la evaluación superficial, evaluación estructural y la evaluación funcional, todas estas son predecesoras una de la otra, la adherencia como se mencionó en líneas anteriores es de vital importancia para el cumplimiento de las exigencias por el parque automotor, de no ser tratada de manera adecuada hasta ser mitigada, esta puede ocasionar serios problemas en cuanto a funcionalidad, se puede alterar el índice de rugosidad internacional (IRI) y el ahuellamiento, del mismo modo se puede generar daños en la estructura del pavimento y porque no el índice de condición del pavimento (PCI) o la evaluación superficial se vería afectada de manera importante. Esto genera que los tiempos de retorno de las vías se aceleren. Existen diferentes tipos de aditivos mejoradores de adherencia, pero hacen que los costos de mantenimiento se multipliquen de manera exponencial.

Nuestro proyecto busca analizar el comportamiento que tiene el material de peña en cuanto a caracterización, resistencia y adherencia comparado con el material de río, de la misma forma, plantea combinar estos dos materiales y someterlos al análisis de comportamiento bajo los parámetros de estudio en el ensayo de Tracción Indirecta, (INV. E-725-13) y Riedel Webber (INV. E – 774) como alternativa para el diseño.

En Colombia, por lo general el agregado pétreo usado para el diseño en los diferentes tipos de mezclas asfálticas ha sido el material de río y su comportamiento continúa en análisis, pues durante décadas se ha implementado de forma constante y sin modificaciones, al punto de ser una “rutina” de la que se conocen incluso sus puntos negativos, por lo descrito anteriormente surge nuestra pregunta de investigación, ¿Qué tanto pueden variar los resultados del ensayo de tracción indirecta y Riedel Webber en las mezclas asfálticas cuando se incorpora material de peña y de río?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la adherencia entre el agregado pétreo y el ligante asfáltico, en combinaciones de cementos asfálticos convencionales, con valores de penetración en decimas de milímetros 40-50, 60-70 y 80-100, con material de río, material de peña y una mezcla de ambos agregados, por medio del ensayo de Tracción Indirecta (INV- E – 725 – 13) y Riedel Webber (INV – E – 774 - 13).

1.4.2 Objetivos específicos

- Comparar la capacidad de adherencia que puede generar el material de peña como agregado pétreo en contraste al material de río.
- Conocer las bondades o dificultades generadas por el uso de material de peña como agregado pétreo.
- Analizar el comportamiento del material en cuanto a la adherencia, producto de la mezcla de dos agregados, material de río y material de peña como posibles agregados pétreos.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Alcance y tiempo. El presente proyecto analiza los diferentes resultados que se obtienen cuando se utiliza material de río y material de peña en las mezclas asfálticas en caliente como materiales propuestos para evaluar la adherencia. Para llevar a cabo la realización de este proyecto de grado, contamos con el laboratorio de pavimentos de la Universidad Católica de Colombia sede claustro. Se tiene proyectado que la duración para ejecutar este proyecto es de cuatro meses y va de julio a noviembre del 2016. Para la entrega del documento se cuenta con algunos de los equipos para la realización de los ensayos de laboratorio planteados, resultados y los respectivos análisis que sirven para la determinación de la adherencia entre el cemento asfáltico y los agregados pétreos.

1.5.2 Espacio. Se tiene como limitación principal no contar con los equipos necesarios y adecuados para la realización de los ensayos de laboratorio, el ensayo tracción indirecta nunca se había realizado en la universidad y esto implicó la búsqueda de alternativas para poder lograr alcanzar los objetivos planteados. El ensayo debe contar con equipos especiales como lo son las franjas de carga elemento fundamental para la obtención del porcentaje de la resistencia conservada.

1.6 MARCO TEORICO

1.6.1 Pavimentos. El pavimento es un conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada (función estructural), proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Se deben diseñar con el fin de ofrecer un paso cómodo y seguro para cualquier automotor que se imponga sobre su superficie en determinado periodo de tiempo (objetivo funcional).

También se puede definir como una superestructura de una vía, construida sobre la subrasante, y compuesta normalmente por la sub-base, la base y la capa de rodadura, que cumplen como función soportar las cargas rodantes y llevar los esfuerzos al terreno de fundación, distribuyéndolos para que de tal forma no se produzcan deformaciones perjudiciales. (LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD, 2015)

El desarrollo del automóvil a principios del siglo produjo una rápida evolución de las carreteras a nivel mundial. En Colombia la construcción de carreteras se inició prácticamente hacia 1930 y la pavimentación de vías hacia 1945.

De manera general los pavimentos se clasifican en tres grandes grupos: Pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados. En el presente trabajo de investigación se centra en la adherencia del ligante asfáltico con los agregados pétreos en pavimentos flexibles, a continuación, se describe una estructura típica de este pavimento.

1.6.1.1 Pavimento flexible. Es una estructura construida con productos bituminosos y materiales granulares. Se caracterizan por ser elementos continuos con la particularidad de que al aplicar una carga se deforma de manera apreciable en un área relativamente pequeña.

Generalmente la carpeta asfáltica está construida sobre dos capas no rígidas: la base y la sub-base. Las capas tienen una resistencia a la deformación decreciente con la profundidad, de manera similar a la disminución de las presiones transmitidas desde la superficie por las cargas del tránsito. Por lo general y salvo en aquellas estructuras no revestidas de vías para una intensidad muy baja de tránsito, los pavimentos flexibles tienen al menos una capa de rodadura bituminosa. Igualmente, una variación pequeña de las características de la subrasante tiene gran incidencia en la capacidad estructural de toda la estructura. (RONDÓN Hugo alexander, 2015)

Por lo cual las principales funciones de la carpeta asfáltica son:

- **Estructural.** Se debe diseñar y construir de tal forma que sea resistente a los fenómenos de fatiga y acumulación de las deformaciones permanente, inducidas por las cargas cíclicas vehiculares en el tiempo. Así mismo, debe resistir a los efectos del clima.
- **Funcional.** Debe estar diseñada de tal manera que permita la circulación cómoda y segura del parque automotor durante su vida útil.
- **Impermeabilización.** Esta capa impide la penetración directa del agua a las capas subyacentes, disminuyendo la pérdida de soporte que pueden experimentar las capas granulares y/o sub rasante al incrementarse el grado de saturación que lo conforman.

De acuerdo con ASOPAC (Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia), la mayor parte de las estructuras de pavimento en Colombia y en el mundo se encuentran en pavimento flexible, así que más del 90% de las vías en el mundo y más del 65% en Bogotá D.C., están construidas en pavimento asfáltico. (ASOPAC, 2015)

1.6.2 Cemento asfáltico. Es un material que se puede encontrar en la naturaleza en yacimientos naturales o puede ser obtenido como subproducto de la destilación de determinados crudos de petróleo. Posee unas características muy específicas que lo hacen ideal para los trabajos de pavimentación, principalmente la cohesión y la adhesión con materiales granulares.

Tiene una consistencia sólida, al calentarlo se ablanda y se vuelve líquido, lo que le permite recubrir los agregados durante el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica en caliente.

El asfalto cambia su comportamiento dependiendo de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. Es más duro a bajas temperaturas y más blando a altas, por esto, se debe seleccionar el tipo de asfalto más conveniente dependiendo del clima del sitio de colocación. (INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO, 2008)

1.6.2.1 Clasificación. Los asfaltos se pueden agrupar en tres clases:

- **Cementos asfáltico (AC)** Son los más utilizados en pavimentación. Se pueden clasificar bajo tres sistemas diferentes: viscosidad antes y después de envejecimiento y penetración. Se preparan comercialmente en grados o rangos de consistencia, con base en el ensayo de penetración, por ejemplo: AC 40-50, AC 60-70, AC 80-100. Los números indican la penetración en décimas de milímetro. El ensayo de penetración es uno de los ensayos de clasificación más comunes en la caracterización del asfalto. (Larson, 1977)

- **Asfaltos líquidos.** Se producen diluyendo cemento asfáltico en algún solvente del petróleo. Se agrupan en 3 clases, dependiendo de la rapidez con que se produce la evaporación del solvente (curado del asfalto).

- SC: asfaltos rebajados de curado lento.
- MC: asfaltos rebajados de curado medio.
- RC: asfaltos rebajados de curado rápido.

Esta denominación se suele acompañar de un número que indica el grado de viscosidad cinemática (RC-250, MC-70).

- **Emulsiones asfálticas.** Se componen de dos elementos agua y cemento asfáltico. Se utilizan en tratamientos superficiales, riegos de adherencia, mezclas abiertas, estabilización de suelos y lechadas asfálticas. Dependiendo de la carga eléctrica de los glóbulos de asfalto, pueden ser catiónicas (C, carga +) o aniónicas (A, carga -). Dependiendo de la velocidad del rompimiento de la emulsión, se clasifican en rompimiento rápido (RR), medio (RM) o lento (RL).

Tabla 1: Especificaciones del cemento asfáltico

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	GRADO DE PENETRACIÓN					
		40-50		60-70		80-100	
		MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
Asfalto original							
Penetración (25° C, 100 g, 5 s), 0.1 mm	E-706	40	50	60	70	80	100
Punto de ablandamiento, °C	E-712	52	58	48	54	45	52
Índice de penetración	E-724	-1.2	+0.6	-1.2	+0.6	-1.2	+0.6
Viscosidad absoluta (60° C), P	E-716 o E-717	200 0	-	150 0	-	100 0	-
Ductilidad (25° C, 5 cm/min), cm	E-702	80	-	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	99	-	99	-	99	-
Contenido de agua, %	E-704	-	0.2	-	0.2	-	0.2
Punto de inflamación mediante copa abierta de Cleveland, °C	E-709	240	-	230	-	230	-
Contenido de parafinas, %	E-718	-	3	-	3	-	3
Asfalto residual, luego de la prueba de acondicionamiento en película delgada rotatoria, norma de ensayo INV E-720							
Pérdida de masa por calentamiento, %	E-720	-	0.8	-	0.8	-	1.0
Penetración del residuo, en % de la penetración del asfalto original	E-706	55	-	50	-	46	-
Incremento en el punto de ablandamiento, °C	E-712	-	8	-	9	-	9
Índice de envejecimiento: relación de viscosidades (60° C) del asfalto residual y el asfalto original	E-716 o E-717	-	4	-	4	-	4

Fuente. INVIAS Capítulo 4 pavimentos asfálticos- Especificaciones generales de construcción de carreteras.

1.6.3 Materiales pétreos. Un agregado pétreo es un material mineral duro e inerte, usado en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento flexible. Los agregados se usan tanto en las capas de base granular como para la elaboración de la mezcla asfáltica. (USON, 2005)

1.6.3.1 Caracterización de material granular según su procedencia. “Aunque básicamente los agregados pueden clasificarse por su tamaño en finos y gruesos, hay que destacar la influencia de asociaciones (como por ejemplo ASTM o ACI), las cuales tienen un alcance internacional y son adoptadas para el establecimiento de normas, reglamentos y leyes, de varios países, incluido Colombia. (SILVA, 2011)

- **Agregados naturales.** Formados por procesos geológicos.

- **Agregados artificiales.** Proviene de un proceso de transformación de los agregados naturales, dichos agregados artificiales son productos secundarios. Algunos de estos agregados son los que constituyen la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el hormigón reciclado, piedra triturada.

- **Piedra triturada.** Producto que resulta de la trituración artificial de rocas, piedra boleada o pedruscos grandes, del cual todas las caras poseen aristas bien definidas, resultado de la operación de trituración.

o **Escoria siderúrgica.** Residuo mineral no metálico, que consta en esencia de silicatos y aluminosilicatos de calcio y otras bases, y que se produce simultáneamente con la obtención del hierro.

1.6.3.2 Caracterización de material granular por su tamaño.

• **Agregado grueso.** Agregado retenido de modo predominante por el tamiz No. 4 (de 4.75mm); o bien, aquella porción de un agregado que es retenida por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm). “Esta porción de agregado debe provenir de la desintegración de roca, de grava o por una combinación de ambas; debe contener fragmentos limpios, resistentes y durables, evitando la presencia de partículas planas, alargadas, blandas deberá estar exento de contaminantes tales como tierra, terrones de arcilla u otras sustancias que puedan impedir la adhesión completa del asfalto o afecten adversamente la durabilidad de la mezcla compactada” (GARZON, 2013). El agregado grueso utilizado en nuestro medio es denominado “Grava”, que resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta.

• **Agregado fino.** Agregado que pasa por el tamiz de 3/4 in (9.5 mm) y casi pasa por completo por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm). Y es retenido de modo predominante por el tamiz No. 200 (de 75 μ m); o bien, aquella porción de un agregado que pasa por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm) y es retenida de modo predominante por el No. 200 (de 75 μ m). “El agregado fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no podrá exceder del quince por ciento (15 %) de la masa total del agregado combinado, cuando el tránsito de diseño en el carril de diseño sea NT3, ni exceder de veinticinco por ciento (25 %) para tránsitos de menor intensidad.” (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2007)

• **Llenante Mineral.** Es la porción de agregado que pasa por el tamiz 75 μ m (No.200), este será polvo de piedra caliza ceniza de carbón o piedra de fundición “El llenante mineral podrá proceder de los agregados pétreos, separándose de ellos por medio de los ciclones de la planta mezcladora, o aportarse a la mezcla por separado de aquellos como un producto comercial o especialmente preparado para este fin. La proporción de llenante mineral de aporte deberá ser, como mínimo, la indicada en la Tabla 450.1, excluido el que inevitablemente quede adherido a los agregados. Este último, no podrá exceder de dos por ciento (2%) de la masa de la mezcla, salvo que el Interventor confirme que cumple las mismas condiciones que el exigido como aporte. (MIRO, 1994)

1.6.4 Método Marshall. Para llevar a cabo el diseño de una mezcla asfáltica en Colombia se utiliza comúnmente el método Marshall, que se encarga de determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente

estableciendo densidades y contenidos óptimos de vacío que se deben tener en cuenta durante la construcción.

Este método solo se aplica para mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico clasificado en cuanto a viscosidad, penetración y contenido de agregados en tamaños máximos de 25 mm. El Marshall es muy utilizado para diseño en el laboratorio, sirve de control de campo de mezclas asfálticas.

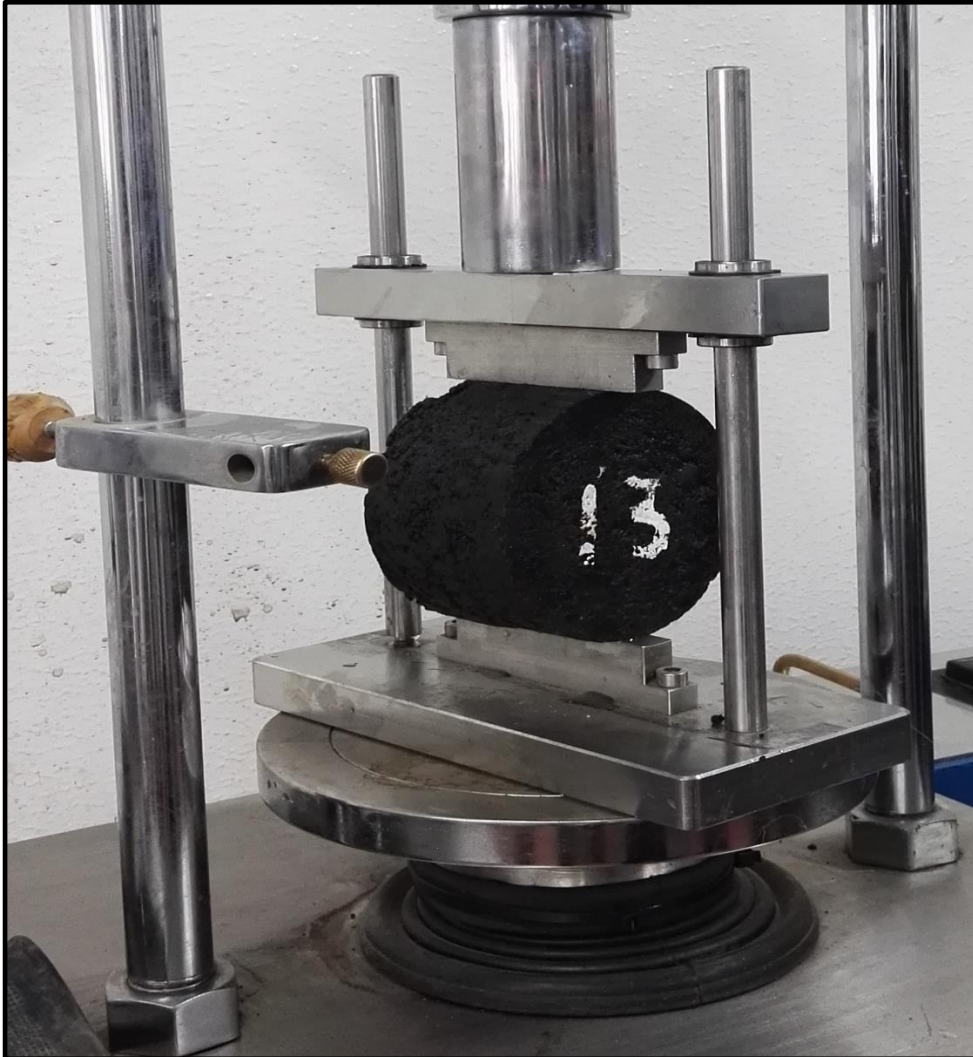
En el método Marshall se utilizan muestras de pruebas denominadas (probetas) que tienen unas dimensiones 64mm (2.5in) espesor por 103mm (4in) de diámetro. Se hace una serie de probetas con la misma combinación de agregados, pero con diferentes tipos de asfaltos. Hay dos cosas que se deben tener muy en cuenta del diseño de mezclas por medio del método Marshall: hacer un análisis de la relación de vacíos-densidad y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

Teniendo en cuenta el diseño de la mezcla asfáltica por el método Marshall que será de gran importancia para el desarrollo de este proyecto y el análisis sobre la adherencia en mezclas asfálticas en caliente, se opta por el ensayo de tracción indirecta que se destaca por ser un método simple y representativo, permite ver la respuesta de un pavimento flexible y obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper. (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2007)

1.6.5 Ensayo de tracción indirecta. Este ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, que es definida por medio del ensayo Marshall, se le aplica una carga de manera uniforme por medio de dos líneas opuestas hasta generar una rotura.

De esta manera la carga induce un esfuerzo de tracción uniforme en todo el diámetro plano de carga vertical, a continuación, se ilustrará una imagen para llevar a cabo un mejor entendimiento.

Figura 1. Probeta asfáltica sometida al ensayo de tracción indirecta



Fuente: Autores

La probeta 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 de 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 probeta, 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. 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. (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2013)

La principal ventaja de este ensayo es la sencillez en cuanto a su metodología. Es muy valorado por las instituciones que necesitan caracterizar de una forma rápida, confiable y económica los pavimentos que gestionan. Es un método que cuenta con varias ventajas:

- Es un ensayo relativamente sencillo.
- Presenta similitud con otro tipo de ensayos como el Marshall.
- El tipo de muestra y el equipo son los mismos que los utilizados para otro tipo de ensayos.
- El ensayo puede utilizarse bajo carga estática o dinámica, modificando la prensa en función del tipo de estudio que se realice.
- La rotura se inicia en una región relativamente uniforme de tensiones de tracción.
- La rotura no se ve afectada por las condiciones de la superficie de la probeta.

1.7 MARCO CONCEPTUAL

1.7.1 Mezcla asfáltica. La mezcla asfáltica también conocida como hormigón bituminoso o hormigón asfáltico, es un compuesto generado por una combinación de un ligante asfáltico y agregados pétreos en proporciones exactas, aproximadamente constituidas por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico, son componentes muy importantes para su funcionamiento. Se elaboran normalmente en plantas mezcladoras, pero en algunos casos pueden fabricarse in situ. Las proporciones de los minerales determinan buenas propiedades físicas de la mezcla y el rendimiento para un determinado uso. (IDU, 2010)

Las mezclas asfálticas es el material más utilizado común mente para la ejecución de carreteras, aeropuertos, aparcamientos y también se usa en el núcleo de ciertas presas como impermeabilizante. Toda mezcla asfáltica es diseñada para cumplir con lo siguiente:

- Debe ser duradera y resistente al despegue de la película de asfalto por efectos del agua, a la abrasión del tránsito.

- Debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno.
- Debe ser impermeable para que los componentes no estén bajo la acción de los agentes atmosféricos.
- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.

Con el fin de determinar el posible comportamiento de la mezcla asfáltica en la estructura del pavimento, se prepara una mezcla en el laboratorio en la que se analiza principalmente tres (3) propiedades.

- **Densidad.** Es el peso de un volumen específico de mezcla. La densidad obtenida en el laboratorio es la densidad patrón y la densidad obtenida in-situ se expresa como un porcentaje de la misma. Una densidad alta en el pavimento terminado se traduce en una mayor durabilidad.

- **Vacíos de aire.** Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional.

Al igual que la densidad, ya que la densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados, la durabilidad del pavimento está en función del contenido de vacíos. Un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto, sin embargo un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro.

- **Contenido de asfalto.** El contenido total de asfalto, es la cantidad necesaria que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla, manejo y durabilidad. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es decir, es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados, para que estos tengan una manejabilidad aceptable.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto, es decir que entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Las mezclas más

gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

El pavimento cuenta con una capa superior que ayuda a proporcionar la superficie para una rodadura segura, confortable y estética. Existen diferentes tipos de clasificación para poder establecer las diferencias entre las distintas mezclas.

1.7.2 Clasificación de las mezclas asfálticas. Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser:

1.7.2.1 Por fracciones de agregado pétreo empleado.

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

1.7.2.2 Por la temperatura de puesta en obra.

- Mezclas asfálticas en Caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos.
- Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

1.7.2.3 Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6%.
- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %.

1.7.2.4 Por el tamaño máximo del agregado pétreo.

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- Mezclas Finas: Se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

1.7.2.5 Por la granulometría.

- Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.
- Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

1.7.3 Tipos de mezclas

1.7.3.1 Mezcla asfáltica abierta en frío. Se conocen en Colombia como MAF-38, MAF-25 y MAF-19 de acuerdo con Invias (2013, artículo 441-13) haciendo como referencia a los números, es el tamaño máximo de los agregados pétreos en mm. En el caso IDU (2011, artículo 552) se generan unos cambios en las denominaciones de las mezclas MAF12, MAF20 y MAF25.

El ligante es una emulsión asfáltica (aunque en algunos lugares se usan los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente. Se caracterizan por tener un alto contenido de vacíos, su aplicación generalmente es en bacheos y las capas de rodadura.

1.7.3.2 Mezcla asfáltica abierta en caliente. Se conocen en Colombia como MAC-75, MAF-63 y MAF-50 de acuerdo con Invias (2013, artículo 451) haciendo como referencia a los números, es el tamaño máximo de los agregados pétreos en mm. En el caso IDU (2011, artículo 514) se generan unos cambios en las denominaciones de las mezclas MAC40, MAF50 y MAF60.

Fabricadas con asfaltos a temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores al ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

1.7.3.3 Mezcla asfáltica drenante. Se conocen en Colombia como MD de acuerdo con Invias (2013, artículo 453-13) En el caso IDU (2011, artículo 512), en la denominación de las mezclas cambia MDr15. Haciendo como referencia el número, tamaño máximo de los agregados pétreos en mm.

La mezcla presenta un porcentaje alto de vacíos (entre 20%-25%) permitiendo que se filtre el agua de lluvia con rapidez, ayudando a evacuarla hacia obras de drenaje localizadas en la vía. Otra característica importante de esta mezcla es su alta porosidad que genera una textura superficial rugosa, así contribuye a la disminución de accidentalidad en las vías. Para llevar a cabo el diseño de mezclas MD es por medio del método y ensayo cántabro.

1.7.3.4 Mezcla Discontinuas en caliente o micro aglomerados. Se conocen en Colombia como M-10, M-13, F-10, F-13 de acuerdo con Invias (2013, artículo 452-13) haciendo como referencia a los números, es el tamaño máximo de los agregados pétreos en mm. En el caso IDU se generan unos cambios en las denominaciones de las mezclas MM8, MM10, MF8 y MF10. (IDU, 2011)

Estas mezclas son utilizadas para mejorar irregularidades y deterioros superficiales en el pavimento. Para su fabricación se recomienda asfaltos que tengan GCR.

1.7.3.5 Mezclas con esqueleto mineral. Suministradas de un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.

1.7.3.6 Mezclas sin esqueleto mineral. No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

1.7.3.7 Mezclas de alto módulo. Su proceso de elaboración es en caliente, citando específicamente las mezclas de alto módulo para capas de base, se fabrican con asfaltos muy duros. A veces modificados, con contenidos asfálticos próximos al 6 % de la masa de los agregados pétreos, la proporción del polvo mineral también es alta, entre el 8% - 10%. Son mezclas con un elevado módulo de elasticidad, del orden de los 13,000 Mpa. A 20 grados centígrados y una resistencia a la fatiga relativamente elevada. Se utilizan en capas de espesores de entre 8 y 15 cm., tanto para rehabilitaciones como para la construcción de firmes nuevos con tráficos pesados de intensidad media o alta. Su principal ventaja frente a las bases de grava cementó es la ausencia de agrietamiento debido a la retracción o como las mezclas convencionales en gran espesor la ventaja es una mayor capacidad de absorción de tensiones y en general una mayor resistencia a la fatiga, permitiendo ahorra espesor.

1.7.3.8 Mezcla asfáltica densa en caliente. En Colombia las podemos encontrar como MDC (Mezcla densas en caliente), MSC (mezclas semi densas en caliente), MGC (mezclas gruesas en cliente) y MAM (mezclas de alto modulo). (INVIAS, 2013)

“Generalmente una mezcla es el resultado de la combinación de cemento asfáltico y agregados pétreos en unas proporciones exactas y predeterminadas; se pueden fabricar en caliente o en frío, siendo más usuales las Mezclas densas en caliente.

Se conocen una serie de procedimientos para calcular las cantidades de cada material en la mezcla en caliente, siendo el procedimiento Marshall uno de los métodos más usados y confiables. Sirve como agente cementante que fija los agregados en la posición adecuada para transmitir las cargas aplicado a las capas inferiores. Los agregados son por lo general piedra partida, grava, arenas, etc., se pueden usar combinados o aisladamente. (RONDÓN, 2009)

“La mezcla densa en caliente tiene la particularidad de ofrecer a la estructura la resistencia y elasticidad que necesita para soportar y absorber las cargas que circulan.” (INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO, 2008)

1.7.4 Características de las mezclas. Siempre se debe lograr un óptimo desempeño de las mezclas asfálticas en caliente, se debe realizar un buen diseño de esta mezcla, es así como varias características contribuyen a la buena calidad de los pavimentos.

- **Resistencia a la fatiga.** Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Expresa la capacidad de la mezcla a deformarse repetidamente sin fracturarse.

- **Resistencia al deslizamiento.** Capacidad de proveer suficiente fricción para minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada.

- **Estabilidad.** La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y desplazamientos de mezcla, que intervienen directamente en la funcionalidad de la vía.

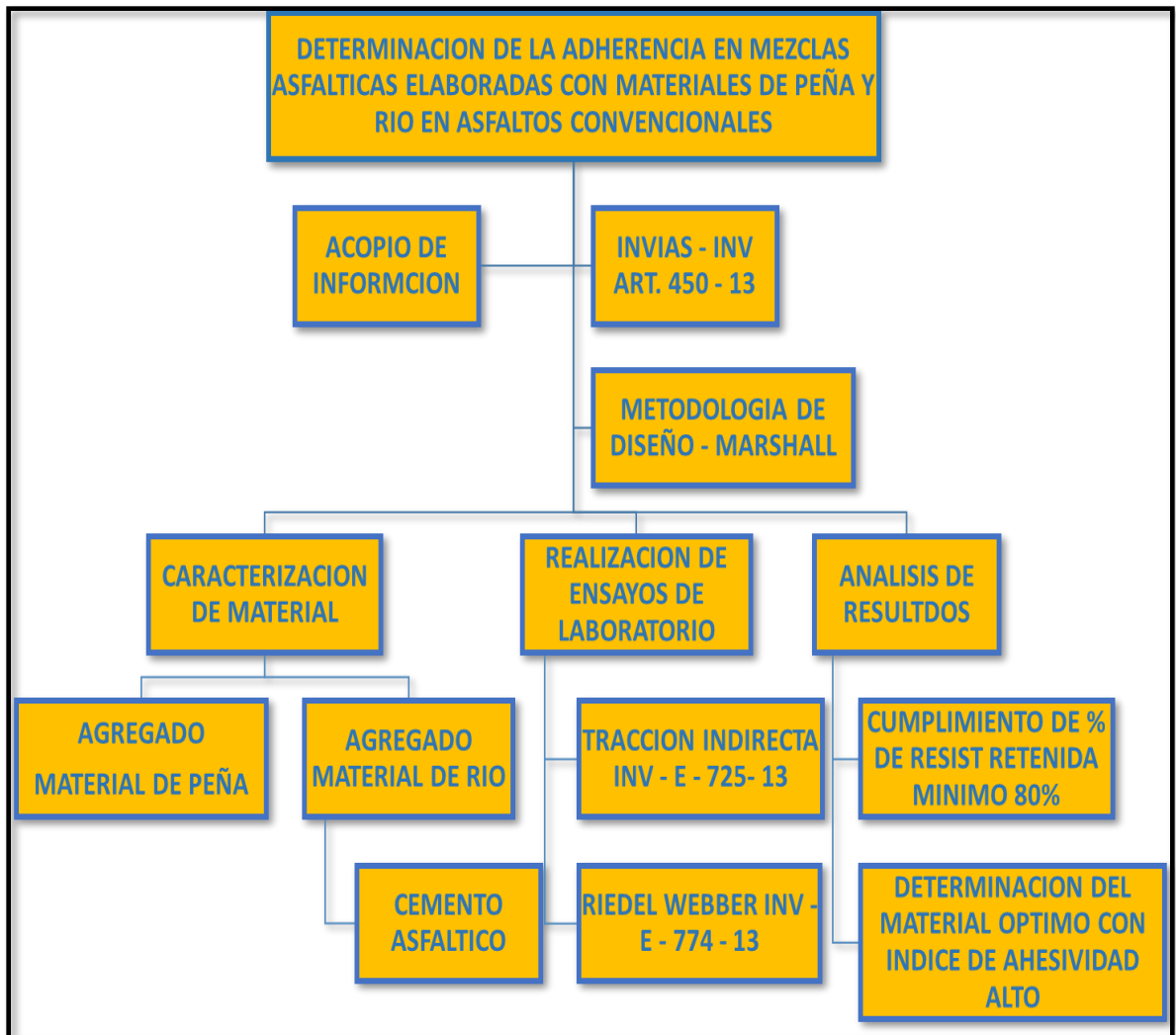
La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado, está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

- **Flujo.** El flujo se forma por la deformación máxima que se obtiene en la probeta de concreto asfáltico al momento en que se produce la falla por la aplicación de la carga. El flujo se expresa en centésimas de pulgada.

2. METODOLOGIA

Para el desarrollo de este trabajo investigación se sub – divide la metodología en cuatro e importantes áreas las cuales van permitiendo dar respuesta a la pregunta de investigación.

Figura 2. Esquema metodología de investigación



Fuente: Autores

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 OBTENCIÓN Y ACOPIO DE INFORMACIÓN

Esta de un alto grado de importancia porque del buen tratamiento de la información depende la realización de los ensayos de laboratorio de forma adecuada, la obtención de la información se genera por medio de consulta técnica siguiendo las especificaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en su artículo 450 – 13 mezclas asfálticas en caliente de gradación continua.

Adicionalmente, se debe recopilar información sobre el diseño de la mezcla, por medio de la metodología Marshall junto con esta se requiere conocer los parámetros de verificación del diseño Marshall, en cuanto a las propiedades del asfalto, los agregados, la granulometría adecuada y el chequeo del porcentaje de adherencia obtenido del ensayo Tracción indirecta. De la mano a este se realiza el ensayo evaluador de adherencia Riedel Webber.

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

Se deben realizar los ensayos correspondientes al agregado, pues de esta manera se garantiza que estos trabajen de forma adecuada generando así la confiabilidad en los resultados y en la obtención de los objetivos del presente trabajo de investigación.

3.2.1 Caracterización al agregado de río y peña. Se realizaron a los agregados los ensayos necesarios para el cumplimiento de las especificaciones exigidas por el artículo 450 – 13 del INVIAS. Algunos de los ensayos a los que se debe someter al agregado será resistencia al desgaste por Micro – Deval, 10% de finos, se analiza también la geometría de las partículas por medio del ensayo de caras fracturadas y el índice de aplanamiento y alargamiento entre otros.

3.2.1.1 Caracterización del agregado de río

Tabla 2. Resultados de ensayos de granulometría para agregado de río.

ENSAYOS PARA CARACTERIZACION DEL MATERIAL - RIO		
PROCEDENCIA DEL MATERIAL	CONCRESCOL	
ENSAYO	RESULTADOS	
		TOTAL PONDERADO
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS (%) INV E - 227	COMBINACION AGREGADO GRUESO 3/4"	91%
	COMBINACION AGREGADO GRUESO 1/2"	84%
EQUIVALENTE DE ARENA (%) INV E - 133	ARENA NATURAL	92%
	ARENA TRITURACION	82%
	COMBINACION DE AGREGADOS FINOS	87%
INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO (%) INV E - 230	INDICE DE APLANAMIENTO	9%
	INDICE DE ALARGAMIENTO	6%
DENSIDAD Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO (KG/M3) INV E - 223	DENSIDAD SECA AL HORNO	2647
	DENSIDAD SATURADA Y SUPERFICIALMENT SECA (SSS)	2674
	DENSIDAD APARENTE	2740
AZUL DE METILENO INV E - 235 (%)		3.4%
ABRASION EN LA MAQUINA MICRODEVAL (%) INV E - 238	TM 1/2"	23.6%
	TM 3/4"	23.9%
PESOS ESPECIFICOS SUELTO/APISONADO (g/cm3) INV E - 217	PESO UNITARIO SUELTO	1473
	PESO UNITARIO APISONADO	1547

Fuente: Autores

3.2.1.2 Caracterización del agregado de peña

Tabla 3. Resultados de ensayos de granulometría para agregado de peña

ENSAYOS PARA CARACTERIZACION DEL MATERIAL - RIO			
PROCEDENCIA DEL MATERIAL		VISTA HERMOSA Y DROMOS	
ENSAYO		RESULTADOS	
		V. HERMOSA	DROMOS
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS (%) INV E – 227	COMBINACION AGREGADO GRUESO 3/4"	93	92
	COMBINACION AGREGADO GRUESO 1/2"	87	85
EQUIVALENTE DE ARENA (%) INV E – 133	ARENA NATURAL	93	92
	ARENA TRITURACION	84	83
	COMBINACION DE AGREGADOS FINOS	87	86
INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO (%) INV E – 230	INDICE DE APLANAMIENTO	7	6
	INDICE DE ALARGAMIENTO	6.5	7.5
DENSIDAD Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO (KG/M3) INV E – 223	DENSIDAD SECA AL HORNO	2580	2586
	DENSIDAD SATURADA Y SUPERFICIALMENT SECA (SSS)	2615	26152
	DENSIDAD APARENTE	2656	2653
	ABSORCION (%)	1.7	1.7
AZUL DE METILENO INV E – 235 (%)			3.6
ABRASION EN MICRODEVAL (%) INV E – 238		15.8	15.8
PESOS ESPECIFICOS SUELTO/APISONADO (g/cm3)	PESO UNITARIO SUELTO	1450	1457
	PESO UNITARIO APISONADO	1572	1574,00
10% DE FINOS		ENTRE 7.5 Y 12.5	ENTRE 8 Y 12.5

Fuente: Autores

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFALTICO

La caracterización a este importante componente de las mezclas asfálticas se rige por normativa según el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), en su artículo 400, donde hace referencia específicamente a los cementos asfálticos. Se realizaron los ensayos de requisitos mínimos de calidad como lo es el ensayo de penetración a 25 grados, 100 g, 5 s, de igual manera el ensayo de punto de ablandamiento, viscosidad absoluta entre otros.

El asfalto que se usó para la realización de los ensayos en este trabajo de investigación es de ECOPETROL. La caracterización de este y su ficha técnica se evidencia en el (ver anexo D).

3.4 DISEÑO DE LA MEZCLA

3.4.1 Granulometría mezcla asfáltica MDC – 19. Para tal fin se tiene en cuenta el artículo 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), de las especificaciones técnicas del Instituto Nacional de Vías INVIAS, para poder determinar la granulometría de una mezcla asfáltica MDC-19.

A continuación, se evidencia la tabla 450 – 6 del artículo 450 mencionado anteriormente.

Tabla 4. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas - MDC 19

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5 1 ½"	25.0 1"	19.0 ¾"	12.5 ½"	9.5 ⅜"	4.75 No. 4	2.00 No. 10	0.425 No. 40	0.180 No. 80	0.075 No. 200
		% PASA									
DENSA	MDC-25		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-19			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-10					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
SEMIDENSA	MSC-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-19			100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
GRUESA	MGC-38	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-25		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
ALTO MÓDULO	MAM -25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO (±)		4 %					3 %			2 %	

Fuente. INVIAS artículo 450, tabla 450 – 6

Basados en la tabla anterior se obtiene la cantidad de agregado necesario por porcentaje de asfalto requerido, de igual manera se obtiene la cantidad de asfalto necesaria para la elaboración de la mezcla.

Tabla 5. Granulometría mezcla asfáltica MDC - 19

MDC-19							
% ASFALTO			4,0	4,5	5,5	6,0	6,5
TAMIZ (PULG)	% PASA	% RETENIDO	54 g de CA	60 g de CA	66 g de CA	72 g de CA	78 g de CA
3/4	100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1/2	87,5	12,5	143,3	142,5	141,8	141,0	140,3
3/8	79	8,5	97,4	96,9	96,4	95,9	95,4
4	57	22	252,1	250,8	249,5	248,2	246,8
10	37	20	229,2	228,0	226,8	225,6	224,4
40	19,5	17,5	200,6	199,5	198,5	197,4	196,4
80	12,5	7,0	80,2	79,8	79,4	79,0	78,5
200	6	6,5	74,5	74,1	73,7	73,3	72,9
FONDO	0	6,0	68,8	68,4	68,0	67,7	67,3
TOTAL, AGREGADOS (g)			1146	1140	1134	1128	1122
TOTAL, ASFALTO (g)			54	60	66	72	78

Fuente. Autores

Tabla 6. Granulometria mezcla mixta

MDC-19								
% ASFALTO			4.0	4.5	5.5		6.0	6.5
TAMIZ (PULG)	% PASA	% RETENIDO	54 g de CA	60 g de CA	66 g de CA		72 g de CA	78 g de CA
3/4	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/2	87,5	12.5	143.3	142.5	70.9	70.9	141.0	140.3
3/8	79,0	8.5	97.4	96.9	48.2	48.2	95.9	95.4
4	57,0	22	252.1	250.8	124.75	124.75	248.2	246.8
10	37,0	20	229.2	228.0	113.4	113.4	225.6	224.4
40	19,5	17.5	200.6	199.5	99.25	99.25	197.4	196.4
80	12,5	7.0	80.2	79.8	39.7	39.7	79.0	78.5
200	6,0	6.5	74.5	74.1	36.85	36.85	73.3	72.9
FONDO	0,0	6.0	68.8	68.4	34	34.0	67.7	67.3
		100	1146	1140	1134		1128	1122

Fuente. Autores

Para obtener el porcentaje óptimo de asfalto para el diseño de la mezcla se trae a colación la norma del INVIAS E 748 – 13 Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall, que nos dice “ los valores de estabilidad, flujo, densidad, vacíos totales y con aire, vacíos llenos con asfalto se representan gráficamente contra el contenido de ligante de los diferentes juegos de probetas, para determinar el contenido óptimo de asfalto de la mezcla”

Sabiendo esto, en el presente trabajo de investigación la evaluación de las variables mencionadas por el INVIAS anteriormente, junto con el contenido óptimo de asfalto se toma del proyecto de investigación Evaluación del comportamiento de mezclas asfálticas recicladas mediante el ensayo Marshall elaborado por los compañeros Ángela Viviana González Hernández y William Leonardo Oliveros de la Universidad Católica de Colombia. De lo anterior se hace salvedad que dicho proyecto de investigación realiza el diseño convencional de la mezcla MDC – 19 para hacer el contraste con los otros diseños de adición de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) donde se obtuvo un porcentaje óptimo de asfalto de 5.5% (GONZÁLEZ Ángela Viviana, 2016)

Adicionalmente se realizaron los otros diseños de las mezclas con agregado mixto y de peña partiendo del porcentaje óptimo de asfalto del 5.5%, es decir, que para el diseño de la mezcla con inclusión de agregado de peña y agregado mixto la dosificación de los agregados varía, pero el porcentaje óptimo de asfalto es el mismo.

3.5 REALIZACION DE ENSAYOS DE LABORATORIO

El presente trabajo de investigación se debe desarrollar paralelo a la normativa establecida por el Instituto Nacional de Vías INVIAS, como se mencionó anteriormente. Para lograr un desarrollo adecuado de la metodología se deben realizar diferentes de ensayos destinados a cumplir las especificaciones del artículo 450 – 11 para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua y el artículo 400 – 07, los anteriores como exigencias mínimas a los agregados y al cemento asfáltico respectivamente. Cumpliendo con dichas exigencias se realizaron los ensayos Tracción Indirecta (INV – E 725-13) para cumplir con la especificación de verificación del diseño Marshall y Riedel Webber (INV – E 774-13) como ensayo evaluador de adherencia.

3.5.1 Tracción indirecta. De este ensayo se busca obtener el porcentaje de resistencia conservada o resistencia retenida para cada una de las alternativas propuestas en el presente trabajo de investigación, para la realización de este ensayo se propone los siguientes sub grupos

Tabla 7. Distribución de briquetas para realización de ensayo

TRACCION INDIRECTA (INV E - 725-13)					
Grupo 1 - Agregado de peña		Grupo 2 - Agregado de río		Grupo 3 - Agregado mixto	
Asfalto	No. Briquetas	Asfalto	No. Briquetas	Asfalto	No. Briquetas
40-50	6	40-50	6	40-50	6
60-70	6	60-70	6	60-70	6
80-100	6	80-100	6	80-100	6
Total	18	Total	18	Total	18

Fuente. Autores

En total se proponen 54 briquetas correspondientes a 18 por cada grupo (agregado de peña, río y mixto) y 6 por tipo de asfalto, de las 6 se seleccionan 3 para fallar después de ser sumergidas en baño maría a 60 grados centígrados durante 24 horas y baño maría a 25 grados centígrados durante 1 hora. Las 3 restantes (secas) únicamente se introducen al agua antes de ser falladas a 25 grados durante 30 min; este mismo procedimiento se hace efectivo para los otros dos grupos.

3.5.1.1 Ejecución de ensayo. En primer lugar, se lleva a cabo la preparación del material que es necesario para la realización de las primeras 18 briquetas.

Figura 3. Dosificación del material río y peña



Fuente. Autores

Se dosifica la cantidad de ligante asfáltico necesario para una mezcla que contiene un porcentaje de 5.5%-C. A

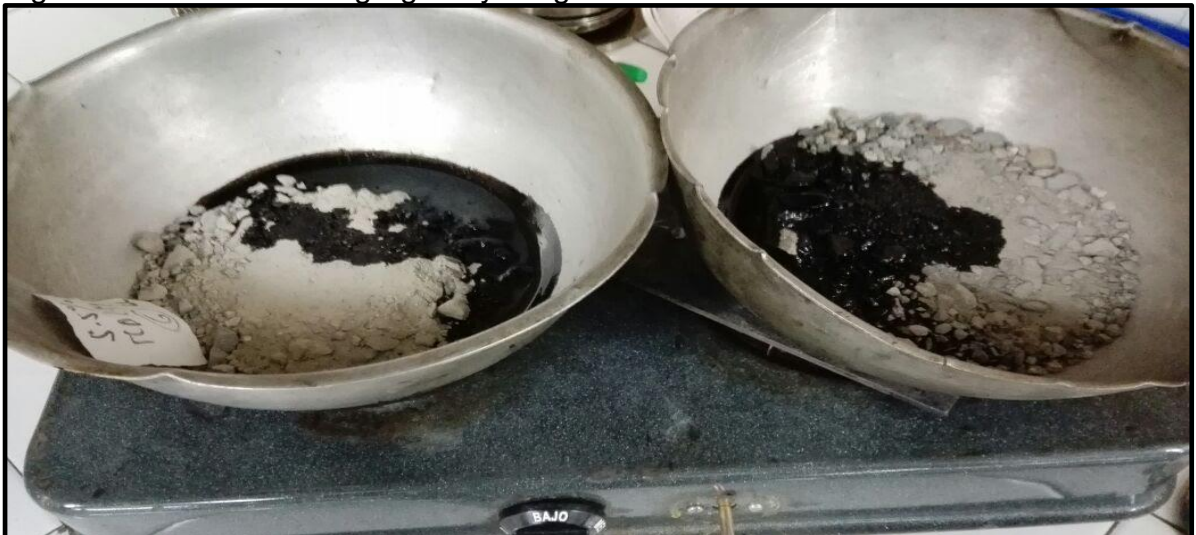
Figura 4. Ligante Asfáltico



Fuente. Autores

Luego de tener la dosificación lista, se realiza la mezcla de los agregados pétreos y ligante asfáltico, hasta llegar a una temperatura de 150°C.

Figura 5. Mezclado del agregado y el ligante



Fuente. Autores

Se lleva la mezcla a la prensa rápidamente para que no pierda temperatura, se está compactando a una temperatura que está entre los 135°C – 140°C, a cada capa se le dan 75 golpes.

Figura 6. Prensa para compactar las probetas



Fuente. Autores

Se elaboran seis especímenes para cada prueba, tres para ser probados en seco y tres para ser probados después de saturación parcial.

Figura 7. Probetas compactadas



Fuente. Autores

Se acondicionan las probetas parcialmente saturadas, sumergiéndolos en un baño de agua destilada a $60 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ durante 24 Horas (Figura 8).

Figura 8. Acondicionamiento de las probetas saturadas



Fuente. Autores

El día siguiente al completar las 24 horas de haber sumergido las probetas saturadas, se ajusta la temperatura del subgrupo conservado en seco, colocando las briquetas en un baño de agua a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 20 minutos.

Figura 9. Probetas en seco



Fuente. Autores

Se coloca una probeta en el aparato de carga, con las franjas de carga centrada y paralela sobre el plano diametral. Se aplica una carga diametral a una deformación de 50 mm/min (2" /min) hasta que alcance la carga máxima y se registra dicha carga.

Figura 10. Probeta sometida al ensayo tracción indirecta



Fuente: Autores

Figura 11. Probeta con la carga máxima



Fuente. Autores

Se continúa con este proceso hasta fracturar en su totalidad los dos subgrupos de probetas.

Figura 12. Subgrupo-Secas y Saturadas



Fuente. Autores

Por último, se desmonta el aparato de ensayo y se abre el espécimen estimando visualmente el comportamiento del agregado con el bitumen.

Figura 13. Probeta fallada



Fuente. Autores

Se inspeccionan todas las superficies, las caras falladas, esto nos ayuda a buscar evidencia de agregado fracturado que pudo haber influido en el resultado de la prueba.

Figura 14. Inspección visual



Fuente. Autores

3.5.2 Riedel Webber. Según la norma INVIAS INV – 774 – 13 en su objetivo “Este ensayo describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la adhesividad de los ligantes asfálticos a una arena natural o de trituración, cuando la mezcla agregado – ligante se somete a la acción de soluciones de carbonato de sodio de concentración molar creciente”. (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2013)

Como consecuencia al objetivo principal del ensayo y dándole cumplimiento a los objetivos del presente documento, se elaboró el ensayo Riedel Weber con agregado mixto para los cementos asfálticos 40 – 50, 60 – 70 y 80 -100 como se muestra a continuación.

3.5.2.1 Tamizado, secado y mezcla entre el agregado y el cemento asfáltico

Figura 15. Materiales para realización del ensayo



Fuente. Autores

Figura 16. Tamizado, secado y mezcla



Fuente. Autores

Lo anterior se realizó para cada una de las muestras según la norma, por ejemplo, el material utilizado no corresponde a diseños de mezclas convencionales, la norma en sus apartados menciona que el ensayo se debe realizar con el material retenido en el tamiz número 80.

Además, la proporción que esta plantea para la mezcla entre agregado y cemento asfáltico está dado por 71 volúmenes de agregado contra 29 volúmenes de asfalto.

3.5.2.2 Concentración y distribución del reactivo. El reactivo utilizado en este ensayo es el agua destilada y soluciones de carbonato de sodio, el primero solo se usa para el tubo de ensayo número cero mientras que el segundo se utiliza para los tubos de ensayo con números asignados correspondientes a 1,2,3,4,5,6,7,8 y 9.

Por otra parte, la concentración del reactivo de solución de carbonato está dada por la figura 5, en ella se especifica la cantidad de reactor que se debe aplicar para cada molaridad, esta cantidad está dada para un litro de agua.

Tabla 8. Concentración de reactivo

MOLARIDAD	g DE Na_2CO_3 / LITRO DE SOLUCIÓN
M/256	0.414
M/128	0.828
M/64	1.656
M/32	3.312
M/16	6.625
M/8	13.23
M/4	26.5
M/2	53.0
M/1	106.0

Fuente. INV E 774 – 13 Tabla 774 – 1

Figura 17. Dosis de carbonato sódico en tubos de ensayo



Fuente. Autores

3.5.2.3. Criterios para inspección visual. Para darle mayor trascendencia a este criterio de evaluación se cita al Instituto Nacional de Vías en la norma INV E 774 – 13 numeral 6.3.5, los criterios de evaluación serán:

- El desprendimiento entre el ligante y el agregado se considera total, cuando prácticamente todos los granos de arena aparezcan limpios; en esta situación los granos estarán sueltos y se hace rodar el tubo de ensayo entre los dedos, los granos de arena seguirán libremente la rotación dada al tubo.
- El desprendimiento se considerará parcial cuando en los granos de arena aparezcan zonas limpias, aunque se mantiene cierta cohesión entre ellos; en este caso, los granos de arena aún envueltos por el ligante permanecen aglomerados en el fondo del tubo de ensayo.

Adicionalmente el valor de índice de adhesividad Riedel Weber se asigna de acuerdo a la tabla 774 – 2 del INVIAS y considera los siguientes criterios para la asignación del índice de adhesividad.

- Si se produjera un desprendimiento parcial (no total) del ligante asfáltico con algunas de las soluciones referidas en la tabla 774 – 2, el índice de adhesividad se podrá expresar con dos números: el correspondiente a la concentración menor con la que se produce algún desprendimiento y el que produce el desprendimiento total de acuerdo con la tabla.
- Si el desprendimiento total del ligante se produce solamente con el agua destilada el índice de adhesividad es 0.
- Si la solución molar de carbonato sódico M/1 no produce el desprendimiento total del ligante asfáltico, el índice de adhesividad de la mezcla en estudio es 10. (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2013).

Tabla 9. Valor Riedel Weber

SOLUCIÓN DE ENSAYO	ÍNDICE DE ADHESIVIDAD RIEDEL-WEBER
Desplazamiento total con agua destilada	0
M/256	1
M/128	2
M/64	3
M/32	4
M/16	5
M/8	6
M/4	7
M/2	8
M/1	9
Si no hay desplazamiento total con la solución M/1	10

Fuente. INVIAS Tabla 774 - 2

Teniendo en cuenta lo anterior se dio una asignación de valor de Riedel Weber a la mezcla de agregado fino con el bitumen para el material mixto de acuerdo a la norma, además, se realiza el contraste entre los resultados obtenidos por los compañeros Diego Hernán Solano Gómez y Juan Manuel Gómez Hernández, estudiantes de la Universidad Católica de Colombia producto de la realización de este ensayo para los agregados de peña y río con cementos asfálticos 40 – 50, 60 – 70 y 80 – 100.

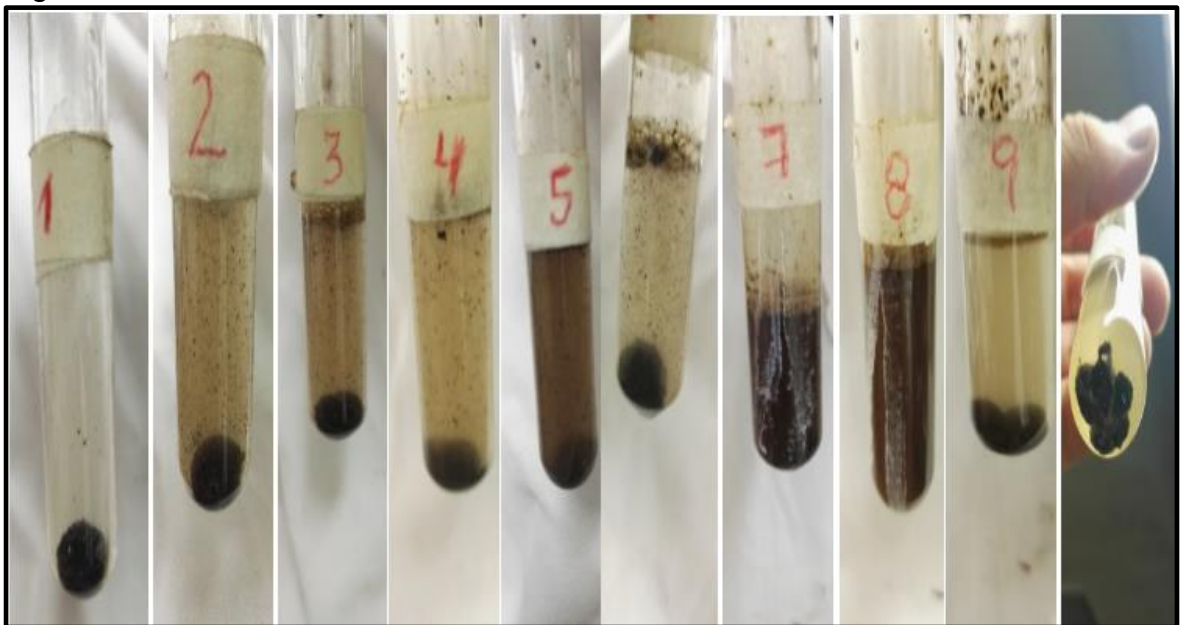
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 RIEDEL WEBER

A continuación, se expone de manera detallada y clara los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados en la universidad para la mezcla de material de río y peña dándole continuidad y trascendencia a la búsqueda de los objetivos planteados en la presente investigación.

4.1.1 Agregado mixto con inclusión de asfalto 40 – 50

Figura 18. Resultado de laboratorio asfalto 40 - 50

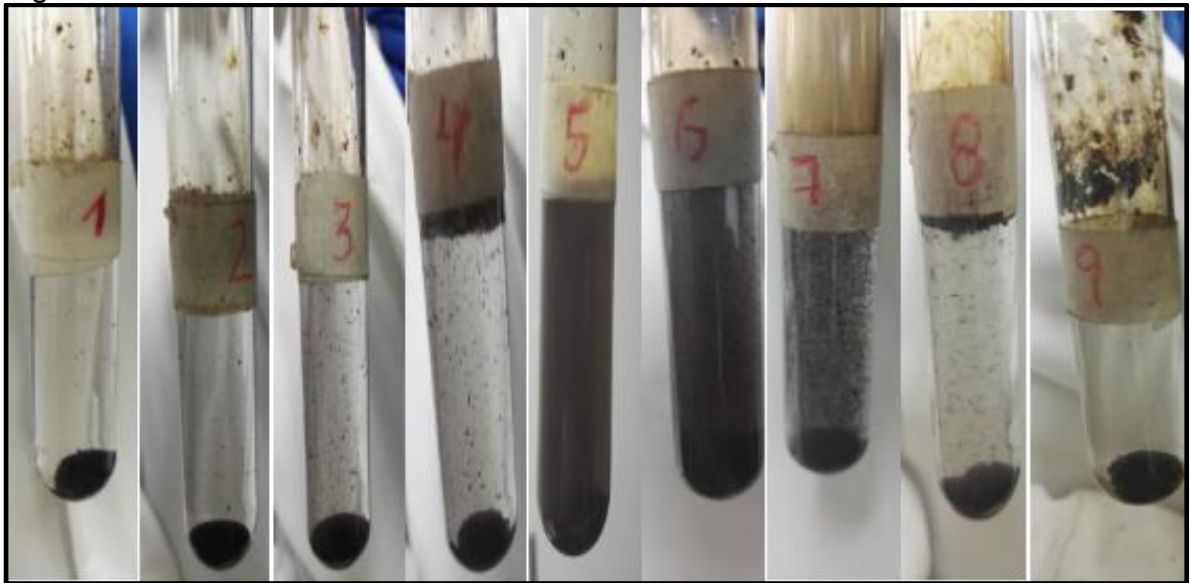


Fuente. Autores

La presente figura muestra desprendimiento parcial en algunos de los tubos de ensayo, por ejemplo, se toma como referencia el tubo de ensayo 5 con concentración molar M/4 con un valor de adhesividad Riedel Weber 7, adicionalmente en el tubo de ensayo número 9 no se evidencia desprendimiento total, esto quiere decir, que el tipo de desprendimiento es parcial por tanto el número de adhesividad de la mezcla es 10 según criterio de evaluación descrito por norma.

4.1.2 Agregado mixto con inclusión de asfalto 60 – 70

Figura 19. Resultado de laboratorio asfalto 60 - 70



Fuente. Autores

Para este tipo de asfalto realizando inspección visual se determina que hay indicios de posible desprendimiento parcial, pues se evidencia dicho desprendimiento entre el agregado fino y el asfalto en los tubos de ensayo número 5, 6 y 7 con mayor cantidad de partículas de asfalto en suspensión, sin embargo para el presente cemento asfáltico no se presenta desprendimiento total, por lo cual el valor de adhesividad Riedel Weber para este es de 5 con concentración molar M/16 porque se reporta la menor concentración que genera desprendimiento parcial, también se determina índice de adhesividad 10 pues aun con la concentración mayor M/1 no se genera un desprendimiento total en la mezcla.

4.1.3 Agregado mixto con inclusión de asfalto 80 - 100

Figura 20. Resultado de laboratorio asfalto 80 -100



Fuente. Autores

Figura 21. Evidencia desprendimiento total para asfalto 80 – 100



Fuente. Autores

Para este cemento asfáltico se obtiene como resultado que el índice de adhesividad Riedel Weber asignado es de 8 con concentración molar M/2, en la figura 21 se observa que hay desprendimiento total, pues las partículas de asfalto 80 – 100 se desprenden del agregado en su totalidad, por esto y según los criterios de evaluación visual el valor de adhesividad Riedel Weber fue de 8.

Tabla 10. Índice de adhesividad Riedel Weber por tipo de asfalto

Tubo de Ensayo	Solución de ensayo	Índice de adhesividad	Tipo de cemento asfáltico		
			40 - 50	60 - 70	80 - 100
0	0	0	40 - 50	60 - 70	80 - 100
1	M/256	1			
2	M/128	2			
3	M/64	3			
4	M/32	4			
5	M/16	5			
6	M/8	6			
7	M/4	7			
8	M/2	8			
9	M/1	9			
Valor del Índice de adhesividad Riedel Weber			10	10	8

Fuente. Autores

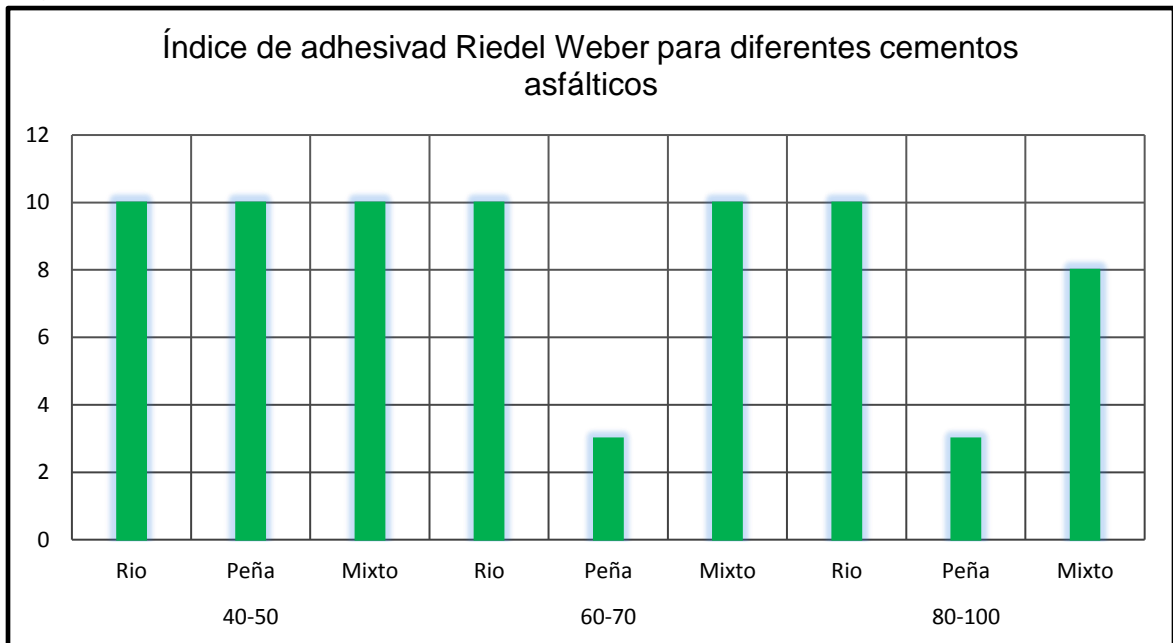
4.1.4 Análisis y comparación de resultados obtenidos

Tabla 11. Resumen valores de Índice de adhesividad Riedel Weber

Índice de adhesividad por tipo de asfalto		
Cemento Asfáltico	Agregado	Índice de Adhesividad Riedel Weber obtenido
40-50	Río	10
	Peña	10
	Mixto	10
60-70	Río	10
	Peña	3
	Mixto	10
80-100	Río	10
	Peña	3
	Mixto	8

Fuente. Autores

Figura 22. Evaluación y comportamiento - índice de adhesividad Riedel Weber



Fuente. Autores

En la figura 22 se tiene los resultados obtenidos de la realización del ensayo Riedel Weber como ensayo evaluador de adhesividad entre el agregado fino y el ligante asfáltico. Como se mencionó anteriormente se toma como resultado de referencia los valores de índice de adhesividad Riedel Weber de la tesis “Determinación del agregado fino (agregado de río o agregado de peña) con mayor adhesividad al ligante asfáltico” desarrollada por compañeros de nuestra universidad, los valores relacionados en la gráfica anterior evidencian el comportamiento constante en la combinación de agregados para los cementos asfálticos 40 – 50 y 60 – 70, también podemos observar que dicho agregado pierde adhesividad cuando este interactúa con el cemento asfáltico de penetración 80 – 100.

4.2 TRACCIÓN INDIRECTA

4.2.1 Ecuaciones a utilizar para el cálculo de resistencia conservada

- Algunos criterios a tener en cuenta para el cálculo de la resistencia a la tensión y resistencia conservada.

En primer lugar, a las probetas se les determina una altura inicial inmediatamente antes de la prueba en (mm), después de esto se toma la medida de su diámetro a cada espécimen, además se registra la lectura cuando alcanza su carga máxima, esta carga nos dio en (KN) pero hicimos la conversión a (N) para que la respuesta nos quedara en (KPa).

En segundo lugar, obteniendo los valores anteriormente mencionados se calculó la resistencia a la tensión para cada espécimen, tipo de agregado y asfalto como lo indica la ecuación 1.

Ecuación 1. Resistencia a la tensión

$$R_T = \frac{2000 \times P}{\pi \times t \times D}$$

$$\pi = 3.141592654$$

$$t = \text{Altura espécimen} \quad (\text{mm})$$

$$D = \text{Diámetro espécimen} \quad (\text{mm})$$

$$P = \text{Carga máxima} \quad (\text{Newton})$$

• Por último, se calculó el porcentaje de resistencia conservada a la tracción indirecta de todas las probetas tanto del subgrupo sometidas al agua como las del subgrupo mantenido en seco, seguido de esto se procede a sacar un promedio de las resistencias obtenidas por tipo de asfalto utilizado, se divide el subgrupo acondicionado al agua entre el subgrupo acondicionado en seco y el resultado se multiplica por cien, tal como se indica en la ecuación 2.

Ecuación 2. Relación de resistencias a la tensión

$$RRT = \left[\frac{R_{TH}}{R_{TS}} \right] \times 100$$

RTH = Resistencia promedio a la tensión, del subgrupo acondicionado al agua.

RTS = Resistencia promedio a la tensión, del subgrupo mantenido en seco

En la tabla 12 encontramos relacionado el porcentaje mínimo exigido por el Instituto Nacional de Vías INVIAS para la verificación del diseño preliminar en cuanto adherencia se refiere, dicho porcentaje es el punto de referencia que adoptamos para evaluar la adherencia, si el porcentaje de resistencia conservada obtenido es inferior al 80% el material no cumple con esta propiedad y debe ser modificado con un aditivo mejorador de adherencia.

Tabla 12. Verificación de resistencia

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO INV	VALOR	APLICABILIDAD
Adherencia: Resistencia retenida, % mínimo	E-725	80	Todas las mezclas
Resistencia a la deformación plástica: velocidad máxima de deformación en el intervalo de 105 a 120 minutos, $\mu\text{m}/\text{min}$. - Temperatura media anual del aire $> 24^{\circ}\text{C}$ - Temperatura media anual del aire $\leq 24^{\circ}\text{C}$	E-756	15 20	- Tránsito NT3: para capas de rodadura e intermedia - Mezclas de alto módulo
Módulo resiliente, MPa - Mezclas de alto módulo compactadas con 75 golpes por cara, valor mínimo a 20°C - Otras mezclas	E-749	10,000 (Nota 1)	- Mezclas de alto módulo - Opcional para otras mezclas, según documentos del proyecto
Leyes de fatiga - Mezclas de alto módulo: ensayo a 20°C y 30 Hz, ϵ_6 mínimo ($\mu\text{m}/\text{m}$) - Otras mezclas	E-808 E-784 E-808	100 (Nota 1)	- Obligatorio para mezclas de alto módulo - Opcional para otras mezclas, según documentos del proyecto

Fuente. INVIAS-Tabla: 450-11

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la realización del ensayo tracción indirecta para los materiales y cementos asfálticos propuestos en el presente trabajo de investigación.

Inicialmente se tienen tablas resumen con los valores obtenidos de resistencia a la tensión junto con las gráficas correspondientes de dichas resistencias, adicionalmente se presenta la gráfica del porcentaje de resistencia conservada, lo anterior para cada uno de los materiales planteados.

Finalmente, en la tabla 16 se evidencia el resumen de los valores obtenidos del porcentaje de resistencia conservada para cada tipo de mezcla. De igual manera la figura 29 contiene los diagramas de barras de dichos porcentajes.

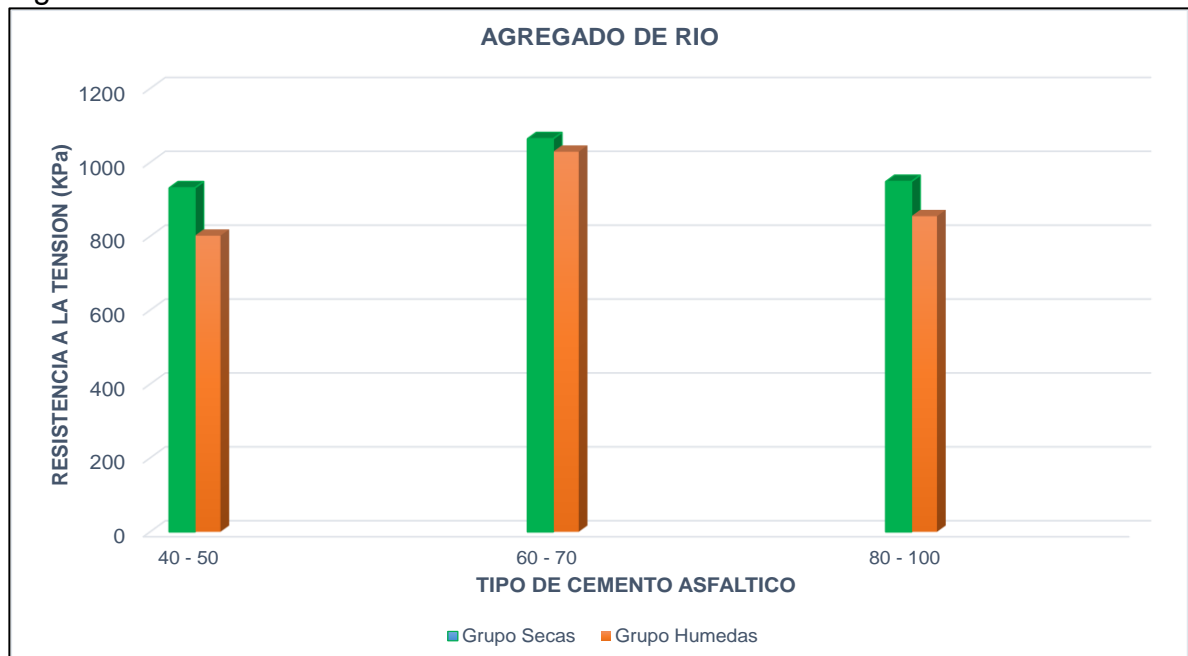
4.2.2 Material de río

Tabla 13. Resultado agregado de río

TIPO DE C.A	Grupo-Secas			Grupo-Humedas			RRT
	Nº Briqueta	RT (KPa)	Promedio	Nº Briqueta	RT (KPa)	Promedio	
40 - 50	2	922	931	1	613	802	86.1%
	4	832		3	903		
	5	1038		6	888		
60 - 70	8	1058	1064	7	961	1029	96.7%
	9	1019		10	1028		
	11	1116		12	1097		
80 - 100	13	903	948	14	660	854	90.1%
	15	1038		16	786		
	18	903		17	1118		

Fuente. Autores

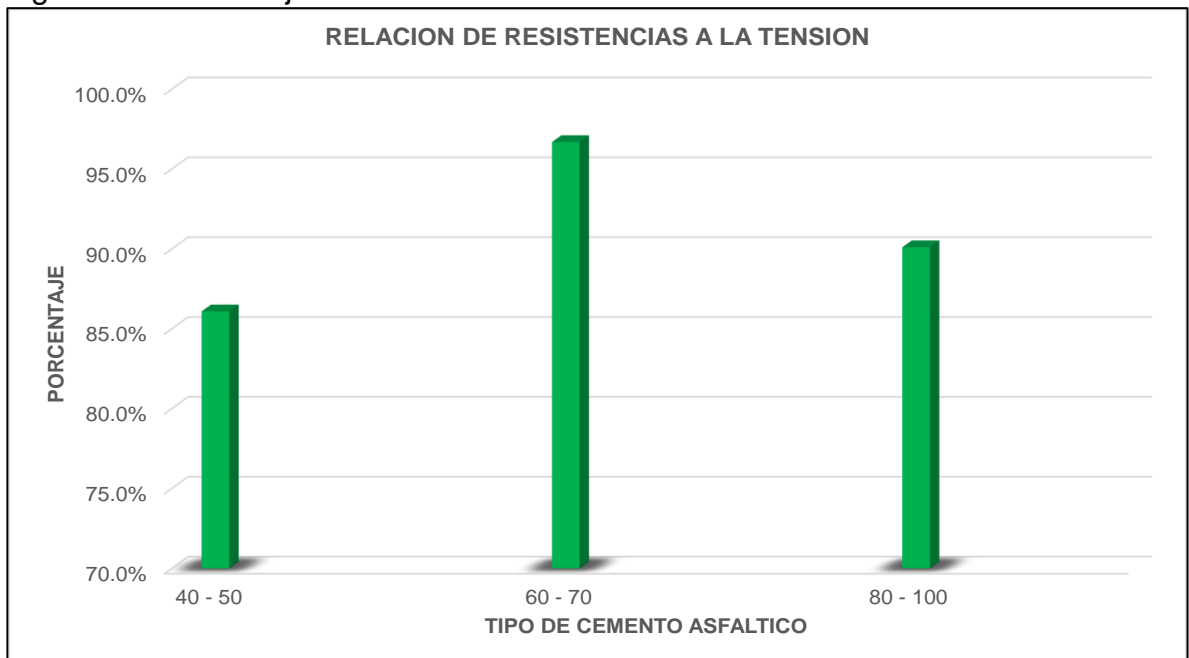
Figura 23. Gráfico de la resistencia a la tensión - material de río



Fuente. Autores

En la tabla 13 y gráficamente se observa que el asfalto con menor valor de resistencia conservada fue el correspondiente a 40 – 50 posiblemente porque este es más duro que los otros, además se evidencia que los valores de resistencia a la tensión indirecta son menores en el grupo de briquetas húmedas (en inmersión durante 24 horas a 60 grados Celsius), se obtuvo lo esperado, pues el daño por humedad afecta directamente a la mezcla.

Figura 24. Porcentaje de resistencias del material de río



Fuente. Autores

Se evidencia que el material de río presenta buen comportamiento y mejor valor de resistencia conservada para el asfalto 60 – 70 con un porcentaje superior al 95%, los otros cementos asfálticos cumplen la especificación porque están por encima del 85%.

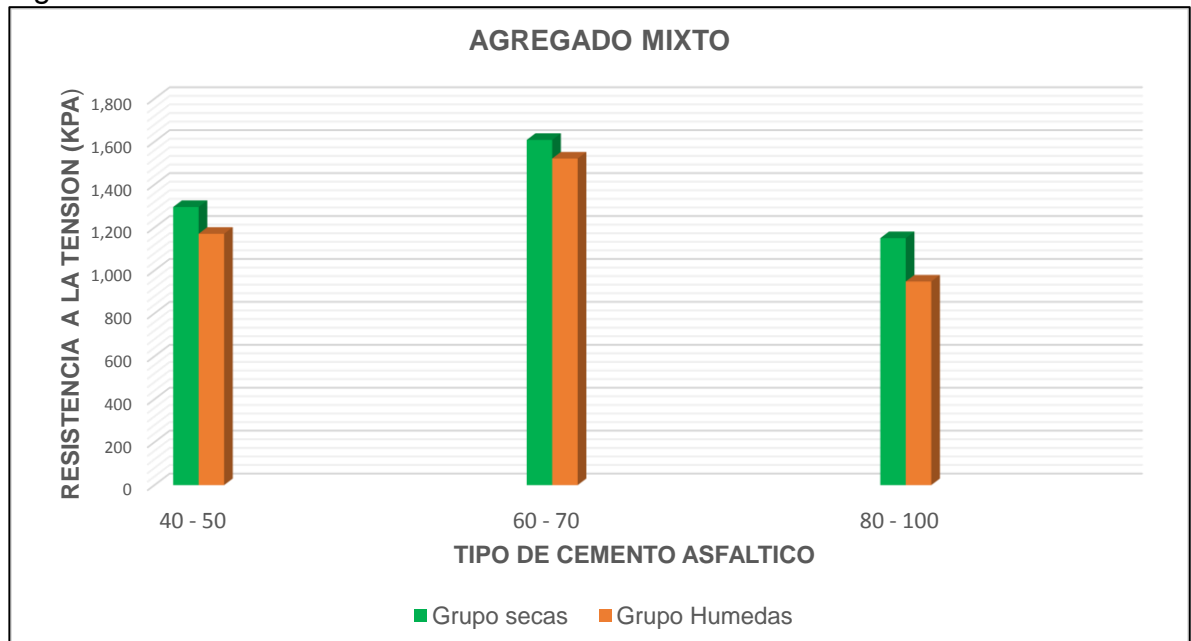
4.2.3 Material mixto

Tabla 14. Resultados de agregado mixto

TIPO DE C.A	Grupo-Secas			Grupo-Humedas			RRT
	Nº Briqueta	RT (KPa)	Promedio	Nº Briqueta	RT (KPa)	Promedio	
40 - 50	2	1,092	1,296	1	1,156	1,171	90.4%
	3	1,520		4	1,173		
	5	1,276		6	1,184		
60 - 70	7	1,508	1,608	8	1,577	1,522	94.6%
	9	1,684		10	1,529		
	11	1,632		12	1,460		
80 - 100	14	1,219	1,151	13	953	949	82.4%
	15	996		16	913		
	17	1,237		18	979		

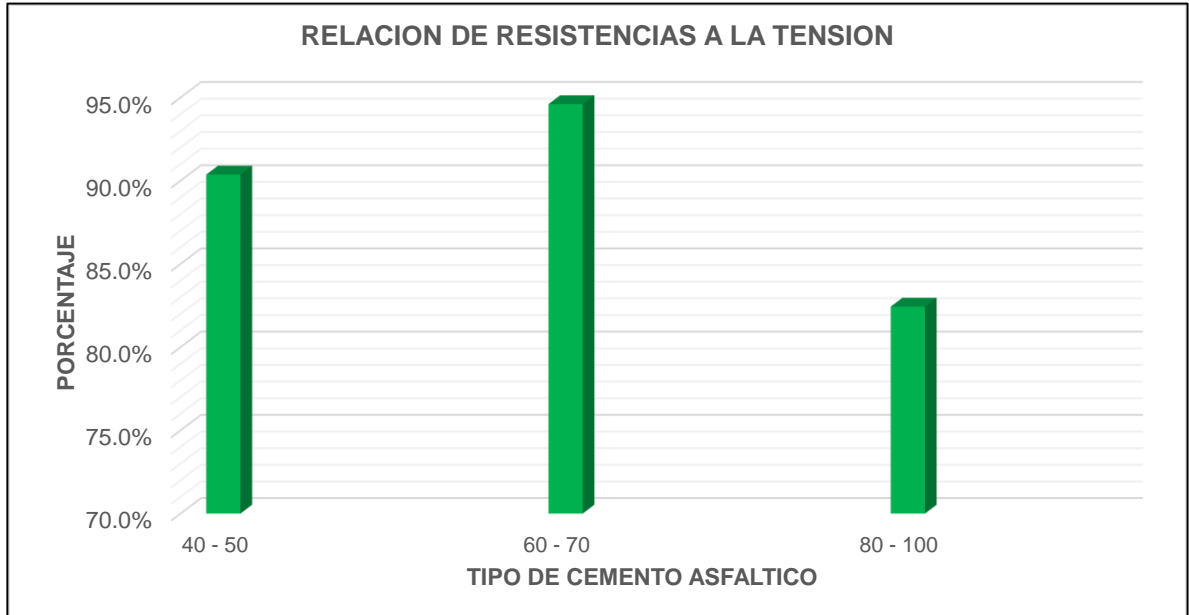
Fuente. Autores

Figura 25. Gráfico de la resistencia del material de mixto



Fuente. Autores

Figura 26. Porcentaje de resistencia del material de mixto



Fuente. Autores

En el agregado mixto el porcentaje de resistencia conservada obtenido para el cemento asfaltico 80 – 100 varia notablemente en contraste al material de río, pero, aun así, cumple con la especificación con un porcentaje por encima del 80.

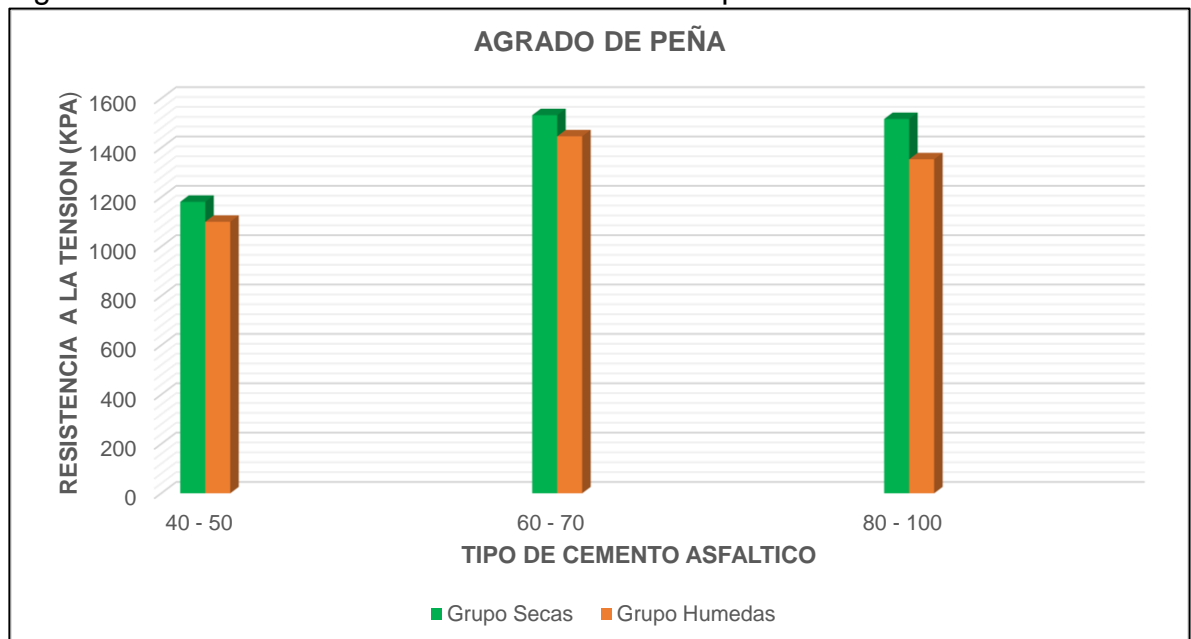
4.2.4 Material de peña

Tabla 15. Resultado agregado de peña

TIPO DE C.A	Grupo-Secas			Grupo-Humedas			RRT
	Nº Briqueta	RT (KPa)	Promedio	Nº Briqueta	RT (KPa)	Promedio	
40 - 50	4	1175	1181	1	1190	1100	93.2%
	5	1085		2	1104		
	6	1284		3	1007		
60 - 70	9	1464	1532	7	1480	1447	94.4%
	10	1562		8	1412		
	11	1570		12	1447		
80 - 100	14	1497	1517	13	1328	1354	89.2%
	15	1514		16	1391		
	18	1539		17	1341		

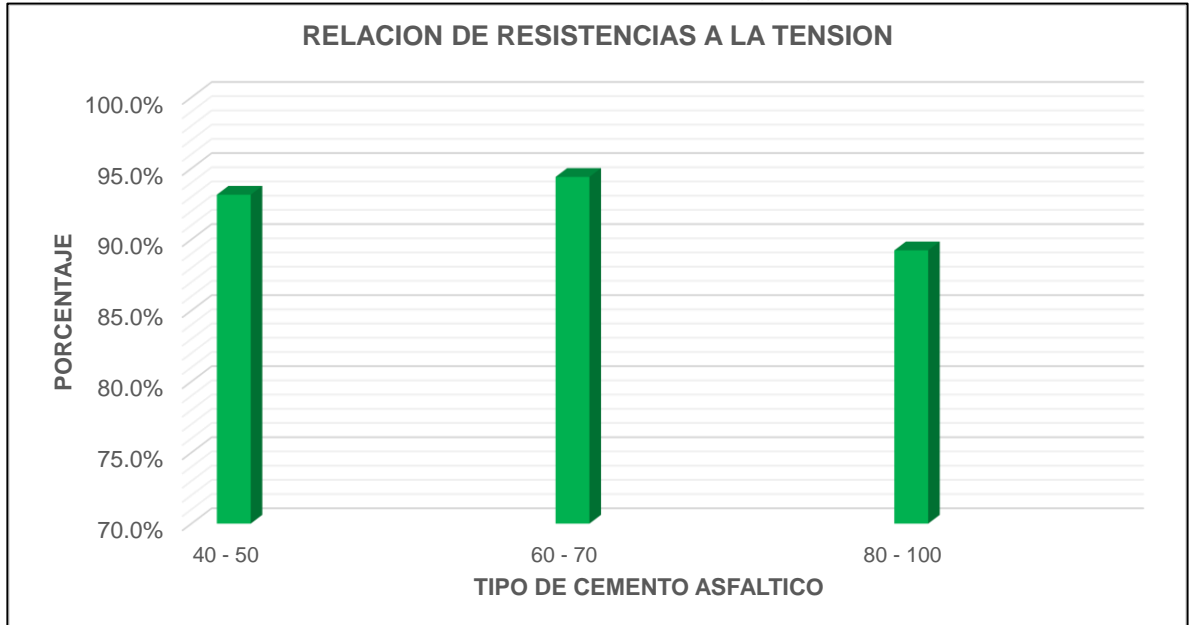
Fuente. Autores

Figura 27. Grafico de la resistencia del material de peña



Fuente. Autores

Figura 28. Porcentaje de resistencia del material de agregado de peña



Fuente. Autores

Este agregado presenta comportamiento similar al agregado de río, ya que deja en evidencia la capacidad de este en adherirse al cemento asfáltico, además, para el cemento asfáltico 40- 50 que es el más duro, el porcentaje de resistencia conservada está por encima del 90%.

Podemos visualizar gráficamente que en los tres tipos de mezclas utilizados para el proceso de investigación el subgrupo-secas soportó los niveles más altos de carga hasta fracturar, por ende, los valores de tensión indirecta fueron superiores a los del subgrupo-húmedas.

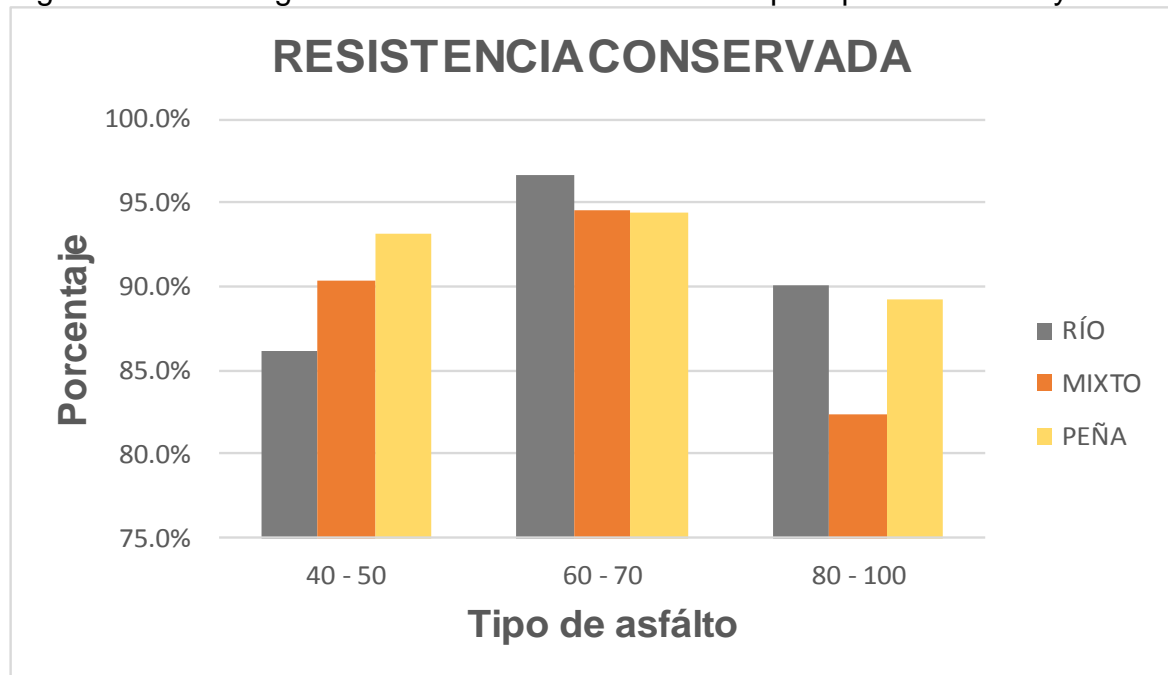
4.2.5 Análisis y comparación de resultados

Tabla 16. Resumen valores de la resistencia conservada

TIPO DE C.A	AGREGADO DE RIO			AGREGADO MIXTO			AGREGADO PEÑA		
	Grupo-Secas	Grupo-Humedas	RRT	Grupo-Secas	Grupo-Humedas	RRT	Grupo-Secas	Grupo-Humedas	RRT
	Promedio	Promedio		Promedio	Promedio		Promedio	Promedio	
40 - 50	931	802	86,1%	1.296	1.171	90,4%	1181	1100	93,2%
60 - 70	1064	1029	96,7%	1.608	1.522	94,6%	1532	1447	94,4%
80 - 100	948	854	90,1%	1.151	949	82,4%	1517	1354	89,2%

Fuente. Autores

Figura 29. Grafica general de resistencia conservada por tipo de material y asfalto



Fuente. Autores

Esta figura 29 ratifica el buen comportamiento que presenta el material para las diferentes mezclas planteadas, cumpliendo con el porcentaje mínimo de resistencia conservada exigido por el INVIAS para el control y aceptación de la variable en estudio.

5. CONCLUSIONES

- Para el ensayo Riedel Weber como ensayo evaluador de adhesividad después de hacerse el contraste con los resultados obtenidos para el agregado de río y de peña de la tesis de referencia, junto al estudio, diagnóstico y análisis a los valores de adhesividad Riedel Weber obtenidos del ensayo realizado en este trabajo de investigación se concluye que la mezcla de los dos agregados en estudio presenta un excelente comportamiento, similar a los valores de adhesividad obtenidos para el agregado de río.

De la respectiva clasificación hecha en el presente trabajo y basados en los criterios de inspección visual se tiene como resultado para los cementos asfálticos 40 – 50 y 60 – 70 valores de adhesividad altos, es decir, para el primero el valor de adhesividad Riedel Weber es de 10, este como el valor de adhesividad más elevado según norma, del mismo modo para el segundo, el valor de adhesividad obtenido fue 10, es por esto, que la mezcla de los agregados material de río y de peña son un complemento entre ellos, pues a pesar de tener características diferentes, la unión de estos genera excelentes valores de adhesividad según criterio Riedel Weber para concentraciones altas de carbonato sódico.

- Por otra parte, el material presenta un cambio considerable como se evidencia en la figura 21, allí dicho material presenta desprendimiento total del agregado para la concentración molar del reactivo M/2 lográndose así evidenciar que el agregado mixto fino sufre dicho desprendimiento para el cemento asfáltico 80 -100 con un valor de adhesividad Riedel Weber de 8, no tan alto como el de los otros cementos asfálticos, pero está dentro de un rango aceptable según criterios de clasificación, probablemente esto se presenta porque el asfalto no es tan duro comparado con los demás.

- Como complemento al análisis que se viene desarrollando en cuanto a la adhesividad se refiere, el material de río y la mezcla de material río y peña son sin duda la alternativa más adecuada y de más trascendencia para garantizar un margen de seguridad elevado en cuanto al uso del material se refiere.

Adicionalmente, según el comportamiento del agregado de peña en el ensayo Riedel Weber, se concluye que en los finos el agregado de peña es malo, pues el índice de adhesividad Riedel Weber obtenido para este fue muy pobre mientras que en la mezcla de los dos agregados (agregado de río y agregado de peña) los índices Riedel Weber mejoran notablemente.

- Para finalizar las consideraciones del ensayo Riedel Weber según los valores obtenidos en este ensayo, los índices de adhesividad obtenidos se traducen a un margen de seguridad confiable suficiente para el uso del material en mezclas

asfálticas por su buen comportamiento al estar sometido a las soluciones de carbonato de sodio planteados en la norma.

A consideración nuestra hablando de tracción indirecta se concluye lo siguiente:

- Se analizó que la combinación de los agregados no es mala, pues la adherencia del material de peña con el asfalto es buena, incluso en ocasiones un tanto mejor que el comportamiento de la adherencia con el agregado de río, pero hay que resaltar que debido a que la grava del agregado de peña se fractura, la combinación de estos en cuanto a la adherencia es viable, pero, se deja planteado el estudio del comportamiento de estos en cuanto a la durabilidad de la mezcla, pues por repetición de cargas se puede presentar cambios notables en contraste al diseño convencional con agregado de río.
- Se demostró que la mezcla con agregado de peña tiene una buena resistencia a la tensión dando como resultados porcentajes mayores a 83%.
- Al abrir las probetas se evidenció que el daño por humedad afectó más a las mezclas con agregado de peña, dejando el agregado resquebrajado.
- Las mezclas asfálticas con material de río demostraron que tienen mejor resistencia a la tensión que las mezclas asfálticas con material de peña, también se puede observar que son buenas en cuanto al daño causado por humedad.
- Según los resultados obtenidos en la mezcla de los dos agregados agregado de río y agregado de peña se demuestra que estos trabajan de forma monolítica cumpliendo con el porcentaje mínimo de resistencia conservada exigido por el INVIAS, la mezcla de estos agregados genera el posicionamiento de estos como alternativa de diseño viable para el diseño de mezclas convencionales.
- Basados en los resultados obtenidos del ensayo tracción indirecta en el agregado de peña se evidencia que el material presenta buen comportamiento al ser fallado pues los porcentajes de resistencia conservada estuvieron por encima del 80% es decir, que el material cumple con la especificación del artículo 450 del INVIAS en la tabla de verificación de la mezcla asfáltica en el ítem de adherencia para todos los cementos asfálticos evaluados.
- Se comprueba visualmente que el agregado de peña presenta buena adherencia con el ligante dado que al ser fallado por tracción indirecta se observa que las gravas se fracturan efectivamente por la carga ejercida sobre la briqueta, pero no se presenta desprendimiento con el ligante y el material queda adherido.
- Por otra parte, las gravas del agregado de peña presentan mayor porcentaje de caras fracturadas mientras que las gravas del agregado de río tienden a ser

redondas lo que le da un plus al agregado de peña, pues de su geometría depende en gran medida que el valor de resistencia conservada cumpla la especificación del INVIAS.

- Se concluye que para todos los cementos asálticos y los diferentes agregados se obtuvieron resultados por encima del 80% en cuanto a la adherencia según la tabla del INVIAS, tabla 450 – 11 verificación del diseño Marshall.
- También se concluye que las gravas en el agregado de peña presentan mejor comportamiento en cuanto a la adherencia se refiere pues su geometría ratifica que el porcentaje de caras fracturadas es bueno, esto genera que este se adhiera fácilmente con el asfalto.

Finalmente, se considera que el material de peña falla por la acción de la carga ejercida sobre la briqueta, pero permanece adherido al asfalto, caso contrario se presenta con el agregado de río, pues el material no falla directamente, pero si presenta desprendimiento con el cemento asáltico.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir utilizando el ensayo de tracción indirecta INV 725 – 13 para la evaluación de la adherencia en la mezcla asfáltica, porque además de la obtención del porcentaje de resistencia conservada requisito en la evaluación de las mezclas densas en caliente por el instituto nacional de vías, el ensayo permite analizar visualmente del comportamiento del agregado cuando es sometido en inmersión durante 24 horas a 60 grados Celsius en agua como, esto se traduce a poder evidenciar de forma tangible el comportamiento del material.

Por otra parte, producto de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se determina y recomienda posicionar a dicho material como alternativa viable para el diseño de mezclas asfálticas por sus bondades en cuanto a adherencia se refiere, se abre un amplio campo de investigación en el que se puede explorar a fondo el agregado por medio de las alternativas de ensayos evaluadores de adherencia que ofrece la norma en el artículo 400 - 07 como es el caso del ensayo bandeja INV 740 o Perdidas cántabro tras inmersión INV – 760 para ratificar la postura que se adopta frente al agregado de peña, ya que este mediante las gravas se adhiere muy bien al cemento asfáltico.

Se recomienda obtener los porcentajes óptimos de asfaltos para los agregados de peña y mixto, pues en el desarrollo del presente trabajo de investigación a la hora de compactar las briquetas se evidencio que el óptimo del material de rio sirve como referencia, pero, aun así, se necesita un tanto por ciento más de asfalto, el 5,5% presenta buen comportamiento en dichos agregados, pero altera el confinamiento adecuado del espécimen, no de forma drástica, pero si es un factor a considerar para futuras investigaciones en cuanto a resultados referentes al tema.

Para finalizar, se recomienda seguir estudiando al material de peña y a la combinación de los agregados planteados en el presenta trabajo de investigación, ya que, los resultados obtenidos para los mencionados cambiaron la concepción que se tenía del material de peña y mucho más de la combinación de estos dos, lo que lo hace un referente de estudio y de posibles alternativas de diseño para mezclas asfálticas.

BIBLIOGRAFÍA

ASOPAC. 2015. Bogota : 2015.

BETANCOURT Carlos, CETINA Camilo, FERNANDO RIVEROS Yanny y DIAZ Fredy. 2015. *Comparativo tecnico economicos en tiempo de ejecución y tiempos de servicio entre sistemas constructivos convencionales y sistemas donde su usa la Geo - celda tridimensional en vias secundarias de la ciudad de bogotá con características similares.* Bogotá : Universid Católica de Colombia, posgrado, 2015.

COLOMBIA, ASOPAC - Asociación de productores y pavimentadores asfálticos de. 2004. *Cartilla del pavimento asfáltico.* Bogotá : Editado por ASOPAC - impreso por pnamericana fomas e impresos S.A, 2004.

GARZON, CARDENAS. *Variacion de temperatura de los componentes de una mezcla densa en caliente.* Bogota : Universidad Católica de Colombia, 2013. p. 12.

GONZÁLEZ Ángela Viviana, OLIVEROS William Leonardo. 2016. *Evaluación del comportmientto de mezclas asfálticas recicladas mediante el nsayo Marshall.* Bogotá D.C : Universidad Catolica de Colombia, Posgrado, 2016.

IDU. 2011. articulo 520. 2011.

IDU. Bogotá:. Especificacion Tecnica-Cemento Aslaftico. [En línea] Bogotá:. [Citado el: 03 de 10 de 2016.] <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/ingeinvt/article/viewFile/18176/19086>.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO. 2008. Caracterizacion de Materiales,MDC. [En línea] Bogotá, 04 de 03 de 2008. [Citado el: 04 de 10 de 2016.] <http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/bitstream/123456789/33549/6/60015779-02.pdf>.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. 2013. Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (Método Riedel Weber). *invias.* Bogotá D.C : s.n., 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. 2007. Concreto asfaltico y mezclas de alto modulo. *Mezclas asfalticas en caliente.* 2, 2007, Vols.2 Artículo 450 - 07, 2.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. 2013. *Evaluacion de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfaltico utilizando la prueba de traccion indirecta INV E - 725 13.* Bogotá.D.C : 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. 2007. Resistencia de Mezclas Asfálticas en Caliente Empleando el Aparato Marshall. *invias*. Bogota : s.n., 2007.

INVIAS. 2013. Bogota : s.n., 2013. Vols.1 Artículo 450-13.

LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD. 2015. Mezcla Asfáltica en caliente. [En línea] 2015. [Citado el: 26 de 10 de 2016.] <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Mezclas%20Asf%C3%A1lticas.pdf>.

Larson, Thomas. 1977. *Concretos de Cementos Portland y Asfálticos*. Mexico : Continental S.A., 1977.

MIRO, Jorge. 1994. Ligantes Bituminosos, Naturaleza y Composición. [En línea] 1994. [Citado el: 25 de 09 de 2016.] http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6623/03_miroRecasens_capitol2.pdf;jsessionid=2934C4BF95CD16DFD43BB39545A0FFD1.tdx1?sequence=3.

RONDÓN Hugo alexander, REYES Fredy Alberto. 2015. *Pavimentos, materiales, construcción y diseño*. Bogotá : ECOE ediciones, 2015.

RONDÓN, Hugo Alexander. 2009. *Pavimentos*. Bogota : Serie Guías1 Fundamentos, 2009.

SILVA, Omar. 2011. Tipos de agregados y su influencia en el diseño de mezcla del concreto. [En línea] 13 de 03 de 2011. [Citado el: 25 de 09 de 2016.] <http://blog.360gradosenconcreto.com/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-el-diseno-de-mezcla-del-concreto/>.

USON. Bogotá:. Propiedades y Estudios de los Materiales Asfálticos y Petreos. [En línea] Bogotá:.. [Citado el: 04 de 10 de 2016.] <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo2.pdf>.

ANEXO

Anexo A. Especificaciones procedimiento ensayo Tracción Indirecta – Agregado de río



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTOS Y MATERIALES

EVALUACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCION INDIRECTA (INV E 725 - 13)

PROYECTO EVALUACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA - AGREGADO DE RIO
 TEMPERATURA DE LA MEZCLA 150 °c
 TEMPERATURA DE COMPACTACION 135°C - 140°C
 N° DE GOLPES POR CAPA 75 GOLPES
 PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS CONCRESCOL Gs. A.petros 2.57
 TIPO DE CEMENTOS ASFALTICOS (40 - 50) (60 - 70) (80 - 100) Gs. ASFALTO 1.012

Briqueta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tipo de Mezcla	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19
% Asfalto	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Altura Briqueta (Cm)	6.5	6.5	6.5	6.6	6.5	6.6	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.4	6.5	6.5	6.5	6.6	6.5	6.5
Temperatura del agt °c	23	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23	23.2	23.2	23.2	23.3	23.3	23	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3
Temperatura ambier °c	20	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	20	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	20	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9
Peso briqueta en aire seca (g)	1179.3	1200.0	1206.4	1199.3	1175.6	1193.7	1182.8	1183.4	1191.5	1181	1183.3	1184.3	1190.1	1190.6	1188.5	1180.8	1209.9	1175.9
Peso briqueta en aire sss (g)	1185.9	1202.9	1209.3	1204.0	1179	1196.3	1183.6	1184.2	1192.9	1181.9	1184.7	1185.1	1193.4	1194.1	1192.5	1186.8	1211.2	1181.5
Peso briqueta en agua (g)	665.4	657.2	686.3	683.1	663	672.3	674	671.9	667.2	669.2	673.1	675.3	671.5	670.8	668.4	663.8	680.9	660.1
Lectura de carga (K)	6.39	9.61	9.41	8.80	10.81	9.25	10.01	11.01	10.61	10.71	11.62	11.25	9.41	6.87	10.81	8.31	11.64	9.41

OBSERVACIONES

Las britas que van del numero 1 al 6 son de tipo asfaltico (40 - 50)
Las britas que van del numero 7 al 12 son de tipo asfaltico (60 -70)
Las britas que van del numero 13 al 18 son de tipo asfaltico (80 - 100)

Fuente. Autores

Anexo B. Especificaciones procedimiento ensayo Tracción Indirecta – Agregado mixto



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTOS Y MATERIALES

EVALUACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCION INDIRECTA (INV E 725 - 13)


PROYECTO EVALUACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA - AGREGADO MIXTO
 TEMPERATURA DE LA MEZCLA 150 °c
 TEMPERATURA DE COMPACTACION 135°C - 140°C
 N° DE GOLPES POR CAPA 75 GOLPES
 PROCEDENCIA AGREGADOS PETREO CONCRESCOL Gs. A.petros 2.57
 TIPO DE CEMENTOS ASFALTICOS (40 - 50) (60 - 70) (80 - 100) Gs. ASFALTO 1.012

Briqueta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tipo de Mezcla	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19
% Asfalto	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Altura Briqueta (Cm)	6.5	6.7	6.6	6.5	6.7	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.6	6.5	6.6	6.5	6.6	6.5
Temperatura del agu °c	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.2	22.2	22.2	22.2	22.3	22.3	22.3	22.2	22.2	22.2
Temperatura ambiente °c	21	21	21	21	20.9	20.9	20.9	20.9	19.9	19.9	19.9	19.9	21	21	21	20.9	20.9	20.9
Peso briqueta en aire seca (g)	1184	1179.1	1182.7	1180.5	1180.3	1179.1	1184.3	1183.9	1182.2	1186.7	1177.5	1185.8	1188.9	1191.6	1178.2	1187.7	1184.1	1188
Peso briqueta en aire sss (g)	1186	1182.9	1184.9	1182.8	1184.9	1185.4	1186.7	1186.2	1185.3	1188.7	1180.4	1188.8	1192.5	1193.1	11857	1193.1	1183.3	1190.8
Peso briqueta en agua (g)	663.4	637	654.4	648.2	625.6	653.5	654.6	659	649.7	660.1	657.7	660.2	656.6	662.5	646	653.1	659.5	655.7
Lectura de carga (Kn)	15.16	11.72	16.07	12.22	7.89	12.33	15.71	16.42	14.21	15.92	17.00	15.2	10.04	12.7	10.53	9.51	13.08	10.20

OBSERVACIONES Las britas que van del nuemero 1 al 6 son de tipo asfaltico (40 - 50)
Las britas que van del nuemero 7 al 12 son de tipo asfaltico (60 -70)
Las britas que van del nuemero 13 al 18 son de tipo asfaltico (80 - 100)

Fuente. Autores

Anexo C. Especificaciones procedimiento ensayo Tracción Indirecta – Agregado Peña



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTOS Y MATERIALES

EVALUACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCION INDIRECTA (INV E 725 - 13)

PROYECTO EVALUACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA - AGREGADO PEÑA

TEMPERATURA DE LA MEZCLA 150 °c

TEMPERATURA DE COMPACTACION 135°C - 140°C

Nº DE GOLPES POR CAPA 75 GOLPES

PROCEDENCIA AGREGADOS PETREO CONCRESCOL

TIPO DE CEMENTOS ASFALTICOS (40 - 50) (60 - 70) (80 - 100)


Gs. A.petros 2.57
Gs. ASFALTO 1.012

Briqueta Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tipo de Mezcla	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19
% Asfalto	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Altura Briqueta (Cm)	6.8	6.8	6.7	6.8	6.6	6.7	6.5	6.9	6.9	6.8	6.8	6.9	6.9	6.7	6.8	6.8	6.9	6.9
Temperatura del agri °c	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.2	22.2	22.2	22.2	22.3	22.3	22.2	22.2	22.2	22.2
Temperatura ambier °c	21	21	21	21	21	20.9	20.9	20.9	19.9	19.9	19.9	19.9	21	21	21	20.9	20.9	20.9
Peso briqueta en aire seca (g)	1173	1178.7	1171.4	1160.6	1175.7	1180.3	1184.9	1194.6	1181.6	1174.4	1177.8	1179.8	1174.9	1167.2	1177.1	1184.8	1179	1179.3
Peso briqueta en aire sss (g)	1178	1184.2	1176.4	1164.7	1170.3	1179.3	1188.3	1196.9	1185.7	1177.2	1183	1183.2	1177.6	1171.4	1180	1187.9	1183.1	1182.4
Peso briqueta en agua (g)	631.9	625.1	616	622	635	638.5	642	653	633	627	632	636	637	622	642	642	627	633
Lectura de carga (Kn)	12.96	12.03	10.81	12.80	11.82	13.78	16.13	15.61	16.19	17.02	17.11	16.00	14.68	12.8	16.50	15.16	9.3	17.01

OBSERVACIONES Las britas que van del numero 1 al 6 son de tipo asfaltico (40 - 50)
Las britas que van del numero 7 al 12 son de tipo asfaltico (60 - 70)
Las britas que van del numero 13 al 18 son de tipo asfaltico (80 - 100)

Fuente. Autores

Anexo D. Caracterización asfalto 80-100

 Manufacturas y Procesos Industriales Ltda. <small>EMPRESA ESPECIALIZADA EN ASFALTOS</small>	R DT 156 N.R: 5 2013-10-11	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS E INSTRUCTIVOS REPORTE DE CALIDAD DE ASFALTOS DE PENETRACION
---	--	--

FECHA : NOVIEMBRE 24 DE 2014 LOTE No. 492_14

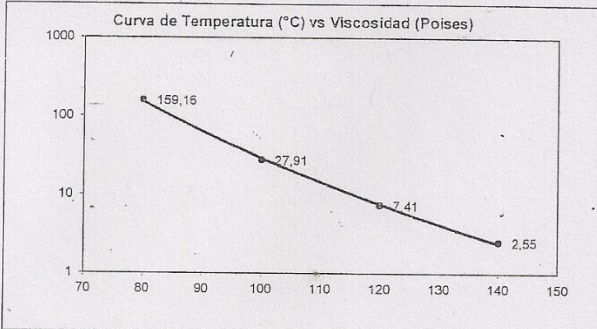
CLIENTE : UNIVERSIDAD CATOLICA DESPACHO No. N.A

TIPO DE ASFALTO: ASFALTO 80-100

PROPIEDAD	NORMA DE REFERENCIA I.N.V.	ESPECIFICACION		REPORTE DE CONTROL DE CALIDAD	FRECUENCIA DE ENSAYO
		MIN	MAX		
Penetración @ 25°C, 100 g, 5 s, (mm/10)	E-706	80	100	90	POR LOTE
Punto de Ablandamiento, (°C)	E-712	---	---	47	POR LOTE
Índice de Penetración (IP)	E-724	-1	1	-0,50	POR LOTE
Viscosidad Absoluta @60°C (P)	E-716	1000	---	N.A	POR LOTE
Viscosidad Brookfield @ 60°C (P)	E-717	1000	---	1379	POR LOTE
Aguja 27, Torque >90%	E-717	1000	---	1379	POR LOTE
Pérdida por Calentamiento Película Delgada en mov. @ 163°C, 85 min (%)	E-720	---	1	0,48	SEMANAL
Ductilidad @ 25°C, 5 cm/min, (cm)	E-702	100	---	141,8	QUINCENAL
Peso Específico	E-707	---	---	1,004	MENSUAL
Punto de Chispa, (°C)	E-709	230	---	300	POR LOTE
Solubilidad en Tricloroetileno, (%)	E-713	99	---	99,36	SEMESTRAL
Contenido de agua, (%)	E-704	---	0,2	0	TRIMESTRAL
Penetración del residuo después de la pérdida por calentamiento, % de la penetración original	E-706	48	---	63,6	SEMANAL
Incremento en el Punto de Ablanda/to después de pérdida por calentamiento en película delgada, °C (*)	E-712	---	9	6,8	SEMANAL

(*) Especificación Interna

CURVA REOLOGICA




Reporte de Calidad expedido según el Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001-2008 implementado en MPI y normas INV 2007.

FRECUENCIA ENSAYO: SEMANAL

NORMA DE ENSAYO: ASTM D-4402

	Rango Viscosidad (Poises)	mínimo	máximo
Temperatura de mezclado, °C	1,5 - 1,9	146	152
Temperatura de compactación, °C	2,5 - 3,1	136	140

NOTA : TEMPERATURAS OPTIMAS DE MEZCLADO Y DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO.

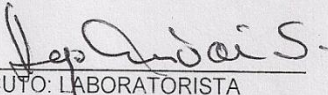


 DIRECTOR TÉCNICO

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD MANUFACTURAS Y PROCESOS INDUSTRIALES LTDA. PROHIBIDA SU REPRODUCCION POR CUALQUIER MEDIO, SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL FACILITADOR DE GESTION INTEGRAL

Fuente. Laboratorio de la Universidad Católica de Colombia

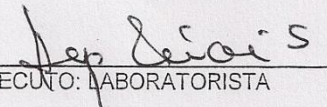
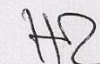
Anexo E. Caracterización asfalto 60-70. 1

TOMA DE DATOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MATERIALES ASFÁLTICOS SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS – MÉTODO DEL PICNÓMETRO		
INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-01	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 707-07	
CÓDIGO ORDEN: <u>ENAL. ADHERENCIA</u>	Fecha de Ensayo: <u>14 Abril 2016</u>	
EQUIPO UTILIZADO (No de Inventario)		
Picnómetro: <u>✓</u>	Baño de Agua: <u>✓</u>	Balanza: <u>—</u>
Termómetro: <u>—</u>		
Referencia: <u>CA: 60-70</u>		
Descripción: <u>CONVENCIONAL</u>		
PRUEBA No.	1	2
Temperatura de ensayo [°C]	25,1 °C	
Peso del picnómetro (incluido el tapón), A [g]	32.081	
Peso del picnómetro con agua, B [g]	56.293	
Peso del picnómetro parcialmente lleno con asfalto, C [g]	44.735	
Peso de picnómetro con asfalto y con agua, D [g]	56.410	
Gravedad específica	1.0125	
OBSERVACIONES: _____		

 EJECUTO: LABORATORISTA	 REVISÓ: TECNÓLOGO	

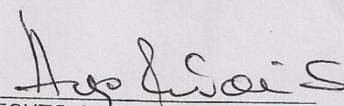

Fuente. Laboratorio de la Universidad Católica de Colombia

Anexo F. Caracterización asfalto 60-70. 2

TOMA DE DATOS MATERIALES ASFÁLTICOS					
INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-02 / IE-AF1-03 / EI-AF1-05 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 702-07 INV E 709-07 INV E 712-07					
CÓDIGO ORDEN: <u>Eo. adherencia</u>			Fecha de Ensayo: <u>14 abril</u>		
Referencia: <u>CA: 60-70</u>					
Descripción: <u>CONVENCIONAL</u>					
I. DUCTILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS (INV E -702-07)					
EQUIPO UTILIZADO (No de inventario)					
Ductilómetro _____		Termómetro _____		Baño María _____	
PRUEBA No.	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (mm/min)	Probeta No. 1 (cm)	Probeta No. 2 (cm)	Probeta No. 3 (cm)
1	25°	50	127	132	
2					
3					
OBSERVACIONES: _____					
II. PUNTO DE IGNICIÓN Y DE LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA CLEVELAND (INV E-709-07)					
EQUIPO UTILIZADO (No. De inventario)					
Equipo Copa Abierta de Cleveland _____			Termómetro _____		
PRUEBA No.		1	2	3	
Temperatura del punto de ignición	A [°F]	305 °C			
Temperatura del punto de llama	A [°F]	320 °C			
OBSERVACIONES: _____					
III. PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE ANILLO Y BOLA (INV E-712-07)					
EQUIPO UTILIZADO (No. De inventario)					
Aparato de Anillo y Bola _____		Termómetro _____		Baño María _____	
Placa de Calentamiento <u>Recheado</u>					
ANILLO No.	Líquido utilizado	Punto de ablandamiento (°C)			
1	AGUA DESTILADO	43.5 °C			
2	" "	44 °C			
3					
OBSERVACIONES: _____					
 EJECUTO: LABORATORISTA			 REVISO: TECNÓLOGO		

Fuente. Laboratorio de la Universidad Católica de Colombia

Anexo G. Caracterización asfalto 60-70. 3

TOMA DE DATOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MATERIALES ASFÁLTICOS SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS – MÉTODO DEL PICNÓMETRO				
INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-04			PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 706-07	
CÓDIGO ORDEN: <u>ESCAL. ADHERENCIA</u>		Fecha de Ensayo: <u>14 de octubre 2016</u>		
EQUIPO UTILIZADO (No de Inventario)				
Penetrómetro: <input checked="" type="checkbox"/>		Cronómetro: <input checked="" type="checkbox"/>		
Baño de Agua: <input checked="" type="checkbox"/>		Termómetro: <input checked="" type="checkbox"/>		
Referencia: <u>CA# 60-70</u>				
Descripción: <u>CONVENCIONAL</u>				
Molde	Temperatura (°C)	Penetración No. 1(0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1	250C	60	61	60
2				
Carga (g): _____		Tiempo (s): <u>5 SEGUNDOS</u>		
OBSERVACIONES: _____				
Referencia: _____				
Descripción: _____				
Molde	Temperatura (°C)	Penetración No. 1(0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1				
2				
Carga (g): _____		Tiempo (s): _____		
OBSERVACIONES: _____				
Referencia: _____				
Descripción: _____				
Molde	Temperatura (°C)	Penetración No. 1(0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1				
2				
Carga (g): _____		Tiempo (s): _____		
OBSERVACIONES: _____				
<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  _____ EJECUTO: LABORATORISTA </div> <div style="text-align: center;">  _____ REVISO: TECNOLOGO </div> </div>				

Fuente. Laboratorio de la Universidad Católica de Colombia

ANEXO II

Anexo H. Procedimiento para elaboración de probetas – Agregado de río

	REGISTRO FOTOGRAFICO	
PROYECTO:	EVALUACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCION	
INTEGRANTES:	Edward Camilo Urrego Aguilera Cristian Camilo Ruiz Ramirez	
Dosificacion del material de Rio	Mezcla de agregados y ligante	
Compactacion de probetas	Probetas sumergidas a 60°C	
Probeta sometida al ensayo traccion indirecta	Resultado de la prueba	

Fuente. Autores

Anexo I. Procedimiento para elaboración de probetas - Agregado mixto

 REGISTRO FOTOGRAFICO	
PROYECTO:	EVALUACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCION
INTEGRANTES:	Edward Camilo Urrego Aguilera Cristian Camilo Ruiz Ramirez
Dosificacion del material mixto	Mezcla de agregados y ligante
	
	
Compactacion de probetas mixtas	Pesaje de probetas
	
	
Probetas sumergidas a 25°C	Agregado Fracturado
	
	

Fuente. Autores

Anexo J. Procedimiento para elaboración de probetas - Agregado peña

 REGISTRO FOTOGRAFICO	
PROYECTO: EVALUACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO UTILIZANDO LA PRUEBA	
INTEGRANTES: Edward Camilo Urrego Aguilera Cristian Camilo Ruiz Ramirez	
Dosificacion del material de peña 	Dosificacion del ligante 
Mezcla de agregados y ligante 	Compactacion de probetas 
Probetas sumergidas y sometidas a tension 	Probetas con maxima carga 

Fuente. Autores

ANEXO III

Anexo K. Granulometría de agregado - mixto

MDC-19								
% ASFALTO			4.0	4.5	5.5		6.0	6.5
TAMIZ (PULG)	% PASA	% RETENIDO	54 g de CA	60 g de CA	66 g de CA		72 g de CA	78 g de CA
3/4	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/2	87,5	12.5	143.3	142.5	70.9	70.9	141.0	140.3
3/8	79,0	8.5	97.4	96.9	48.2	48.2	95.9	95.4
4	57,0	22	252.1	250.8	124.7	124.7	248.2	246.8
10	37,0	20	229.2	228.0	113.4	113.4	225.6	224.4
40	19,5	17.5	200.6	199.5	99.25	99.25	197.4	196.4
80	12,5	7.0	80.2	79.8	39.7	39.7	79.0	78.5
200	6,0	6.5	74.5	74.1	36.85	36.85	73.3	72.9
FONDO	0,0	6.0	68.8	68.4	34	34.0	67.7	67.3
		100	1146	1140	1134		1128	1122

Fuente. Autores

Anexo L. Granulometría de agregado – peña

MDC-19								
% ASFALTO			4.0	4.5	5.5	6.0	6.5	
TAMIZ (PULG)	% PASA	% RETENIDO	54 g de CA	60 g de CA	66 g de CA	72 g de CA	78 g de CA	
3/4	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1/2	87,5	12.5	143.3	142.5	141.8	141.0	140.3	
3/8	79,0	8.5	97.4	96.9	96.4	95.9	95.4	
4	57,0	22	252.1	250.8	249.5	248.2	246.8	
10	37,0	20	229.2	228.0	226.8	225.6	224.4	
40	19,5	17.5	200.6	199.5	198.5	197.4	196.4	
80	12,5	7.0	80.2	79.8	79.4	79.0	78.5	
200	6,0	6.5	74.5	74.1	73.7	73.3	72.9	
FONDO	0,0	6.0	68.8	68.4	68.0	67.7	67.3	
		100	1146	1140	1134	1128	1122	

Fuente. Autores

Anexo M. Granulometría para el agregado de río - MDC- 19

MDC-19							
TAMIZ(PULG)	% PASA	% RETENIDO	54 g de CA	60 g de CA	66 g de CA	72 g de CA	78 g de CA
3/4"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1/2"	87,5	12,5	143,3	142,5	141,8	141,0	140,3
3/8"	79,0	8,5	97,4	96,9	96,4	95,9	95,4
4	57,0	22,0	252,1	250,8	249,5	248,2	246,8
10	37,0	20,0	229,2	228,0	226,8	225,6	224,4
40	19,5	17,5	200,6	199,5	198,5	197,4	196,4
80	12,5	7,0	80,2	79,8	79,4	79,0	78,5
200	6,0	6,5	74,5	74,1	73,7	73,3	72,9
FONDO	0,0	6,0	68,8	68,4	68,0	67,7	67,3
		100,0	1146	1140	1134	1128	1122

Fuente. Laboratorio de pavimentos, Universidad Católica de Colombia