

ESTUDIO DE LA ADHESIÓN ASFALTO – AGREGADO MINERAL DE FUENTES
ALUVIALES EN LA ZONA DE BUCARAMANGA.



ANDRÉS FELIPE CARRILLO MURILLO.
MIGUEL GAMBOA RÍOS.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2007

ESTUDIO DE LA ADHESIÓN ASFALTO – AGREGADO MINERAL DE FUENTES
ALUVIALES EN LA ZONA DE BUCARAMANGA.

ANDRÉS FELIPE CARRILLO MURILLO.
MIGUEL GAMBOA RÍOS.

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil.
Modalidad: Proyecto de Investigación.

Director de Proyecto:
Ing. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN.
Docente de la Escuela de Ingeniería Civil.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2007

A Dios
por las cosas maravillosas que me ha dado.

A mis papás
por el amor y la confianza que depositaron en mí.

A mis hermanas
por su apoyo incondicional y constante aliento.

A la UIS
por la oportunidad de conocer buenos amigos y un gran
aprendizaje de lo académico y de la vida.

A Colombia
por un país de oportunidades.

ANDRÉS FELIPE CARRILLO MORALES.

A mis papas
por darme su apoyo incondicional y su amor.

A mi hermana por su cariño y amistad.

A mis amigos por todos los buenos y malos
momentos que vivimos unidos.

A mis compañeros, de los que aprendí
cosas que van mucho más allá de lo académico.

A mi mejor amigo José Iván, aunque ya no estés
entre nosotros siempre estarás a mi lado.

A la UIS por su educación.

A mi país, Colombia.

MIGUEL GAMBORA RIOS

AGRADECIMIENTOS.

Al profesor Eduardo Castañeda, Ingeniero civil y director de este proyecto por su apoyo, paciencia y respaldo.

A Jairo Hernández Salazar, director del laboratorio de resistencia de materiales, por su colaboración y confianza.

A Germán Hernández, auxiliar del laboratorio de suelos y pavimentos, por su colaboración y disposición para ayudar.

A Édgar Morales por su colaboración con la clasificación mineral de las muestras.

A Luis Fernando Gil, laboratorista de la planta de Tecnopavimentos S.A. por permitir el libre desarrollo de este proyecto.

A Edwin Javier Bottia Santos estudiante de química pura, por su colaboración en la interpretación de varios fenómenos que tiene lugar en este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO.

INTRODUCCIÓN.	1
1. GENERALIDADES.	3
1.1. MINERALES.	3
1.1.1. Cuarzo.	4
1.1.2. Feldespatos.	5
1.1.3. Hornblenda.	7
1.1.4. Mica.	9
1.1.5. Maficos.	10
1.1.6. Dolomita.	11
1.2. ASFALTO.	11
1.2.1. Composición.	11
1.2.2. Tipos de Asfalto.	12
1.3. ADHESIÓN ASFALTO – MINERALES.	13
1.3.1. Tipos de adherencia agregado mineral – asfalto.	13
1.3.2. Teorías que Explican el Fenómeno de Adherencia.	14
1.3.3. Ensayo para evaluar Adherencia Asfalto – Agregado Mineral.	16
1.3.4. El Mineral y su Influencia en el Fenómeno de Adherencia.	17
1.3.5. El Asfalto y su Influencia en el Fenómeno de Adherencia.	19
1.3.5.1. Tensión superficial y Ángulo de contacto agregado-asfalto.	19
1.3.5.2. Viscosidad.	21
1.3.6. Aditivos que Mejoran la Adherencia.	21
1.3.7. Factores Externos que Influyen en la Adherencia.	22
1.3.7.1. Influencia del Agua.	22
1.3.7.2. Influencia del Oxígeno.	23
2. METODOLOGÍA.	24

2.1. SELECCIÓN DE MUESTRAS.	24
2.2. CAMPAÑA EXPERIMENTAL.	27
2.2.1. Asfaltos Duros.	29
2.2.2. Asfaltos Blandos.	30
2.2.3. Asfaltos Tradicionales.	31
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.	32
4. CONCLUSIONES.	40
BIBLIOGRAFÍA.	45
ANEXOS.	47

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Nombre de la Roca de Cada Muestra.	26
Tabla 1a. Tipos de Roca.	33
Tabla 2. Primera prueba de adhesión con asfalto duro. (Penetración 20-25)	35
Tabla 3. Resumen de las muestras desadheridas antes de ocho horas con asfalto duro. (Penetración 20-25).	36
Tabla 4. Resumen de las muestras adheridas después de ocho horas con asfalto duro. (Penetración 20-25).	37
Tabla 5. Resultado de las pruebas sobre el vidrio y el mármol.	38
Tabla 6. Porcentaje de roca respecto a la muestra de triturado y su hora de desprendimiento para asfaltos tradicionales.	39
Tabla 7. Orden Ascendiente de resultado del ensayo de adherencia de asfalto duro.	40
Tabla 8. Orden Ascendiente de resultado del ensayo de adherencia de asfalto blando.	41
Tabla 9. Orden Ascendiente de resultado del ensayo de adherencia de asfalto tradicional.	42
Tabla 10. Tabla resumen de las horas de desprendimiento de los tres tipos de asfalto.	44
Tabla 11. Segunda prueba de adhesión con asfalto duro. (Penetración 20-25).	47
Tabla 12. Tercera prueba de adhesión con asfalto duro. (Penetración 20-25).	48
Tabla 13. Primera prueba de adhesión con asfalto blando.	49
Tabla 14. Segunda prueba de adhesión con asfalto blando.	50
Tabla 15. Tercera prueba de adhesión con asfalto blando.	51

Tabla 16. Resumen de las muestras desadheridas antes de ocho horas con asfalto blando.	52
Tabla 17. Resumen de las muestras adheridas después de ocho horas con asfalto blando.	53
Tabla 18. Primera prueba de adhesión con asfalto tradicional. (Penetración 60-70).	54
Tabla 19. Segunda prueba de adhesión con asfalto tradicional. (Penetración 60-70).	55
Tabla 20. Tercera prueba de adhesión con asfalto tradicional. (Penetración 60-70).	56
Tabla 21. Resumen de las muestras desadheridas antes de ocho horas con asfalto tradicional. (Penetración 60-70).	57
Tabla 22. Resumen de las muestras adheridas después de ocho horas con asfalto tradicional. (Penetración 60-70).	58

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Cuarzo.	4
Figura 2. Feldespatos.	6
Figura 3. Hornblenda.	7
Figura 4. Mica.	9
Figura 5. Máficos.	10
Figura 6. Variación del ángulo de contacto Agregado-Asfalto.	19
Figura 7. Ángulo de contacto de avance.	20
Figura 8. Ángulo de contacto de retroceso.	20
Figura 9. Rocas antes de pasar por la trituradora.	24
Figura 10. Muestras representativas tomadas de la planta.	25
Figura 10.a Muestra de triturado tomado de la planta (1755.05g).	26
Figura 10.b Muestras de triturado dividido en las 18 muestras	26
Figura 11. Limpieza de las Muestras.	27
Figura 12-13. Calentamiento de las rocas y el asfalto a 150°C.	27
Figura 14. Capa de 1mm de espesor de asfalto.	28
Figura 15-18. Rocas en agua a temperatura ambiente durante cuatro días.	28
Figura 19-20. Rocas en el horno con la temperatura del agua a 40°C.	29
Figura 21. Emulsión asfáltica utilizada para el segundo ensayo.	30
Figura 22. Hielo en la muestra con emulsión asfáltica.	31
Figura 23. Rocas con grado A de adherencia: Asfalto adherido al agregado mineral.	32
Figura 24. Rocas con grado C de adherencia: Asfalto desprendido del agregado mineral.	32
Figura 25. Muestra M-1.	59
Figura 26. Muestra M-2.	60
Figura 27. Muestra M-3.	61
Figura 28. Muestra M-4.	62

Figura 29. Muestra M-5.	63
Figura 30. Muestra M-6.	64
Figura 31. Muestra M-7.	65
Figura 32. Muestra M-8.	66
Figura 33. Muestra M-9.	67
Figura 34. Muestra M-10.	68
Figura 35. Muestra M-11.	69
Figura 36. Muestra M-12.	70
Figura 37. Muestra M-13.	71
Figura 38. Muestra M-14.	72
Figura 39. Muestra M-15.	73
Figura 40. Muestra M-16.	74
Figura 41. Muestra M-17.	75
Figura 42. Muestra M-18.	76
Figura 43. Todas las muestras	77

LISTA DE ANEXOS.

Anexo 1. Tablas de resultados por prueba realizada y tablas resúmenes.	47
Anexo 2. Descripción Macroscópica de las Muestras.	59
Anexo 3. Galería de muestras antes y después de los ensayos.	78

RESUMEN.

TÍTULO:

ESTUDIO DE LA ADHESIÓN ASFALTO – AGREGADO MINERAL DE FUENTES ALUVIALES EN LA ZONA DE BUCARAMANGA.*

AUTORES:

CARRILLO MURILLO, Andrés Felipe.

GAMBOA RÍOS, Miguel. **

PALABRAS CLAVES:

AGREGADO MINERAL.

PRUEBA DE INMERSIÓN ESTÁTICA MODIFICADA.

ASFALTO.

ADHESIÓN.

DESCRIPCIÓN:

Un fenómeno muy común que influye en el envejecimiento y desprendimiento de la capa de rodadura en Colombia es la falta de adhesión. Un agente que afecta dichas características es el agua porque al entrar en contacto con la superficie de la mezcla disuelve algunos minerales solubles en ella generando espacios intermoleculares y permitiendo el paso del agua entre la unión asfalto – agregado mineral. Otro de los factores que intervienen en la adhesión son los agregados minerales. Al extraerse de un sitio donde los materiales son heterogéneos se hace muy difícil predecir con exactitud si los minerales son aptos o no para el correcto desempeño de la adhesión.

Se seleccionan las rocas más representativas de la planta de trituración de agregados Tecnopavimentos S.A. y se halla el porcentaje de aparición de las mismas. Se les clasifica mineralógicamente y uniendo las variables de agua y minerales se utiliza la prueba de inmersión estática modificada. La modificación consiste en agregarle agua a temperatura 40°C constante durante ocho horas. Se utilizan tres tipos de asfalto: duro, blando y tradicional. El asfalto blando tuvo el mejor comportamiento a la adherencia.

Tomando como referencia el asfalto tradicional, el cual es el que se utiliza en las carreteras de Santander, los resultados muestran que más del 40% de las rocas de la cantera tuvieron un comportamiento favorable con la adhesión del asfalto con el agregado mineral.

* Tesis de Grado.

** Facultad de ingenierías físico mecánicas. Ingeniería civil. Ing. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN.

ABSTRACT.

TITLE:

STUDY OF THE ASPHALT – MINERAL AGGREGATE ADHESION OF THE ALLUVIAL ORIGIN OF THE BUCARAMANGA ZONE.*

AUTHORS:

CARRILLO MURILLO, Andrés Felipe.
GAMBOA RÍOS, Miguel. **

KEYWORDS:

MINERAL AGGREGATE.
MODIFIED STATIC IMMERSION TEST.
ASPHALT.
ADHESION.

DESCRIPTION:

A very common phenomenon which influences the oldness and detachment of the traffic layer in Colombia is the adhesion absence. An agent which affects these characteristics is the water because when it enters in contact with the mixture surface some soluble minerals are dissolved in it producing intermolecular spaces and allowing the water flow in the asphalt – mineral aggregate union. Another factor which influences the adhesion is the mineral aggregates. Because it is extracted from a place where the materials are very heterogeneous it is very difficult to predict exactly whether the minerals are capable or not for the appropriate adhesion performance.

The most representative rocks of the triturating plant of aggregate Tecnopavimentos S.A. are selected and the appearance percentage is found. A mineralogical classification is made and joining the variables of water and minerals the modified static immersion test is developed. The modification consists in adding water at a constant rate of 40°C temperature during four hours. Three asphalts are used: hard, soft, and traditional. The soft asphalt had the best behavior to the attachment.

Using the traditional asphalt, the most used in the Santander highways, the results show that above 40% of the rocks in the quarry had a good behavior with the attachment of the asphalt to the mineral aggregates.

* Degree Thesis.

** Physical Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering. Eng. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN.

INTRODUCCIÓN

Las vías terrestres son el principal medio que se utiliza en Colombia para diversas actividades que van desde un simple viaje de descanso o negocios hasta el transporte de víveres y equipos pesados de construcción que de una u otra forma contribuyen en el desarrollo de nuestro país. Por tal motivo surge la necesidad de mejorar cada vez más los diseños, técnicas constructivas y de mantenimiento de nuestras vías.

Este proyecto se enfocará en uno de los factores que deteriora y envejece de forma contundente los pavimentos flexibles, el cual se presenta como el material con el que están construidas la mayoría de vías de Colombia. Dicho factor lo constituye el agua, y se enfocará específicamente en cómo este debilita la unión entre el asfalto y el agregado mineral cuando tenemos el pavimento bajo cargas normales de tránsito. Enfocándonos en Santander, cabe mencionar que las precipitaciones en la ciudad de Bucaramanga tienen un promedio anual de 1110 mm. (1, Arenas y Ruiz, 2005). Se hace necesario observar esta variable en una prueba que permita relacionarla con el fenómeno de adherencia respecto al agregado mineral. La prueba utilizada en la investigación se denomina prueba de inmersión estática modificada. La teoría que soporta la prueba es que la absorción del asfalto por parte del agregado se ve perturbada por el agua, el cual al entrar en contacto con la superficie de la mezcla disuelve algunos componentes solubles en ella generando espacios intermoleculares y permitiendo el paso del agua entre la unión asfalto – agregado, generando el desprendimiento y envejecimiento de la capa de rodadura.

El principal objetivo de este proyecto de investigación es Identificar diferencias en los minerales de fuentes aluviales en la zona de Bucaramanga clasificándolos respecto a la adhesión con asfaltos implementando una prueba diseñada para dicho fin.

Con los resultados obtenidos en este proyecto de grado se espera colaborar en la elaboración de un pavimento cada vez más y más duradero, bajo la premisa de que entre mejor sea la unión entre el asfalto y el agregado mejor será el desempeño de este durante su vida útil.

1. GENERALIDADES.

Uno de los problemas más grandes para los pavimentos es la presencia del agua, esta primero debilita y posteriormente ayuda a la disgregación entre el asfalto y los agregados minerales, teniendo en cuenta este parámetro, se pueden aislar los minerales más representativos de las canteras y diseñar una prueba para encontrar los niveles de adhesión entre los agregados minerales en condiciones húmedas. Esto traería como resultado una mejor selección de los agregados minerales consiguiendo de esta forma disminuir en algún grado la disgregación de los componentes de la mezcla, haciendo pavimentos más duraderos, resistentes y económicamente viables.

1.1. MINERALES.

La corteza terrestre y los océanos son la fuente de una amplia variedad de minerales útiles y esenciales. De hecho, prácticamente todos los productos fabricados contienen materiales obtenidos de los minerales.

Los geólogos definen a los minerales como cualquier sólido inorgánico natural que posea una estructura interna ordenada y una composición química definida. Por tanto, para que se considere mineral cualquier material terrestre debe presentar las siguientes características:

- Debe aparecer de forma natural.
- Debe ser inorgánico.
- Debe ser un sólido.
- Debe poseer una estructura interna ordenada; es decir, sus átomos deben estar dispuestos según un modelo definido.

- Debe tener una composición química definida, que puede variar dentro de unos límites. (9, Tarbuck y Lutgens, 2001).

En esta sección únicamente se describirán los minerales presentes en las muestras analizadas geológicamente. (Ver Anexo 1).

1.1.1. Cuarzo.

Figura 1. Cuarzo. Foto tomada por MARSH, Barry. (6, Marsh, 2006).



El cuarzo es un mineral compuesto de sílice (SiO_2). Sin exfoliación, cristaliza en el sistema trigonal (romboédrico) y es incoloro en estado puro, aunque puede adoptar numerosas tonalidades si lleva impurezas (alocromático). De gran dureza, es capaz de rayar el acero.

El cuarzo se forma primariamente durante la cristalización lenta de los magmas terminales muy ácidos, los que quedan de forma residual cuando durante el ascenso se van segregando en regiones profundas los silicatos ferromagnésicos, oscuros. Como resultado, el cuarzo es uno de los minerales que caracterizan la composición de las rocas magmáticas plutónicas que forman el zócalo o basamento de los continentes, especialmente el granito. El cuarzo es el último de

los minerales en solidificarse durante la formación de estas rocas, así que su forma se adapta a la de los cristales preexistentes de los otros componentes, y sus caras no reflejan su estructura cristalina.

El Silicio (Si) y el Oxígeno(O) son los únicos elementos en el cuarzo puro. Si magma en enfriamiento tiene restos de silicio después de que se ha formado el feldespato, es probable que se forme el cuarzo. (1.Cornelis Klein.1998)

- **Sistema de cristalización:** Hexagonal.
- **Dureza:** 6 a 7, según variedades.
- **Densidad:** 2,59 a 2,65 g/cm³.
- **Color:** Desde incoloro a gris claro, amarillo, rojizo, negro, azul celeste, rosa, violeta, verde y marrón según variedades. Generalmente brillo vítreo, céreo, transparente a translúcido, graso o mate.
- **Exfoliación:** Se considera que no tiene, ya que raras veces está definida.
- **Origen fundamental:** Las variedades cristalizadas son magmáticas y las criptocristalinas de alteración.
- **Presencia:** En sus variedades más corrientes, es un mineral abundante y esencial o accidental en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

1.1.2. Feldespatos.

Los feldespatos son grupos de minerales constituyentes fundamentalmente de las rocas ígneas aunque pueden encontrarse en cualquier tipo de roca. Los

feldespatos corresponden a los silicatos de aluminio y de calcio, sodio o potasio, o mezclas de esas bases.

Figura 2. Feldespato. Foto tomada por MARSH, Barry. (6, Marsh, 2006).



Su estructura consiste en una base de silicio (Si^{4+}) en la que una parte ha sido sustituida, isomórficamente, por aluminio. Al desequilibrarse las cargas se compensan con cationes metálicos (K^+ , Na^+ , Ca^{2+}).

Pueden ser monoclinicos o triclinicos. Son de color blanco, de brillo vítreo o bien de colores muy claros. Su origen es petrográfico, son muy abundantes y formados a través de la consolidación de los magmas. Son muy alterables y se deterioran a través de un proceso llamado caolinización.

Junto con el cuarzo y la mica es un mineral constituyente del granito, siendo el responsable de la descomposición (meteorización) de éste. La meteorización del feldespato (o caolinización) se produce en ambientes húmedos y cargados de CO_2 . El CO_2 se convierte en CO_3 para unirse con el potasio, calcio o sodio, formando carbonatos, en el caso del calcio se denomina calcita. Por su parte, los silicatos dobles forman silicatos aluminicos hidratados, caolín.

Todos los feldespatos son minerales duros, de peso específico comprendido entre 2,5 y 2,75. Se dividen en dos grandes grupos:

- **Ortoclusas:** Feldespatos potásicos que son monoclinicos como la ortosa. Tiene la fórmula química KAlSi_3O_8 . Por meteorización, la ortoclasa se convierte en caolín. Este tipo de feldespato forma parte del granito. Se toma como mineral de dureza 6 en la escala de Mohs. Este mineral se utiliza en la manufactura de la porcelana y el vidrio.
- **Plagioclasas:** Feldespatos de calcio o sodio que son triclinicos como la albita. Corresponden a la clase de silicatos aluminicos de sodio y calcio variando las proporciones de éstos elementos, forman una serie isomórfica. Sus minerales principales son la albita y la anortita, con muchas características comunes de ambas. (1.Cornelis Klein.1998)

1.1.3. Hornblenda.

Figura 3. Hornblenda. Foto tomada por MARSH, Barry. (6, Marsh, 2006).



Es el nombre de un grupo de minerales perteneciente a los silicatos ó aluminosilicatos. Su fórmula genérica es $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Al,Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. La

hornblenda forma parte de la composición de muchas rocas como los granitos, los gneises etc. Forma parte del grupo de las anfíbolitas.

En su red cristalina los iones de hierro, magnesio y aluminio pueden sustituirse mutuamente sin problema y por lo tanto es difícil distinguir o incluso separar los diferentes minerales que se denominan magnesio-hornblenda, ferro-hornblenda y aluminio-hornblenda según el quemismo del elemento predominante. Según regla general sólo se puede indicar que los minerales con mayor contenido en hierro tienen colores más oscuros.

Aunque la hornblenda es un mineral ampliamente distribuido, no se encuentra frecuentemente en las colecciones ya que no suele formar cristales vistosos.

- **Color:** Generalmente oscuro a verde oscuro.

- **Transparencia:** Los cristales suelen ser opacos aunque ejemplares pequeños o de excepcional pureza pueden ser transparentes.

- **Sistema Cristalino:** Monoclínico 2/m.

- **Hábitat Cristalino:** Desde pequeños prismas cortos hasta agujas. El corte por los cristales puede ser hexagonal, aunque raras veces son simétricos. También se suele encontrar en forma masiva. Se rompe de forma imperfecta en dos direcciones a 56 y a 124°. La fractura es irregular.

- **Dureza en la Escala de Mohs:** 5 – 6.

- **Densidad:** 2,9 - 3,4 g/cm³. (1.Cornelis Klein.1998)

1.1.4. Mica.

Figura 4. Mica. Foto tomada por MARSH, Barry. (6, Marsh, 2006).



Las micas son minerales pertenecientes a un grupo numeroso de silicatos de alúmina, hierro, calcio, magnesio y minerales alcalinos caracterizados por su fácil exfoliación en delgadas láminas flexibles, elásticas y muy brillantes. Su sistema cristalino es monoclinico.

Generalmente se las encuentra en las rocas ígneas tales como el granito y las rocas metamórficas como el esquisto. Las variedades principales de la mica son la biotita y la moscovita. Las particulares características de elasticidad, flexibilidad y resistencia al calor de las láminas, hacen que constituyan un precioso material para la industria debido a sus propiedades como aislantes eléctricos y térmicos.

A temperaturas muy altas, la mica pierde el agua que contiene y pierde transparencia, su espesor aumenta y sus propiedades mecánicas y eléctricas empeoran. La temperatura a la que la mica comienza a perder el agua oscila entre 500 - 600°C para la mica flogopita y 800 - 900°C en la mica moscovita. La mica solo funde a 1145 - 1400°C. (1.Cornelis Klein.1998)

- **Sistema de cristalización:** Monoclinico.

- **Dureza:** 2 a 3.
- **Densidad:** 2,7 a 2,9 g/cm³.
- **Color:** Láminas incoloras o de colores claros: blanco o transparente a gris pálido. Amarillenta, verdosa, rojiza, gris, etc. Generalmente brillo nacarado en las caras exfoliables, que a veces parecen plateadas. Vítreo en general.
- **Exfoliación:** Muy perfecta, en láminas finas, resistentes, flexibles y elásticas.
- **Origen fundamental:** Magmático y metamórfico.

1.1.5. Máficos.

Figura 5. Máficos. Foto tomada por MARSH, Barry. (6, Marsh, 2006).



Los minerales máficos son micas de Fe y Mg, anfíboles y piroxenos, olivino, menas, circón, apatito, titanita, epidota, ortita, granate, melilita, monticelita y carbonatos primarios.

1.1.6. Dolomita. La dolomita, denominada de esa forma en honor al geólogo francés Deodat Dolomieu, es un mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$.

Abunda en la naturaleza en forma de rocas dolomíticas y se utiliza como fuente de magnesio y para la fabricación de materiales refractarios.

De color rosa y raya blanca, con brillo vítreo algo perlado, tiene dureza 3,5 a 4 en la escala de Mohs. Su densidad varía entre 2,86 a 3,10. Cristaliza en el sistema trigonal, generalmente en romboedros. (2, Klein, 1998).

1.2 ASFALTO.

Los asfaltos son aquellas sustancias de color oscuro que pueden ser líquidas, semisólidas ó sólidas compuestas esencialmente de hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono en su mayor parte y procedente de yacimientos naturales u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos de petróleo por destilación ó extracción, cuyas cualidades aglutinantes y propiedades físicas y químicas los hacen óptimos para un gran número de aplicaciones. (8, Reyes, 2003).

1.2.1. Composición. Para la explicación de la estructura del asfalto, el modelo más aceptado ha sido el modelo micelar. Dicho modelo ayuda a explicar el comportamiento reológico, al considerar el asfalto como un sistema coloidal que se constituyen en dos fases: asfaltenos y maltenos, la fase dispersa y el medio dispersante respectivamente. A continuación se explicarán en detalle cada uno.

- **Asfaltenos:** Como se dijo anteriormente constituyen la parte dispersa del asfalto. Además también es la parte sólida. Tienen absorbidos resinas, los cuales son componentes de alto pesos molecular y representan la fracción insoluble en hidrocarburos

saturados de bajo punto de ebullición como el n-heptano y el éter de petróleo.

- **Maltenos:** Como se mencionó anteriormente son la fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición y constituyen el medio de dispersión de los asfaltenos. Los maltenos están constituidos por hidrocarburos de bajo peso molecular como las resinas y los aceites. El contenido de maltenos en el asfalto varía de 60% a 80% siendo un factor de gran influencia en su comportamiento.

Los asfaltenos son los encargados de las propiedades estructurales y la dureza de los asfaltos. Por otro lado, las resinas ayudan a las propiedades adherentes y aglutinantes. Finalmente, los aceites proporcionan la consistencia adecuada para hacerlos trabajables. (7, Montes y Páez, 2000).

1.2.2. Tipos de Asfalto. Se consideran tres tipos de asfalto los cuales se explican con detalle a continuación:

- **Cemento Asfáltico:** El cemento asfáltico se obtiene a partir de la destilación al vapor de los residuos de fraccionamiento. Se continúa esta destilación hasta que se obtiene la consistencia deseada. Posee propiedades aglutinantes, impermeabilizantes, de flexibilidad y resiste la acción de ácidos y sales. Todas estas propiedades hacen que sea utilizado en el trabajo de pavimentación.
- **Asfaltos Líquidos:** Según el Instituto del Asfalto, un asfalto líquido es aquel que posee una consistencia blanda o fluida que hace que salga del rango de aplicación del ensayo de penetración que tiene como límite 300. Están compuestos por una base asfáltica (cemento

asfáltico) y un fluidificante volátil que puede ser bencina, keroseno ó aceite.

- **Emulsiones Asfálticas:** Las emulsiones asfálticas son dispersiones en agua de glóbulos asfálticos, que se mantienen estables en presencia de un agente emulsificante que pueden ser jabones ó ácidos minerales sobre compuestos anímicos.
Cuando la emulsión entra en contacto con el agregado se produce un desequilibrio eléctrico que la rompe, haciendo que las partículas de asfalto se unan a la superficie del agregado, el agua presente fluye o se evapora separándose del agregado que ya ha sido recubierto por el asfalto. (4, Garcés y García, 2002).

1.3. ADHESIÓN ASFALTO – MINERALES.

La adhesión es una fuerza de fricción que se desarrolla en el interfaz de dos cuerpos de diferente material y se opone al movimiento relativo de los cuerpos. Otra definición de adhesión que se encuentra con frecuencia es: Estado en el cual dos superficies se encuentran unidas por fuerzas interfaciales. Las fuerzas interfaciales que generan este fenómeno son: las fuerzas de valencia y las fuerzas de Van der Waals. Las primeras realizan un pequeño aporte al enlace adhesivo mientras que las segundas son suficientes por sí solas para originar un excelente enlace. (4, Garcés y García, 2002).

La literatura técnica define el término adhesividad como la capacidad de un ligante para permanecer fijo a un mineral, recubriéndolo sin ningún riesgo de desplazamiento aún en presencia de agua o tráfico. (7, Montes y Páez, 2000).

1.3.1. Tipos de adherencia agregado mineral – asfalto. Durante su duración, el fenómeno de adherencia está dividido o se presenta en dos momentos

totalmente diferentes, la primera en el proceso de producción de la mezcla asfáltica y la otra durante el funcionamiento de la capa de rodadura.

- **Adherencia activa:** Propiedad de mojado del agregado por parte del ligante durante la mezcla en obra. Esto quiere decir que es la capacidad del asfalto para realizar un buen recubrimiento al agregado.
- **Adherencia pasiva:** Resistencia que presenta el ligante, una vez que ha recubierto el agregado, frente a la acción del agua en combinación con el tránsito. Esto significa que es la resistencia que presenta el ligante ante la acción de desplazamiento cuando se presentan los factores anteriormente mencionados. (7, Montes y Páez, 2000).

1.3.2. Teorías que Explican el Fenómeno de Adherencia. Al estar en contacto el agregado mineral con el asfalto el ligante envuelve al agregado. Ésta es una condición previa primordial para que la adherencia se produzca. A lo largo del tiempo se han propuesto varias teorías pero definitivamente no existe una que involucre todos los factores que inciden en este fenómeno. A continuación se exponen las más comunes: (4, Garcés y García, 2002).

- **Teoría Mecánica:** Dicha teoría sostiene que la textura superficial del agregado pétreo tiene una alta correlación para lograr la unión mecánica del asfalto con los agregados. Las superficies rugosas y formas irregulares del agregado afectan el mojado pero no mejoran la adhesión sobre la base de mejorar la unión y aumentar el área de contacto entre el asfalto y el agregado mineral. Por otro lado, las superficies lisas y con formas regulares aumentan el grado de adhesión.

- **Teoría de Orientación Molecular:** Esta teoría relaciona los principios del asfalto con los de la Química. Por un lado, se parte del hecho que los electrones de la capa exterior del átomo desempeñan una importante función en las propiedades químicas y físicas de un elemento. En consecuencia de lo anterior, cuando se produce el contacto entre el asfalto y el agregado mineral la primera orienta sus moléculas para satisfacer la demanda de energía de la superficie del agregado hasta el máximo de su capacidad. Por otro lado, se considera que el enlace iónico ocurre debido a la diferencia de electronegatividades entre dos elementos. Esto genera como resultado que tanto en el asfalto como en el agregado mineral las moléculas se ordenan con el fin de obtener moléculas largas, uno de cuyos extremos tiene gran afinidad con el asfalto. Dichas moléculas se agrupan y ordenan en la superficie dando lugar a una estructura aproximadamente ordenada y firme.
- **Teoría de Reacción Química:** Como su nombre lo dice, la siguiente teoría considera la adhesión como la reacción entre los componentes químicos del asfalto y el agregado. Dicha reacción dependerá de la naturaleza química del agregado mineral y de los productos químicos que conforman el asfalto de tal forma que la reacción origina un producto nuevo de máxima solidez y mayor complejidad. Esto ocurre cuando determinadas moléculas contenidas en el asfalto son capaces de reaccionar químicamente con las moléculas del agregado mineral dando lugar a compuestos insolubles en agua.
- **Teoría de Energía Interfacial:** Considera la adhesión como un fenómeno termodinámico relacionado con la energía superficial de los materiales actuantes. Así entonces, tanto el mojado como el

descubrimiento posterior es relacionado con los cambios de energía libre del sistema.

- **Teoría de Absorción:** Las irregularidades del agregado mineral presentan espacios los cuales se pueden llenar de asfalto representando un porcentaje del volumen total del agregado. La absorción es la cantidad de ligante medida en volumen que llenan estos espacios. A mayor irregularidad y capacidad de absorción se cree que la adherencia mejora, aunque el consumo de ligante aumenta. (4, Garcés y García, 2002).
- **Teoría de Adsorción:** La porosidad es el volumen vacío presentado como un porcentaje del volumen total del agregado. La adsorción es la cantidad de ligante medida en volumen que se disuelve en el árido, es decir, que reacciona con el árido cuando el bitumen se impregna a través de los poros. A mayor porosidad y capacidad de adsorción se cree que la adherencia mejora.

Al parecer la fuerza y estructura de la capa interfacial puede incluir una o dos capas de material absorbido, estas capas hacen que se genere una mayor fuerza en el enlace adhesivo debido a las interacciones intermoleculares entre los grupos de asfalto absorbidos preferencialmente y la superficie del agregado.

Los aceites que constituyen el asfalto entran en los poros o en los capilares del agregado y por consiguiente son adsorbidos. El cemento asfáltico en la superficie del agregado se endurece debido a la adsorción preferencial de los constituyentes aceitosos. (4, Garcés y García, 2002).

1.3.3. Ensayo para evaluar Adherencia Asfalto – Agregado Mineral. Para evaluar de una forma acertada la adherencia entre el asfalto y el agregado

mineral se han establecido varios tipos de ensayos entre los cuales vamos a nombrar los más comunes: (7, Montes y Páez, 2000).

- Ensayo de Inmersión Estática.
- Ensayo de Inmersión Dinámica.
- Ensayo de Inmersión Química.
- Ensayo de Tránsito con Inmersión.
- Ensayo de Envuelta.
- Ensayo de Inmersión Mecánica.

Para el proyecto se utilizó un ensayo modificado de inmersión estática. Dicha modificación se explicará con detalle en la metodología. En este tipo de ensayo los agregados minerales envueltos con el asfalto se sumergen en agua y se estima el grado de desprendimiento. La característica esencial del método, desarrollado en el Road Research Laboratory, es la envuelta de gravilla de tamaño uniforme con una cantidad constante de ligante en condiciones cuidadosamente controladas, sumergiendo después el agregado mineral en agua y dejándolo reposar a temperatura controlada durante 48 horas y estimando visualmente después, el porcentaje de superficie descubierta.

1.3.4. El Mineral y su Influencia en el Fenómeno de Adherencia. Las características de los minerales que se emplean al mezclarse con el asfalto deben ser las siguientes: (10, Vidaña, 2005)

- **Limpieza:** Debe ser una superficie libre de impurezas que impida la adherencia con el asfalto.

- **Textura Superficial:** La textura superficial de los agregados, influye en la trabajabilidad, resistencia y manejabilidad de las mezclas asfálticas. Los agregados con textura superficial rugosa, generan mezclas asfálticas con mayor resistencia que aquellas con agregados de textura lisa. Los agregados de textura rugosa garantizan una buena unión con el asfalto, teniendo en cuenta su mayor superficie específica, y generan una buena adherencia de tipo mecánico.

- **Porosidad y Adsorción:** Un agregado que presente un grado de adsorción alto, beneficia la adherencia con el asfalto ya que se genera un anclaje entre los dos materiales. Aunque la adsorción sea una característica que favorece la adherencia se genera un mayor consumo de asfalto.

- **Humedad en el Agregado:** La presencia de humedad en el agregado mineral, dificulta la adherencia con el asfalto. El agua al encontrarse en la superficie del agregado tiende a desplazar al asfalto debido a su menor tensión superficial, evitando que el asfalto moje al agregado. Un agregado que se encuentre envuelto en agua, es imposible que pueda ser mojado por el asfalto, al menos que este contenga algún tipo de activante.

La afinidad de un agregado con el asfalto, es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Según esta afinidad, los agregados se pueden clasificar en los siguientes: (7, Montes y Páez, 2000).

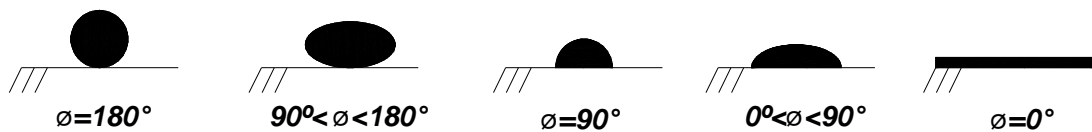
- **Agregados Hidrofílicos:** Son aquellos que tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestas al agua.

- **Agregados Hidrofóbicos:** Son aquellos que tienen alta afinidad con el asfalto, ya que resisten los esfuerzos del agua por separa la película de ligante de su superficie.

1.3.5. El Asfalto y su Influencia en el Fenómeno de Adherencia. Las principales características del asfalto que influyen en la adherencia son:

1.3.5.1. Tensión superficial y Ángulo de contacto agregado-asfalto. Como se dijo anteriormente una de las condiciones para que exista adherencia es que las superficies estén en contacto, es decir que el asfalto moje al agregado. En este fenómeno intervienen tanto las fuerzas interfaciales como el ángulo de contacto entre los dos materiales. Cuando se deposita una gota de asfalto sobre la superficie de un agregado se podría teóricamente dar dos casos extremos y una serie de puntos intermedios como se observa en la figura 6.

Figura 6. Variación del ángulo de contacto Agregado-Asfalto.



Cuando el agregado está seco el ángulo de contacto entre el asfalto y el agregado está entre 0° y 47° . Por el contrario, si el agregado se encuentra húmedo el ángulo de contacto será siempre mayor de 90° . esto genera inconvenientes en el proceso de humectación. Como se puede ver entonces la presencia de agua genera dificultades en la adherencia agregado mineral asfalto ya sea en la etapa inicial de cobertura del agregado o a través del tiempo.

Se define el ángulo de contacto de avance o entrada obtenido cuando el asfalto se pone en contacto con el agregado húmedo. Por el contrario, el ángulo de contacto de retroceso o de salida se forma cuando el agregado es mojado por el asfalto antes que se humedezca.

El ángulo de avance es importante cuando se quiere fabricar una mezcla o un riego con agregado húmedo porque se logra la adherencia activa. Por otro lado, el ángulo de retroceso es importante cuando se quiere obtener una resistencia al desplazamiento por el agua en un tratamiento ya efectuado porque se logra la adherencia pasiva. Las fuerzas interfaciales que se presentan en cada caso, serán las que controlen el fenómeno. Estos casos se pueden observar gráficamente en las figuras 7 y 8.

Figura 7. Ángulo de contacto de avance.

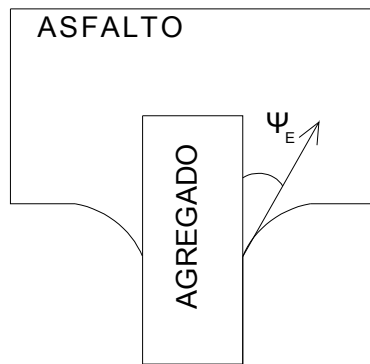
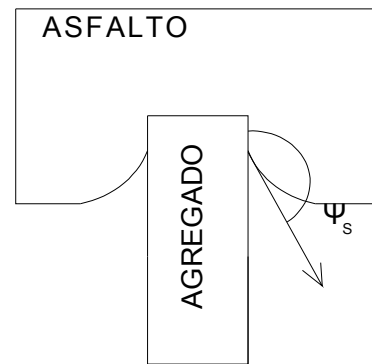


Figura 8. Ángulo de contacto de retroceso.



El agua, al tener una tensión superficial inferior a la del asfalto, presenta una mayor capacidad de mojar al agregado y por consiguiente de desplazar la película del agregado que lo recubre.

Las mezclas asfálticas en caliente, al ser sometidas a un proceso de calentamiento y secado, previo a la mezcla con el ligante asfáltico, no presentan problemas con la humedad. Esta situación favorece el proceso de humectación del agregado.

Como conclusión, la adherencia agregado-asfalto depende de las tensiones superficiales y del ángulo de contacto. Debido a esto, si se quiere mejorar la adherencia se debe modificar dichas propiedades.

1.3.5.2. Viscosidad: La viscosidad del asfalto debe ser la adecuada para que el proceso de mezclado y humectación del agregado sea óptimo, se espera que un asfalto que presente alta viscosidad será más resistente a la acción del agua que uno con grado de viscosidad bajo.

1.3.6. Aditivos que Mejoran la Adherencia. En la actualidad existen numerosos aditivos que se incorporan a los asfaltos para mejorar la adherencia, entre los que se destacan: (5, IMT, 2001).

- **Activantes:** Se emplean para mejorar la adhesividad del asfalto con el material pétreo. Para agregados silíceos o asfaltos ácidos se utilizan bases orgánicas o nitrogenadas. Pero si los agregados son de tipo calcáreo y asfaltos básicos se recurre a ácidos grasos.

- **Alquitranes:** Buscan aumentar la adhesividad del asfalto añadiendo alquitrán y disminuir la susceptibilidad térmica y el rápido envejecimiento. Son productos bituminosos semisólidos o líquidos que resultan de la reconstrucción del residuo que se obtiene de la destilación del carbón de la hulla. Dan buenos resultados en tratamientos superficiales y anticarburantes, por su resistencia a los disolventes derivados del petróleo.

- **Materiales Poliméricos:** Mejoran las propiedades mecánicas y reológicas, disminuyen la susceptibilidad térmica y los tiempos de aplicación de carga, aumentan la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un campo más amplio de temperaturas, tensiones y tiempos de carga, mejoran la adhesividad de los agregados. Los tipos utilizados son los termo-fijos (resinas epóxicas, poliuretanos, poliésteres) y los termoplásticos como el PVC, polietileno y poli-isobutilenos, SBR (hule estireno-butadieno), EVA

(etileno-acetato de vinilo) y SBS (estireno-butadieno-estireno), hule natural y artificial. Estos también pueden utilizarse en combinaciones especiales que tienen la característica de ser tratamientos muy específicos y costosos: alquitrán-vinilo, alquitrán-epoxi, asfalto-epoxi y alquitrán-poliuretano.

1.3.7. Factores Externos que Influyen en la Adherencia. Estudios realizados sobre fenómenos de adhesión han llevado a las siguientes conclusiones: (3, Cordero y García, 1996).

- En general las películas asfálticas tienden a desprenderse de la superficie de los agregados principalmente por presencia de agua.
- La diferencia en la composición de los asfaltos no produce grandes diferencias respecto a tensiones superficiales. La tensión superficial se define como una fuerza que tiende a disminuir el contacto entre las interfases líquido – sólido.

1.3.7.1. Influencia del Agua. El agua puede ser absorbida por el bitumen si este contiene pequeñas cantidades de componentes solubles en agua, en particular indicios de sales, lo que sucede normalmente. Por una especie de proceso osmótico el agua se difunde al interior del bitumen y disuelve la sal, produciendo pequeños glóbulos de agua en el bitumen. Por esta casusa, solo se pueden absorber cantidades relativamente grandes de agua cuando la que rodea el bitumen es más o menos pura. Se ha hallado que la adsorción de agua solo produce cambios perceptibles en las propiedades mecánicas de los asfaltos cuando estos se hallan expuestos, una vez aplicados, a temperaturas altas durante largos períodos (años). Esto se produce porque el proceso de difusión es muy lento, debido a la escasa solubilidad molecular del agua en el asfalto y a la constante de difusión pequeña en este medio muy viscoso. (7, Montes y Paez, 2000).

1.3.7.2. Influencia del Oxígeno. El oxígeno influye en la adhesión porque modifica las condiciones visco elásticas de la película de asfalto al producir la oxidación de este último. Los mismos factores que inducen a la adsorción de agua favorecen este proceso de oxidación; es decir, accesibilidad al agente causante, temperatura elevada y viscosidad del asfalto.

2. METODOLOGÍA.

Antes de llegar a hacer cualquier observación sobre el nivel de adherencia entre el agregado mineral y el asfalto es necesario conocer primero que todo, la procedencia de los agregados que se utilizan en las plantas de fabricación de triturado para la mezcla asfáltica. Para esto, se analizaran los minerales que usan las dos plantas existentes en Bucaramanga: Tecnopavimentos S.A. y Pavimentos Andinos Ltda.

2.1. SELECCIÓN DE MUESTRAS.

Lo dicho anteriormente nos lleva a investigar la ubicación exacta de las canteras de donde extraen el agregado. Se conoció entonces que el lugar de extracción es muy similar: 500m detrás del Puente de Pescadero, ubicado entre la vía que de San Gil conduce a Bucaramanga.

Figura 9. Rocas antes de pasar por la trituradora.



Conocida previamente la geología existente de la región se procede a sacar de la planta las muestras de rocas representativas de diámetro aproximado 18cm para realizar la clasificación mineralógica correspondiente que caracteriza el triturado usado para la fabricación del agregado mineral en mezclas asfálticas. Se escogieron dieciocho (18) muestras. Para la respectiva clasificación, se contrató al Estudiante de Geología Edgar Morales Rincón de la Universidad Industrial de Santander, UIS. Los resultados obtenidos se pueden observar en el Anexo 1.

Figura 10. Muestras representativas tomadas de la planta.



El porcentaje de estas 18 rocas dentro de la muestra total de rocas de la cantera se encontró extrayendo una muestra del triturado que se obtiene de las mismas, se dividió la muestra de 1755.05 g, entre los 18 tipos de muestras que se tenían, y se pesaron uno a uno cada grupo de rocas. Las figuras 10.a y 10.b muestran el proceso de división

Figura 10.a Muestra de triturado tomado de la planta (1755.05g).

Figura 10.b Muestras de triturado dividido en las 18 muestras

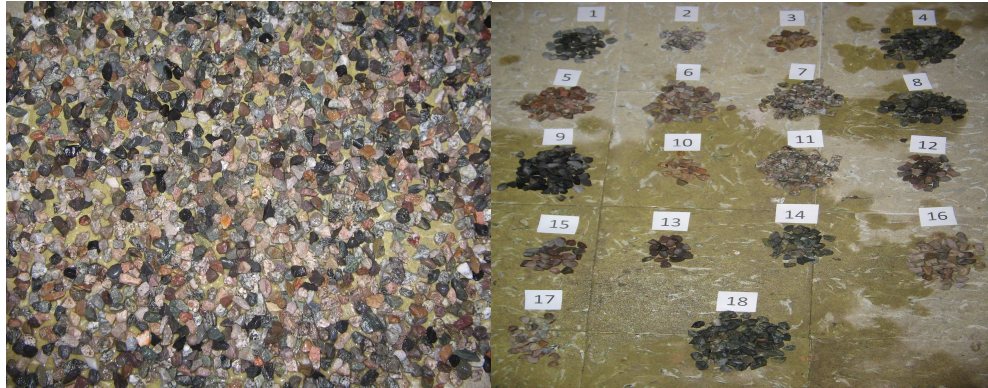


Tabla 1. Porcentajes de las 18 rocas en la muestra de triturado.

Muestra	Porcentaje	Masa [g]
18	13.57%	238.09
9	9.30%	163.25
4	8.34%	146.34
11	8.04%	141.07
7	7.55%	132.58
8	7.14%	125.33
16	7.00%	122.78
6	6.17%	108.28
5	4.91%	86.22
1	4.90%	85.94
14	4.69%	82.28
12	3.61%	63.27
15	3.50%	61.34
17	3.49%	61.25
2	2.24%	39.25
13	2.15%	37.77
10	1.73%	30.28
3	1.69%	29.73
TOTAL	100.00%	1755.05

2.2. CAMPAÑA EXPERIMENTAL.

El objetivo principal de la prueba es mirar el grado de adhesión que se produce entre el agregado mineral y el asfalto. Al tratarse de un ensayo de laboratorio se debe someter a condiciones extremas para identificar las variables que inciden en la prueba. Por esta razón se recurre a un agente como el agua, el cual es el mayor causante de la separación del agregado mineral y el asfalto. Para el experimento se utiliza el siguiente procedimiento:

- Limpiar la muestra de polvo ó suciedades.

Figura 11. Limpieza de las Muestras.



- Calentar hasta 150°C el agregado mineral y el asfalto(20-25).

Figura 12-13. Calentamiento de las rocas y el asfalto a 150°C.



- Cuando la temperatura alcance los 150°C, verter una capa de 1mm de espesor de asfalto sobre el agregado mineral.

Figura 14. Capa de 1mm de espesor de asfalto.



- Una vez estén listas las probetas, dejarlas secar por un período mínimo de doce horas.
- Transcurrido este tiempo, colocar el agregado mineral en agua durante cuatro días a temperatura ambiente.

Figura 15-18. Rocas en agua a temperatura ambiente durante cuatro días.



- Realizar inspecciones cada 8 horas para analizar el grado de adherencia existente entre el agregado mineral y el asfalto.

Después de cuatro días no se encontraron variaciones importantes en la adherencia. Por lo tanto, se cambia el procedimiento de diseño.

2.2.1. Asfaltos Duros. Para la primera prueba se utiliza un asfalto de baja penetración (20-25) y se utiliza el procedimiento descrito a continuación.

Se procede entonces a aumentarle temperatura al agua. Debido a que este es un proyecto experimental, se trabaja con una temperatura inicial del agua de 40°C durante ocho horas. Lo que se busca es aislar dos grupos de muestras. El primer grupo de muestras es aquel que después del tiempo considerado el asfalto sigue adherido a la roca. Por otro lado, el segundo grupo lo conforman las muestras que después del tiempo de la prueba el asfalto se separó de la roca.

Figura 19-20. Rocas en el horno con la tempera del agua a 40°C.



Si todas las muestras sufren del fenómeno de desadhesión se debe bajar la temperatura. De manera similar, si las muestras continúan adheridas la temperatura debe aumentar. Esto se realiza para calibrar la temperatura exacta y de esta forma obtener los dos grupos de muestras definidas anteriormente.

Al finalizar las ocho horas, se aislaron dos grupos de muestras: ocho continuaban adheridas mientras que las diez restantes se separaron. Estos dos grupos son representativos y por lo tanto, la temperatura está correctamente calibrada. Ahora se reinicia el procedimiento teniendo en cuenta una pequeña modificación que consiste en monitorear cada hora las muestras que se introducen al horno dejando un período de enfriamiento de quince (15) minutos antes de realizar la lectura. De esta manera se espera encontrar la hora exacta de desprendimiento entre la película de asfalto y el agregado mineral.

El procedimiento anteriormente modificado se repitió tres (3) veces para corroborar los resultados obtenidos en el primer ensayo.

2.2.2. Asfaltos Blandos. Para el segundo ensayo se utiliza un asfalto blando teniendo en cuenta que “al aplicar el ensayo de penetración, el límite sobrepasa 300”.

Figura 21. Asfalto blando utilizado para el segundo ensayo.



Para este tipo de asfalto se modificó la prueba de la siguiente forma: finalizada cada hora de ensayo se deja enfriar la muestra durante diez (10) minutos. Paso seguido se agrega agua fría y hielo a cada muestra y se

deja durante quince (15) minutos. El efecto de este procedimiento es endurecer la capa asfáltica y de esta forma tratar de desprender el asfalto.

Si el asfalto aún no se ha desadherido se vuelve a colocar en el horno para así repetir el procedimiento hasta encontrar la hora exacta en la cual cada película de asfalto se desprende de su respectiva muestra.

Figura 22. Hielo en la muestra con emulsión asfáltica.



2.2.3. Asfaltos Tradicionales. Para el tercer ensayo se utiliza un asfalto de alta penetración (60-70) y se utiliza el mismo procedimiento del asfalto blando.

Para cada tipo de asfalto se llevó a cabo una prueba simultánea que tenía como objetivo establecer parámetros de comparación de adherencia de estos sobre superficies conocidas. En este caso se tomaron como referencia el vidrio y el mármol suponiendo que el vidrio presentará una pésima adherencia debido a su alto contenido de sílice mientras que el mármol un comportamiento completamente diferente porque su composición es predominantemente calcárea. Los resultados de dicha prueba están tabulados en la siguiente sección.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

Como los resultados que arrojará el ensayo serán cualitativos, se nombrarán dos parámetros representativos:

- (A) Asfalto adherido al agregado mineral.

Figura 23. Rocas con grado A de adherencia: Asfalto adherido al agregado.



- (C) Asfalto desprendido del agregado mineral.

Figura 24. Rocas con grado C de adherencia: Asfalto desprendido del agregado.



El dato de la hora de desprendimiento que está en la tabla resumen de de los resultados de cada asfalto se obtuvo mediante la moda de los tres ensayos, en el caso que no hubiera moda se tomo el promedio de los tres resultados.

La identificación de las muestras se referencia en la siguiente tabla.

Tabla 1.a. Tipos de Roca.

Muestra	Tipo de Roca
1	Cuarcita
2	Esquisto Cuarzo-Muscovítico
3	Cuarzo arenita
4	Anfibolita
5	Granito
6	Cuarzo arenita
7	Grano diorita
8	Anfibolita
9	Mudstone calcáreo
10	Arenita de cuarzo y feldespato "arcosa"
11	Granito
12	Cuarzo arenita
13	Arenita de cuarzo y feldespato "arcosa"
14	Arenita de cuarzo y feldespato "arcosa"
15	Cuarcita
16	Cuarzo arenita
17	Cuarzo arenita
18	Cuarcita

Se utilizaron tres tipos de tablas, las cuales se describirán a continuación:

- Un tipo de tabla consiste en mostrar las pruebas realizadas de los tres tipos de asfaltos: duros, blandos y tradicionales. La tabla señala el comportamiento horario de cada una de las dieciocho (18) muestras y su respectiva hora de desprendimiento de asfalto establecido con los dos parámetros establecidos anteriormente. A continuación la tabla número 2 muestra el ejemplo, las tablas numero 11,12,13,14,15,18,19 y 20 se presentan en el anexo 1.

- Otro tipo de tabla consiste en mostrar el resumen de los tres tipos de asfaltos: duros, blandos y tradicionales. La tabla señala el resumen de las muestras que fallan antes de la hora nueve (9) para los asfaltos duros y tradicionales y antes de la hora veinte (20) para los asfaltos blandos. Cada muestra viene con su respectiva hora de desprendimiento, su tipo de roca, los minerales que lo conforman, su textura y el nombre de la roca. A continuación la tabla número 3 muestra el ejemplo. Las tablas número 16 y 21 se presentan en el anexo 1.
- El último tipo de tabla consiste en mostrar el resumen de los tres tipos de asfaltos: duros, blandos y tradicionales. La tabla señala el resumen de las muestras que fallan a la hora nueve (9) o después para los asfaltos duros y tradicionales y a la hora veinte (20) o después para los asfaltos blandos. Cada muestra viene con su respectiva hora de desprendimiento, su tipo de roca, los minerales que lo conforman, su textura y el nombre de la roca. A continuación la tabla número 4 muestra el ejemplo. Las tablas número 17 y 22 se presentan en el anexo 1.

Tabla 2. Primera prueba de adhesión con asfalto duro. (Penetración 20-25).

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	24	25	28	30	35	37	40	Hora Desprendimiento
1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	40
2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C																			11
3	A	A	A	A	A	C																								6
4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	40
5	A	A	A	A	C																									5
6	A	A	C																											3
7	A	A	A	A	A	C																								6
8	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C							24
9	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C					28
10	A	A	C																											3
11	A	A	A	A	A	A	C																							7
12	A	A	A	A	C																									5
13	A	A	A	A	C																									5
14	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C																		12
15	A	A	C																											3
16	A	A	A	C																										4
17	A	A	A	A	C																									5
18	A	A	A	A	A	A	A	C																						8

A. Asfalto Adherido al Agregado Mineral.

C. Asfalto Desprendido del Agregado Mineral.

Tabla 3. Resumen de las muestras desadheridas antes de ocho horas con asfalto duro. (Penetración 20-25),

MUESTRA	HORA DESPRENDIMIENTO	TIPO DE ROCA			MINERALES	TEXTURA	NOMBRE DE ROCA
		Ígnea	Sedimentaria	Metamórfica			
10	3		X		Cuarzo 50%	Grano Soportada	Arenita de cuarzo y feldespato "Arcosa"
					Feldespato 50%		
15	3			X	Cuarzo	Grano Blástica	Cuarcita
6	3		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
16	4		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
12	5		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
13	5		X		Feldespato 80%	Grano Soportada	Arenita de cuarzo y feldespato "Arcosa"
					Plagioclasa 10%		
					Cuarzo 10%		
5	5	X			Feldespato 60%	Fanerítica	Granito
					Cuarzo 35%		
					Plagioclasa 5%		
17	5		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
3	6		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
7	6	X			Plagioclasa 60%	Porfidítica	Grano diorita
					Máficos 20%		
					Cuarzo 15%		
					Feldespato 5%		
11	7	X			Cuarzo 45%	Porfidítica	Granito
					Feldespato 40%		
					Plagioclasa 15%		
18	8			X	Cuarzo	Grano Blástica	Cuarcita

Tabla 4. Resumen de las muestras desadheridas después de ocho horas con asfalto duro. (Penetración 20-25).

MUESTRA	HORA DESPRENDIMIENTO	TIPO DE ROCA			MINERALES	TEXTURA	NOMBRE DE ROCA
		Ígnea	Sedimentaria	Metamórfica			
2	11			X	Hornblenda 45%	Porfido Blástica	Esquisto Cuarzo-Muscovítico
					Cuarzo 25%		
					Plagioclasa 20%		
					Mica 10%		
14	12		X		Cuarzo 40%	Grano Soportada	Arenita de cuarzo y feldespato "Arcosa"
					Feldespato 40%		
					Plagioclasa 15%		
					Mica 5%		
8	24			X	Hornblenda 90%	Nemato Blástica	Anfibolita
					Plagioclasa 10%		
9	28		X		Dolomita		Mudstone Calcáreo
1	40			X	Cuarzo	Grano Blástica	Cuarcita
4	40			X	Hornblenda 80%	Nemato Blástica	Anfibolita
					Plagioclasa 20%		

Tabla 5. Resultado de las pruebas sobre el vidrio y el mármol.

Material	Hora Desprendimiento		
	Asfalto Duro	Asfalto Tradicional	Asfalto Blando
Vidrio	2	2	3
Mármol	40	40	40

Para el análisis que se presenta a continuación se tomaran los datos solo el asfalto tradicional pues es el que más se usa en nuestra región, teniendo en cuenta tres rangos de hora de desprendimiento de roca para asfaltos tradicionales:

- 1. Rocas cuya hora de desprendimiento es menor a la 8^a, tienen una resistencia baja al desprendimiento del asfalto.
- 2. Rocas cuya hora de desprendimiento está entre la 8^a y 20^a, tienen una resistencia media al desprendimiento del asfalto.
- 3. Rocas cuya hora de desprendimiento supera la 20^a, tienen una resistencia alta al desprendimiento del asfalto.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Un 29.68% de las rocas que hay en promedio en la planta de Tecnopavimentos está en el rango catalogado de alta resistencia al desprendimiento.
- Un 29.01% de las rocas que hay en promedio en la planta de Tecnopavimentos está en el rango catalogado de media resistencia al desprendimiento.
- Un 41.31% de las rocas que hay en promedio en la planta de Tecnopavimentos está en el rango catalogado de baja resistencia al desprendimiento.

Estos porcentajes se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6. Porcentaje de roca respecto a la muestra de triturado y su hora de desprendimiento para asfaltos 60-70.

Muestra	Porcentaje	Masa [g]	Hora Desprendimiento
18	13.57%	238.09	9
9	9.30%	163.25	37
4	8.34%	146.34	40
11	8.04%	141.07	6
7	7.55%	132.58	5
8	7.14%	125.33	33
16	7.00%	122.78	4
6	6.17%	108.28	4
5	4.91%	86.22	8
1	4.90%	85.94	40
14	4.69%	82.28	17
12	3.61%	63.27	8
15	3.50%	61.34	5
17	3.49%	61.25	6
2	2.24%	39.25	15
13	2.15%	37.77	7
10	1.73%	30.28	6
3	1.69%	29.73	7
TOTAL	100.00%	1755.05	

4. CONCLUSIONES

- Mediante el ensayo practicado se logró clasificar diferentes tipos de roca de acuerdo con su resistencia a la pérdida de ligante bituminoso por efecto del agua.
- Las rocas de la fuente de agregado del rio Chicamocha se clasificaron como lo indican las siguientes tablas.

Tabla 7. Orden Ascendente de resultados del ensayo de adherencia de asfalto duro.

Muestra	Nombre de Roca	Hora de Desprendimiento	Durabilidad Porcentual
10	Arenita de cuarzo y feldespato "arcosa"	3	7.50%
15	Cuarcita	3	7.50%
6	Cuarzo arenita	3	7.50%
16	Cuarzo arenita	4	10.00%
12	Cuarzo arenita	5	12.50%
13	Arenita de cuarzo y feldespato "arcosa"	5	12.50%
5	Granito	5	12.50%
17	Cuarzo arenita	5	12.50%
3	Cuarzo arenita	6	15.00%
7	Grano diorita	6	15.00%
11	Granito	7	17.50%
18	Cuarcita	8	20.00%
2	Esquisto cuarzo-muscovítico	11	27.50%
14	Arenita de cuarzo y feldespato "arcosa"	12	30.00%
8	Anfibolita	24	60.00%
9	Mudstone calcáreo	28	70.00%
1	Cuarcita	40	100.00%
4	Anfibolita	40	100.00%

Tabla 8. Orden Ascendente de resultados del ensayo de adherencia de asfalto blando.

Muestra	Nombre de Roca	Hora de Desprendimiento	Durabilidad Porcentual
16	Cuarzo arenita	10	25.00%
6	Cuarzo arenita	10	25.00%
15	Cuarcita	11	27.50%
7	Grano diorita	12	30.00%
11	Granito	12	30.00%
10	Arenita de cuarzo y feldespato "arcosa"	13	32.50%
3	Cuarzo arenita	13	32.50%
5	Granito	15	37.50%
13	Arenita de cuarzo y feldespato "arcosa"	15	37.50%
12	Cuarzo arenita	17	42.50%
17	Cuarzo arenita	17	42.50%
18	Cuarcita	21	52.50%
14	Arenita de cuarzo y feldespato "arcosa"	23	57.50%
2	Esquisto Cuarzo-Muscovítico	27	67.50%
8	Anfibolita	40	100.00%
9	Mudstone calcáreo	40	100.00%
1	Cuarcita	40	100.00%
4	Anfibolita	40	100.00%

Tabla 9. Orden Ascendente de resultados del ensayo de adherencia de asfalto tradicional.

Muestra	Nombre de Roca	Hora de Desprendimiento	Durabilidad Porcentual
16	Cuarzo arenita	4	10.00%
6	Cuarzo arenita	4	10.00%
7	Grano diorita	5	12.50%
15	Cuarcita	5	12.50%
17	Cuarzo arenita	6	15.00%
11	Granito	6	15.00%
10	Arenita de cuarzo y feldespato "arcosa"	6	15.00%
3	Cuarzo arenita	7	17.50%
13	Arenita de cuarzo y feldespato "arcosa"	7	17.50%
12	Cuarzo arenita	8	20.00%
5	Granito	8	20.00%
18	Cuarcita	9	22.50%
2	Esquisto Cuarzo-Muscovítico	15	37.50%
14	Arenita de cuarzo y feldespato "arcosa"	17	42.50%
8	Anfibolita	33	82.50%
9	Mudstone calcáreo	37	92.50%
1	Cuarcita	40	100.00%
4	Anfibolita	40	100.00%

- Se observó que no solo los minerales determinan la resistencia a la desadhesión, debido al comportamiento de algunas muestras como la número 18 y número 1, que aún teniendo una composición mineral igual su comportamiento no es el mismo dentro de una misma prueba. Esto quiere decir que aunque el vidrio y el mármol nos dan una referencia de adherencia respecto a los minerales, en el fenómeno existen otros factores que no se pudieron identificar, pero que el ensayo puede poner de manifiesto.
- La mayoría de las rocas usadas en los ensayos fueron silíceas, teniendo solo una roca de tipo calcáreo.

- Los resultados son repetibles, a pesar de variar el tipo de asfalto se realizaron tres pruebas cuyos datos obtenidos tendían a una misma clasificación de las rocas.
- Entre mayor es la temperatura del agua el asfalto presenta menos tiempo de adherencia con el agregado mineral debido a que la temperatura promueve la separación de partículas dentro de la unión agregado-asfalto. Por otro lado mientras el ensayo se realizó con el agua a temperatura ambiente no se observaron cambios en la adherencia agregado-asfalto. Ensayos como el INV E-737: Cubrimiento de Agregados con Materiales Asfálticos en Presencia del Agua (Stripping) no dan una valoración confiable del nivel de adherencia porque en este ensayo solo se hace una estimación visual efectuada después de dieciocho (18) horas y con agua a temperatura de solo 25°C, muy cercana a la ambiente.
- Porcentajes cercanos a 50% del triturado que se encontró en la planta de Tecnopavimentos S.A. se consideran como rocas con resistencia baja al desprendimiento del asfalto.
- Se propone detallar la composición mineralógica de la roca y la composición química del asfalto usando herramientas como la difracción de rayos X y la cromatografía respectivamente para explicar con más detalle el fenómeno de adherencia desde el punto de vista químico.

Tabla 10. Tabla resumen de las horas de desprendimiento de los tres tipos de asfalto.

MUESTRA	HORA DE DESPRENDIMIENTO		
	TIPO DE ASFALTO		
	DURO	TRADICIONAL	BLANDO
1	40	40	40
2	11	15	27
3	6	7	13
4	40	40	40
5	5	8	15
6	3	4	10
7	6	5	12
8	24	33	40
9	28	37	40
10	3	6	13
11	7	6	12
12	5	8	17
13	5	7	15
14	12	17	23
15	3	5	11
16	4	4	10
17	5	6	17
18	8	9	21

- A futuro se propone estudiar el fenómeno de adhesión con aditivos que permitan mejorar dicha propiedad.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1. ARENAS SEGURA, Juan Pablo y RUIZ LIZARRALDE, Juan Sebastián. Estudio de la variación del régimen de lluvias en la cuenca superior del río Lebrija (c.s.r.l). Bucaramanga, 2005. 174h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.
- 2. KLEIN, Cornelis. Cuarta edición. Editorial Reverte. Barcelona: Editorial Reverté, 1998. 679 p.
- 3. CORDERO OCHOA, Lucy Amparo y GARCÍA CABALLERO, Sergio Alberto. Estudio de adherencia de agregado – asfalto empleando estabilidad sumergida. Bucaramanga, 1996. 194h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.
- 4. GARCÉS GÉLVEZ, Berenice y GARCÍA ARIAS, Ibet Zoraida. Estudio de la adherencia agregado – asfalto en presencia de presión de poro. Bucaramanga, 2002. 214h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.
- 5. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. México D.F. IMT, 2001. p. 48. Publicación Técnica No 23.
- 6. MARSH, Barry. Online images of rock and mineral specimens. (Imágenes en línea de especímenes de rocas y minerales). En: SOES Website: <http://www.soes.soton.ac.uk/>, 2006.

- 7. MONTES GORDILLO, Beatriz Liliana y PÁEZ PICO, Oscar Julián. Estudio comparativo de ensayos para determinar la adherencia agregado – asfalto. Bucaramanga, 2000. 132h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisico-Mecánicas.

- 8. REYES LIZCANO, Fredy Alberto. Diseño Racional de Pavimentos. Primera Edición. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. 584p. + 1 CD-ROM.

- 9. TARBUCK, Edward J y LUTGENS, Frederick K. Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física. Sexta Edición. Madrid: Editorial Prentice Hall, 1999. 540p.

- 10. VIDAÑA BENCOMO, José Osiris. Deterioro en Pavimentos Flexibles de Ciudad Juárez Por Efectos del Agua Pluvial. En: SEMINARIO DEL AGUA. (2005, Ciudad Juárez). Ponencia del Seminario del Agua, 2005. 64 diapositi

Tabla 12. Tercera prueba de adhesión con asfalto duro. (Penetración 20-25).

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	25	28	30	32	35	38	40	Hora Desprendimiento
1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	40
2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C																14
3	A	A	A	A	A	C																								6
4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	40
5	A	A	A	A	C																									5
6	A	A	A	A	C																									5
7	A	A	A	A	A	C																								6
8	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C								21
9	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C						12
10	A	A	A	C																										4
11	A	A	A	A	A	A	C																							7
12	A	A	A	A	A	A	C																							5
13	A	A	A	A	A	C																								7
14	A	A	A	A	A	A	A	C																						9
15	A	A	A	C																										4
16	A	A	A	C																										4
17	A	A	A	A	A	C																								6
18	A	A	A	A	A	A	A	C																						8

A. Asfalto Adherido al Agregado Mineral.

C. Asfalto Desprendido del Agregado Mineral.

Tabla 15. Tercera prueba de adhesión con asfalto blando.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	27	30	34	36	40	40	Hora Desprendimiento
1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	40
2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C					27
3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C																13
4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	40
5	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C										18
6	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C																			10
7	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C																	12
8	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	40
9	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	40
10	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C																			10
11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C																	13
12	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C													17
13	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C								20
14	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C								19
15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C														14
16	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C																		11
17	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C													15
18	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C						22

A. Asfalto Adherido al Agregado Mineral.

C. Asfalto Desprendido del Agregado Mineral.

Tabla 16. Resumen de las muestras desadheridas antes de veinte horas con asfalto blando.

MUESTRA	HORA DESPRENDIMIENTO	TIPO DE ROCA			MINERALES	TEXTURA	NOMBRE DE ROCA
		Ígnea	Sedimentaria	Metamórfica			
16	10		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
6	10		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
15	11			X	Cuarzo	Grano Blástica	Cuarcita
7	12	X			Plagioclasa 60%	Porfídica	Grano Diorita
					Máficos 20%		
					Cuarzo 15%		
					Feldespato 5%		
11	12	X			Cuarzo 45%	Porfídica	Granito
					Feldespato 40%		
					Plagioclasa 15%		
10	13		X		Cuarzo 50%	Grano Soportada	Arenita de cuarzo y feldespato "Arcosa"
					Feldespato 50%		
3	13		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
5	15	X			Feldespato 60%	Fanerítica	Granito
					Cuarzo 35%		
					Plagioclasa 5%		
13	15		X		Feldespato 80%	Grano Soportada	Arenita de cuarzo y feldespato "Arcosa"
					Plagioclasa 10%		
					Cuarzo 10%		
12	17		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
17	17		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita

Tabla 17. Resumen de las muestras desadheridas después de veinte horas con asfalto blando.

MUESTRA	HORA DESPRENDIMIENTO	TIPO DE ROCA			MINERALES	TEXTURA	ESFERICIDAD
		Ígnea	Sedimentaria	Metamórfica			
18	21			X	Cuarzo	Grano Blástica	Cuarcita
14	23		X		Cuarzo 40%	Grano Soportada	Arenita de cuarzo y feldespato "Arcosa"
					Feldespato 40%		
					Plagioclasa 15%		
					Mica 5%		
2	27			X	Hornblenda 45%	Porfido Blástica	Esquisto Cuarzo-Muscovítico
					Cuarzo 25%		
					Plagioclasa 20%		
					Mica 10%		
8	40			X	Hornblenda 90%	Nemato Blástica	Anfibolita
					Plagioclasa 10%		
9	40		X		Dolomita		Mudstone Calcáreo
1	40			X	Cuarzo	Grano Blástica	Cuarcita
4	40			X	Hornblenda 80%	Nemato Blástica	Anfibolita
					Plagioclasa 20%		

Tabla 18. Primera prueba de adhesión con asfalto tradicional. (Penetración 60-70).

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	30	34	36	40	Hora Desprendimiento
1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	40
2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A											15
3	A	A	A	A	A	A	C																				7
4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	40
5	A	A	A	A	A	A	A	C																			8
6	A	A	A	C																							4
7	A	A	A	A	A	A	C																				7
8	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C			34
9	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C		36
10	A	A	A	A	A	C																					6
11	A	A	A	A	C																						5
12	A	A	A	A	A	A	C																				8
13	A	A	A	A	A	A	C																				7
14	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C										17
15	A	A	A	A	A	A	C																				7
16	A	A	A	A	C																						5
17	A	A	A	A	C																						6
18	A	A	A	A	A	A	A	C																			9

A. Asfalto Adherido al Agregado Mineral.

C. Asfalto Desprendido del Agregado Mineral.

Tabla 19. Segunda prueba de adhesión con asfalto tradicional. (Penetración 60-70).

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	30	32	38	40	Hora Desprendimiento
1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	40
2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	C									18
3	A	A	A	A	A	A	C																				7
4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	40
5	A	A	A	A	A	A	C																				7
6	A	A	A	A	B	C																					6
7	A	A	A	A	C																						5
8	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C			32
9	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C		38
10	A	A	A	A	C																						5
11	A	A	A	A	A	C																					6
12	A	A	A	A	A	A	A	C																			8
13	A	A	A	A	A	A	C																				7
14	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C													14
15	A	A	A	C																							4
16	A	A	C																								3
17	A	A	A	C																							4
18	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C														13

A. Asfalto Adherido al Agregado Mineral.
 C. Asfalto Desprendido del Agregado Mineral.

Tabla 21. Resumen de las muestras desadheridas antes de ocho horas con asfalto tradicional. (Penetración 60-70),

MUESTRA	HORA DESPRENDIMIENTO	TIPO DE ROCA			MINERALES	TEXTURA	NOMBRE DE ROCA
		Ígnea	Sedimentaria	Metamórfica			
16	4		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
6	4		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
7	5	X			Plagioclasa 60%	Porfidítica	Grano diorita
					Máficos 20%		
					Cuarzo 15%		
					Feldespatos 5%		
15	5			X	Cuarzo	Grano Blástica	Cuarcita
17	6		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
11	6	X			Cuarzo 45%	Porfidítica	Granito
					Feldespatos 40%		
					Plagioclasa 15%		
10	6		X		Cuarzo 50%	Grano Soportada	Arenita de cuarzo y feldespatos "Arcosa"
					Feldespatos 50%		
3	7		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
13	7		X		Feldespatos 80%	Grano Soportada	Arenita de cuarzo y feldespatos "Arcosa"
					Plagioclasa 10%		
					Cuarzo 10%		
12	8		X		Cuarzo	Grano Soportada	Cuarzo arenita
5	8	X			Feldespatos 60%	Fanerítica	Granito
					Cuarzo 35%		
					Plagioclasa 5%		

Tabla 22. Resumen de las muestras desadheridas después de ocho horas con asfalto tradicional. (Penetración 60-70).

MUESTRA	HORA DESPRENDIMIENTO	TIPO DE ROCA			MINERALES	TEXTURA	NOMBRE DE ROCA
		Ígnea	Sedimentaria	Metamórfica			
18	9			X	Cuarzo	Grano Blástica	Cuarcita
2	15			X	Hornblenda 45%	Porfido Blástica	Esquisto Cuarzo-Muscovítico
					Cuarzo 25%		
					Plagioclasa 20%		
					Mica 10%		
14	17		X		Cuarzo 40%	Grano Soportada	Arenita de cuarzo y feldespato "Arcosa"
					Feldespato 40%		
					Plagioclasa 15%		
					Mica 5%		
8	33			X	Hornblenda 90%	Nemato Blástica	Anfibolita
					Plagioclasa 10%		
9	37		X		Dolomita		Mudstone Calcáreo
1	40			X	Cuarzo	Grano Blástica	Cuarcita
4	40			X	Hornblenda 80%	Nemato Blástica	Anfibolita
					Plagioclasa 20%		

Anexo 2. Descripción Macroscópica de las Muestras.

El objetivo de esta descripción es utilizar criterios mineralógicos textuales y rasgos estructurales con el fin de determinar el tipo de roca y su ambiente de formación.

Para esta descripción se utilizaron las siguientes herramientas:

1. lupa de mano (1x – 2x)
2. lupa bi-ocular marca NIKON SMZ 645 (0.8x – 8x)
3. manuales de laboratorio para la descripción macroscópica de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas.

Descripción de muestras:

M – 1:

Composición mineral: Cuarzo

Textura: Grano-blástica

Aspecto: Masivo

Tipo de roca: Metamórfica

Nombre de roca: Cuarcita

Otras características: La roca presenta en algunos sectores oxidación superpuesta en los cristales de cuarzo.

Figura 25. Muestra M-1.



M – 2:

Análisis modal: Cuarzo = 25%
Plagioclasa = 20%
Micas = 10%
Anfíboles = 45%

Textura: Porfido-blastica

Aspecto: Esquistoso

Tipo de roca: Metamórfica

Nombre de roca: Esquisto Cuarzo – Muscovítico

Figura 26. Muestra M-2.



M – 3:

Composición mineral: Cuarzo

Granulometría: Fina (0.25 mm)

Tipo de contacto: Los granos están dispuestos de forma longitudinal

Estructura: Grano-soportada

Esfericidad: Los granos de cuarzo presentan baja esfericidad de tipo subredondeados

Selección: Muy buen sorteado

Madurez textural: Debido a criterios de esfericidad y selección la roca es madura texturalmente

Tipo de roca: Sedimentaria

Nombre de roca: Cuarzo arenita

Figura 27. Muestra M-3.



M - 4:

Análisis modal: Plagioclasa = 20%

Hornblenda = 80%

Textura: Nemato-blastica

Aspecto: Masivo

Tipo de roca: Metamórfica

Nombre de roca: Anfibolita

Figura 28. Muestra M-4.



M – 5:

Análisis modal: Cuarzo = 35%
Feldespato = 60%
Plagioclasa = 15%

Color: La muestra exhibe un color carnosos

Granulometria: Grano grueso (2 mm – 5 mm)

Textura: Fanerítica

Tipo de roca: Ígnea

Nombre de roca: Granito

Figura 29. Muestra M-5.



M – 6:

Composición mineral: Cuarzo

Granulometría: Fina (0.25 mm)

Tipo de contacto: Los granos están dispuestos de forma longitudinal

Estructura: Grano-soportada

Esfericidad: Los granos de cuarzo presentan baja esfericidad de tipo subredondeados

Selección: Muy buen sorteado

Madurez textural: Madura texturalmente

Tipo de roca: Sedimentaria

Nombre de roca: Cuarzo arenita

Figura 30. Muestra M-6.



M – 7:

Análisis modal: Cuarzo = 15%
Feldespato = 5%
Plagioclasa = 60%
Maficos = 20%

Granulometria: Grano grueso (2 mm – 5 mm)

Textura: Porfídica

Tipo de roca: Ígnea

Nombre de roca: Grano Diorita

Figura 31. Muestra M-7.



M – 8:

Análisis modal: Plagioclasa = 10%

Hornblenda = 90%

Textura: Nemato-blastica

Aspecto: Masivo

Tipo de roca: Metamórfica

Nombre de roca: Anfibolita

Figura 32. Muestra M-8.



M – 9:

Tipo de roca: Calcárea

Nombre de roca: Mudstone calcáreo

Figura 33. Muestra M-9.



M – 10:

Composición mineral: Cuarzo y Feldespato

Granulometría: Fina (0.25 mm)

Tipo de contacto: Los granos están dispuestos de forma longitudinal

Estructura: Grano-soportada

Esfericidad: Los granos presentan baja esfericidad de tipo redondeados

Selección: Muy buen sorteado

Madurez textural: Madura texturalmente

Tipo de roca: Sedimentaria

Nombre de roca: Arenita de cuarzo y feldespato “Arcosa”

Figura 34. Muestra M-10.



M – 11:

Análisis modal: Cuarzo = 45%
Feldespato = 40%
Plagioclasa = 15%

Color: La muestra exhibe un color carnosos pálido

Granulometria: Grano grueso (2 mm – 5 mm)

Textura: Porfidítica

Tipo de roca: Ígnea

Nombre de roca: Granito

Figura 35. Muestra M-11.



M – 12:

Composición mineral: Cuarzo

Granulometría: Fina (0.25 mm)

Tipo de contacto: Los granos están dispuestos de forma longitudinal

Estructura: Grano-soportada

Esfericidad: Los granos de cuarzo presentan baja esfericidad de tipo subredondeados

Selección: Muy buen sorteado

Madurez textural: Debido a criterios de esfericidad y selección la roca es madura texturalmente

Tipo de roca: Sedimentaria

Nombre de roca: Cuarzo arenita

Otras características: La muestra presenta en algunos sectores oxidación superpuesta sobre los cristales de cuarzo.

Figura 36. Muestra M-12.



M – 13:

Análisis modal: Cuarzo = 10%
Feldespato = 80%
Plagioclasa = 10%

Granulometría: Media (0.5 mm) a Fina (0.25 mm)

Tipo de contacto: Los granos están dispuestos de forma longitudinal

Estructura: Grano-soportada

Esfericidad: Los granos presentan baja esfericidad de tipo subangulares

Selección: Pobremente seleccionada

Madurez textural: Inmadura texturalmente

Tipo de roca: Sedimentaria

Nombre de roca: Arenita de cuarzo y feldespato “Arcosa”

Figura 37. Muestra M-13.



M – 14:

Análisis modal: Cuarzo = 40%
Feldespato = 40%
Plagioclasa = 15%
Micas = 5%

Granulometría: Fina (0.25 mm) a Muy fino (0.625 mm)

Tipo de contacto: Los granos están dispuestos de forma longitudinal

Estructura: Grano-soportada

Esfericidad: Los granos presentan baja esfericidad de tipo subangulares

Selección: Moderadamente seleccionada

Madurez textural: Madura texturalmente

Tipo de roca: Sedimentaria

Nombre de roca: Arenita de cuarzo y feldespato “Arcosa”

Figura 38. Muestra M-14.



M – 15:

Composición mineral: cuarzo

Textura: grano-blastica

Aspecto: masivo

Tipo de roca: metamórfica

Nombre de roca: cuarcita

Otras características: la roca presenta en algunos sectores oxidación superpuesta en los cristales de cuarzo.

Figura 39. Muestra M-15.



M – 16:

Composición mineral: Cuarzo

Granulometría: Fina (0.25 mm)

Tipo de contacto: Los granos están dispuestos de forma longitudinal

Estructura: Grano-soportada

Esfericidad: Los granos de cuarzo presentan baja esfericidad de tipo subredondeados

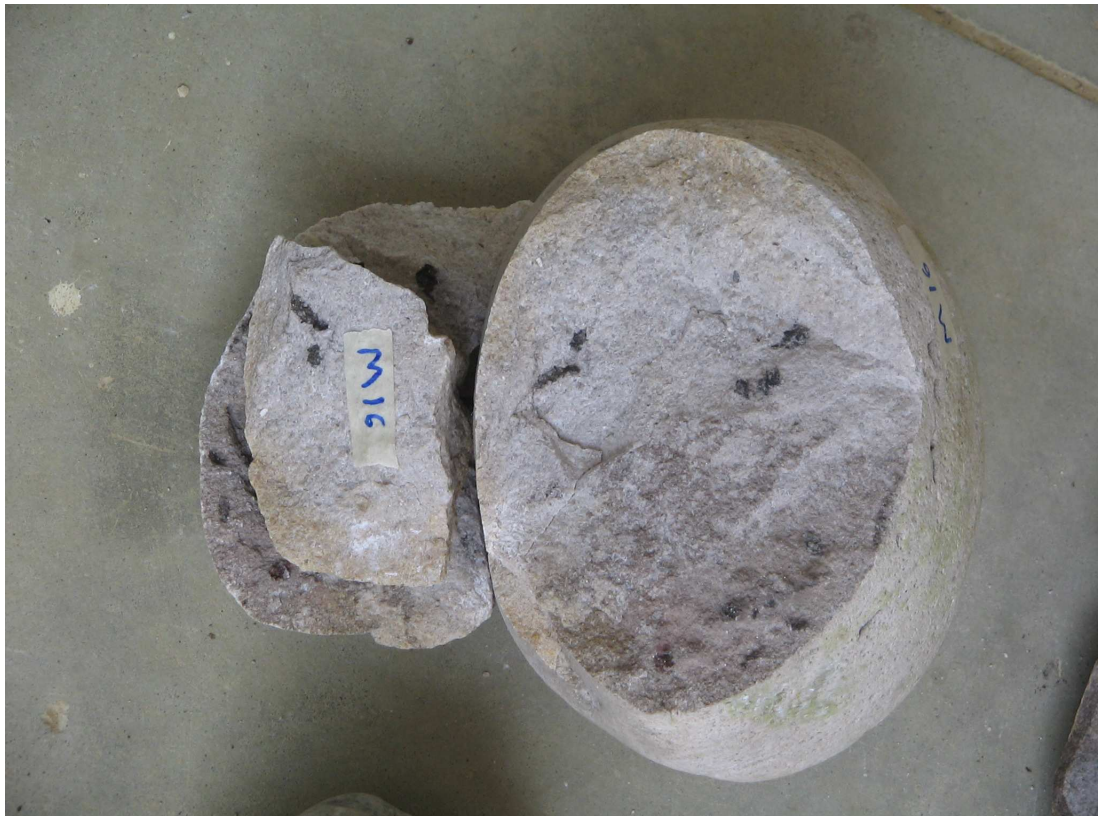
Selección: Muy buen sorteado

Madurez textural: Debido a criterios de esfericidad y selección la roca es madura texturalmente

Tipo de roca: Sedimentaria

Nombre de roca: Cuarzo arenita

Figura 40. Muestra M-16.



M – 17:

Composición mineral: Cuarzo

Granulometría: Media (0.5 mm) a Fina (0.25 mm)

Tipo de contacto: Longitudinal

Estructura: Grano-soportada

Esfericidad: Los granos de cuarzo presentan baja esfericidad de tipo subangular

Selección: Moderada

Madurez textural: Submadura

Tipo de roca: Sedimentaria

Nombre de roca: Cuarzo arenita

Figura 41. Muestra M-17.



M – 18:

Composición mineral: Cuarzo

Textura: Grano-blastica

Aspecto: Masivo

Tipo de roca: Metamórfica

Nombre de roca: Cuarcita

Otras características: La roca presenta en algunos sectores oxidación superpuesta en los cristales de cuarzo

Figura 42. Muestra M-18.



TODAS LAS MUESTRAS ANTES DE SER ENSAYADAS

Figura 43. Todas las muestras



**Anexo 3. Galería de muestras antes y después de los ensayos.
MUESTRAS ANTES DE LOS ENSAYOS**

Muestra 1. CUARCITA



Muestra 2. ESQUISTO CUARZO-MUSCOVÍTICO



Muestra 3. CUARZO ARENITA



Muestra 4. ANFIBOLITA



Muestra 5. GRANITO



Muestra 6. CUARZO ARENITA



Muestra 7. GRANO DIORITA



Muestra 8. ANFIBOLITA



Muestra 9. MUDSTONE CALCÁREO



Muestra 10. **ARENITA DE CUARZO
Y FELDESPATO "ARCOSA"**



Muestra 11. **GRANITO**



Muestra 12. **CUARZO ARENITA**



Muestra 13. **ARENITA DE CUARZO
Y FELDESPATO "ARCOSA"**



Muestra 14. **ARENITA DE CUARZO
Y FELDESPATO "ARCOSA"**



Muestra 15. **CUARCITA**



Muestra 16. **CUARZO ARENITA**



Muestra 17. **CUARZO ARENITA**



Muestra 18. **CUARCITA**



VIDRIO



MÁRMOL



TODAS LAS MUESTRAS ANTES DE LOS ENSAYOS



MUESTRAS DESPUÉS DE LOS ENSAYOS

Muestra 1. CUARCITA



Muestra 2. ESQUISTO CUARZO-MUSCOVÍTICO



Muestra 3. CUARZO ARENITA



Muestra 4. ANFIBOLITA



Muestra 5. GRANITO



Muestra 7. GRANO DIORITA



Muestra 9. MUDSTONE CALCÁREO



Muestra 10. ARENITA DE CUARZO Y FELDESPATO "ARCOSA"



Muestra 11. GRANITO



Muestra 12. CUARZO ARENITA



Muestra 13. ARENITA DE CUARZ
Y FELDESPATO "ARCOSA"



Muestra 14. ARENITA DE CUARZO
Y FELDESPATO "ARCOSA"



Muestra 15. CUARCITA



Muestra 16. CUARZO ARENITA



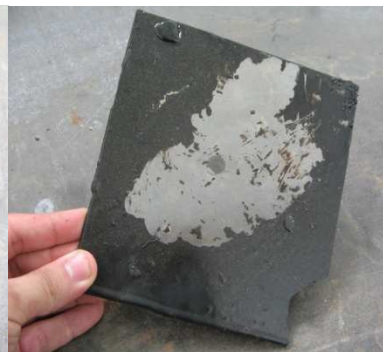
Muestra 17. CUARZO ARENITA



MÁRMOL



VIDRIO



Muestra 8. ANFIBOLITA



TODAS LAS MUESTRAS DESPUÉS DEL ENSAYO

