

PERTENECIENTE A UNA CANTERA DEL MUNICIPIO DE GUAMAL DEL DEPARTAMENTO DEL META”

“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y MICROESTRUCTURAL DE LOS
AGREGADOS PETREOS PERTENECIENTE A UNA CANTERA DEL MUNICIPIO DE
GUAMAL DEL DEPARTAMENTO DEL META”



LIZETH ZAMIRA TOVAR CASTRO
CARLOS EDUARDO POSADA MARTIN

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

“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y MICROESTRUCTURAL DE LOS AGREGADOS PETREOS
PERTENECIENTE A UNA CANTERA DEL MUNICIPIO DE GUAMAL DEL DEPARTAMENTO DEL META”

“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y MICROESTRUCTURAL DE LOS
AGREGADOS PETREOS PERTENECIENTE A UNA CANTERA DEL MUNICIPIO DE
GUAMAL DEL DEPARTAMENTO DEL META”

INTEGRANTES:

LIZETH ZAMIRA TOVAR CASTRO
CARLOS EDUARDO POSADA MARTIN

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TITULO DE ESPECIALISTAS EN
INGENIERIA DE PAVIMENTOS.

ASESOR: JUAN CARLOS RUGE CÁRDENAS, PHD
INGENIERO CIVIL, MAGISTER EN GEOTECNIA, DOCTOR EN GEOTECNIA

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



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



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



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

Agradecimientos y dedicatoria

Agradecemos a Dios principalmente por habernos permitido culminar esta especialización, a nuestras familias por darnos el apoyo incondicional para seguir adelante, a nuestros docentes por la orientación y aprendizaje que nos brindaron en el transcurso de este tiempo, al Ingeniero Juan Carlos Ruge Cárdenas por sus asesorías y conocimiento para llevar a cabo con éxito este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1 GENERALIDADES	11
1.1 Línea de Investigación	11
1.2 Planteamiento del Problema	11
1.2.1 Problema a resolver	11
1.2.2 Antecedentes del problema	11
1.2.3 Pregunta de investigación	11
1.3 JUSTIFICACIÓN	12
1.4 OBJETIVOS	12
1.4.1 General	12
1.4.2 Específicos	12
2 MARCOS DE REFERENCIA	13
2.1 MARCO TEÓRICO	13
2.1.1 Geología del Piedemonte	13
2.1.2 Geología estructural	14
2.1.3 Origen y propiedades de los agregados pétreos.	15
2.1.4 Origen de los agregados naturales	15
2.1.5 Obtención y clasificación de los agregados naturales	16
2.1.6 Elección de los bancos de material	16
2.1.7 Características, especificaciones de los agregados y su influencia en las obras de ingeniería.	17
2.2 MARCO CONCEPTUAL	18
2.2.1 Importancia de la mineralogía en la ingeniería de vías	19
2.2.2 Caracterización mineralógica	20
2.2.3 Porosimetría	22
2.3 MARCO TEÓRICO	23
2.3.1 Propiedades de los agregados pétreos	23
2.3.1.1 Propiedades individuales	24
2.3.1.2 Propiedades de conjunto	24

2.3.2	Clasificación de los agregados pétreos	24
2.3.3	Propiedades mineralógicas de las rocas	25
2.3.4	Análisis petrográfico	27
2.3.5	Propiedades físicas de los agregados	27
2.3.6	Agregados reactivos	29
2.4	MARCO GEOGRÁFICO	29
2.5	ESTADO DEL ARTE	30
3	METODOLOGÍA	31
3.1	FASES DEL TRABAJO DE GRADO	31
3.2	INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS	31
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	31
4	ANALISIS DE RESULTADOS	32
4.1	ANALISIS PETROGRAFICO	33
4.1.1	Roca tipo I:	33
4.1.2	Roca tipo II:	34
4.1.3	Roca tipo III:	34
4.1.4	Roca tipo IV:	35
4.2	POROSIDAD	37
4.3	DIFRACCION DE RAYOS X (DRX)	37
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
6	BIBLIOGRAFÍA	39

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 2-1. MARCO DE REFERENCIA DEL DOCUMENTO.....	13
FIGURA 2-2. CICLO GEOLÓGICO DE LAS ROCAS	16
FIGURA 2-3. CAMBIOS VOLUMÉTRICOS EN FUNCIÓN DE LA COMPOSICIÓN MINERALÓGICA.	19
FIGURA 2-4. MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO / IMÁGENES DE MICROSCOPIO	20
FIGURA 2-5. DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X.....	21
FIGURA 2-6. FLUORESCENCIA DE RAYOS X – ESPECTRÓMETRO SECUENCIAL DE RAYOS X.	22
FIGURA 2-7. UBICACIÓN ZONA DE EXTRACCIÓN DEL AGREGADO.....	30
FIGURA 4-1. AGREGADO EXTRAÍDO DEL RÍO GUAMAL.....	32
FIGURA 4-2. IDENTIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS EN LA MUESTRA EXTRAÍDA.....	32
FIGURA 4-3. SECCIÓN DELGADA - ROCA TIPO I. ARENISCA CUARZOSA.	33
FIGURA 4-4. SECCIÓN DELGADA ROCA TIPO II. ARENISCA LÍTICA.	34
FIGURA 4-5. SECCIÓN DELGADA ROCA TIPO III. ARENISCA CUARZOSA-LÍTICA.....	34
FIGURA 4-6. SECCIÓN DELGADA ROCA TIPO IV. META-ARENISCA DE CUARZO Y MOSCOVITA.	35

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 2-1. CARACTERÍSTICAS DEL PAV. ASFALTICO	17
TABLA 2-2. CARACTERÍSTICAS DEL PAV. CONCRETO HIDRÁULICO	17
TABLA 2-3. TAMAÑOS DEL SUELO	18
TABLA 2-4. ENSAYOS APLICABLES SEGÚN INVIAS.....	23
TABLA 2-5. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES INGENIERILES DE LAS ROCAS	24
TABLA 2-6. TIPOS DE ROCAS Y SU ORIGEN	27
TABLA 3-1. FASES DEL PROYECTO DE GRADO	31
TABLA 4-1. CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS PETROGRÁFICAMENTE ESTUDIADAS	36
TABLA 4-2. PORCENTAJE EN PESO DE CADA FASE MINERAL IDENTIFICADA EN LA MUESTRA	37

RESUMEN

El objetivo primordial de esta investigación es profundizar el discernimiento de la importancia del origen y gradación del agregado grueso que tienen en el comportamiento de la estructura del pavimento conociendo la degradación establecida por la norma INVIAS; realizando los ensayos de laboratorio no convencionales para analizar la caracterización mineralógica y microestructural de los agregados perteneciente a una cantera del municipio de Guamal departamento del Meta

De esta manera se pretende percibir el comportamiento que puede exteriorizar el agregado mediante los siguientes ensayos como son espectrómetro secuencial de rayos X, Microscopio electrónico de barrido (SEM), permitiendo conocer en particular los minerales que conforman el agregado, el porcentaje de porosidad y la estabilidad química.

Palabras claves: Carreteras, pavimento, concreto, asfalto, petrografía, base, subbase, agregados, microestructural, minerales, cuarzo.

ABSTRACT

The main objective of this research is to deepen the discernment of the importance of the origin and gradation of the coarse aggregate that they have in the behavior of the pavement structure knowing the degradation established by the INVIAS standard; performing non-conventional laboratory tests to analyze the mineralogical and microstructural characterization of the aggregates belonging to a quarry in the municipality of Guamal department of Meta

In this way we try to perceive the behavior that the aggregate can show through the following tests, such as sequential X-ray spectrometer, Scanning Electron Microscope (SEM), allowing us to know in particular the minerals that make up the aggregate, the percentage of porosity and the chemical stability.

Keywords: Roads, pavement, concrete, asphalt, petrography, base, subbase, aggregates, microstructural, minerals, quartz.

INTRODUCCIÓN

Parte fundamental en la construcción de vías a nivel nacional y mundial, corresponde a la calidad del material pétreo que se quiere utilizar para la conformación de una estructura de pavimento, de ello depende el buen funcionamiento o vida útil de cualquier carretera.

Es por lo anterior, que se debe prestar mayor atención a los materiales empleados para construir la estructura mencionada, junto con el entorno en el cual se ubicará, ya que cada material presenta unas características diferentes, tanto físicas como químicas que, al ponerse en contacto con los agentes externos del medio, pueden provocar un buen o mal funcionamiento de la vía.

Un claro ejemplo de esto, son las deformaciones que se generan en las vías producto, ya sea por una mala compactación o, porque el material (base o sub-base) utilizado, presentaba minerales que al contacto con el agua (nivel freático o interacción con el ambiente) tendían a reaccionar provocando cambios volumétricos. Normalmente, la respuesta de estos materiales es evaluada mediante ensayos convencionales, estandarizados por normas nacionales e internacionales. No obstante, existen otro tipo de ensayos poco convencionales que pueden suministrar información importante sobre las propiedades intrínsecas del material y que, en algunos casos, no puede ser obtenida de los ensayos realizados en la cotidianidad de la ingeniería práctica. En consecuencia, surge la necesidad de analizar más a fondo la composición mineralógica microestructural del material que se usará como base y sub – base de la estructura del pavimento, en este caso, para el material pétreo extraído de una cantera del municipio de Guamal, en el departamento del Meta.

Teniendo en cuenta lo observado, es fundamental practicar ensayos no convencionales que, permiten conocer dicha composición (análisis por DRX en polvo, fluorescencia de rayos X, análisis de porosidad y garganta poral). Conociendo la composición mineralógica, química y porosidad, es posible determinar cuál es el material idóneo a utilizar en cualquier zona geográfica, a fin de evitar futuros problemas estructurales.

1 GENERALIDADES

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto de grado se encuentra dentro de la línea de investigación de materiales para el programa de posgrados, ingeniería de pavimentos, de la facultad de ingeniería de la Universidad Católica de Colombia.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema a resolver

Los agregados que se utilizan para la construcción de carreteras, tienen una incidencia significativa dentro del comportamiento estructural de una vía, es por ello que se debe realizar una correcta caracterización e investigación desde los laboratorios, a fin de conocer sus propiedades físicas y químicas; sin embargo, en cuanto a normatividad en el ámbito nacional, se exigen ensayos que evalúan el comportamiento mecánico y, poco se indaga sobre la caracterización mineralógica y microestructural.

Para los proyectos de infraestructura vial que se ejecutan en la región del Meta, el material pétreo extraído para base y sub-base, en su gran mayoría proviene de río y/o canteras; si se recurre a la ayuda de los ensayos convencionales y los anteriormente expuestos, ello permitiría que los constructores conozcan más a fondo, las propiedades de estos agregados para seleccionar el más idóneo.

1.2.2 Antecedentes del problema

Debido a que actualmente en el departamento del Meta, la gran mayoría del material pétreo se extrae del río Guayuriba y, que existen varios trabajos de investigación que han caracterizado el material, se busca una zona diferente que sea propicia como fuente de extracción, con el propósito de contar con otra zona de obtención de agregados, para conocer su caracterización mineralógica, porosimétrica y microestructural.

Dado que, a nivel normativo no se toma en cuenta estos ensayos especializados, para agregados pétreos que hacen parte de la estructura de una carretera, simplemente se analiza sus propiedades mecánicas. Existe variedad de investigaciones y bibliografía referente a la influencia de la mineralogía, en las propiedades geotécnicas de los suelos y, de la petrografía en concretos, en razón a que permite lograr aproximaciones a la causa real de falla en una estructura.

Por lo anterior, la formulación del proyecto busca exponer la incidencia que tiene la petrografía, en la estructura del pavimento, para prevenir futuros daños de la estructura causados por las propiedades intrínsecas, de los agregados destinados para bases y sub-bases.

1.2.3 Pregunta de investigación

¿Mediante un análisis no convencional de agregados es posible predecir algún comportamiento

para su uso en mezclas asfálticas?

1.2.4 Variables del problema

1.3 JUSTIFICACIÓN

Debido a que los suelos presentan diferentes composiciones, tanto químicas como físicas, sumado a que los agentes externos (situación climática) de la zona en la que se requiere construir vías, es necesario emplear un material para base y sub-base que se comporte óptimamente bajo esas condiciones.

A través de los años para la construcción de carreteras, se han realizado una serie de ensayos estandarizados, con los cuales se ha buscado conocer el comportamiento físico de los materiales ante ciertas condiciones a las que se expondrán, con el fin de encontrar los más idóneos; sin embargo, poco se puede conocer de su composición química y, no existe a nivel de normatividad para construcción de carreteras, ensayos estandarizados para esto, Razón por la cual se pretende con el presente proyecto de investigación, identificar las propiedades mineralógicas y microestructurales de los agregados pétreos, extraídos en el municipio de Guamal en el departamento del Meta.

Para la identificación de las propiedades en mención, se proyecta realizar ensayos que, apoyados con la petrografía, permitirían conocer en detalle el comportamiento microestructural de la base y sub-base y, de esa forma, configurar un panorama más completo sobre las propiedades físicas y químicas de los materiales analizados. Adicional, los resultados obtenidos podrían ser de utilidad al constructor, al momento de escoger y extraer material de una cantera de Guamal para sus construcciones viales dado que, actualmente en la región, se están ejecutando varios proyectos de Concesión vial.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

- Caracterizar mineralógica y micro-estructuralmente los agregados pétreos extraídos de una cantera del municipio de Guamal (departamento del Meta), que son utilizados para base.

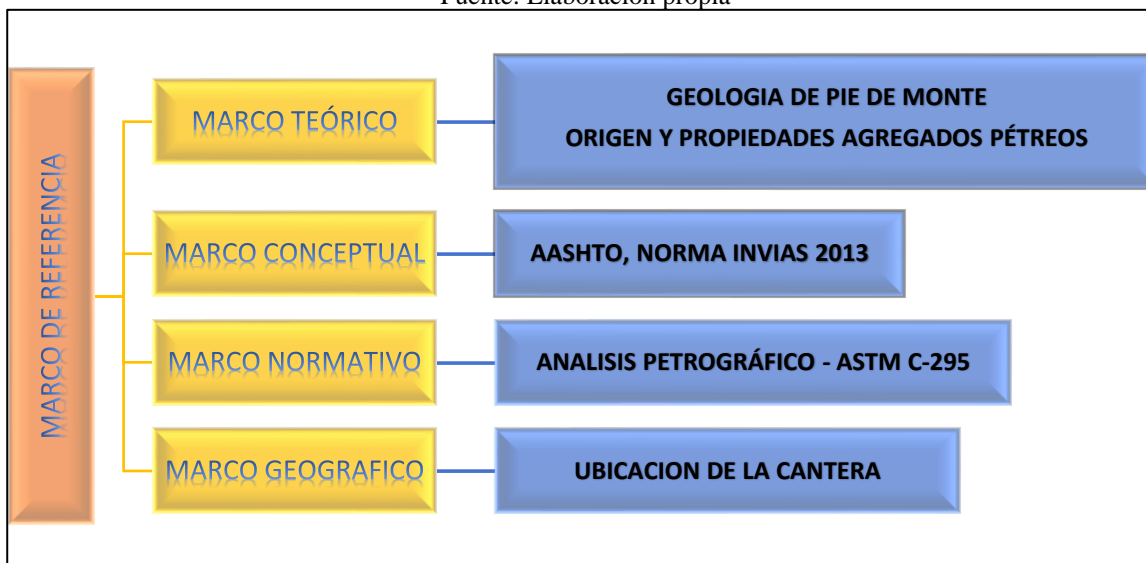
1.4.2 Específicos

- Determinar la incidencia estructural de las propiedades físicas en un material, que es usado para base y sub-base en una estructura de pavimentos.
- Caracterizar los agregados usados para base y sub-base, mediante ensayos de laboratorio no convencionales en el ámbito nacional, para la construcción de carreteras.
- Verificar si el material extraído de una cantera del municipio de Guamal, es apto para ser usado como agregado pétreo, en la construcción de carreteras, a partir de los resultados obtenidos de la caracterización no convencional

2 MARCOS DE REFERENCIA

Figura 2-1. Marco de referencia del documento

Fuente: Elaboración propia



2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Geología del Piedemonte

El área estudiada, por su localización geográfica, presenta dos geosistemas bien definidos: El Frente de montaña y la Llanura Aluvial, los que se encuentran ligados de manera directa y los procesos geológicos y morfodinámicos en cada uno de ellos se conjugan en el gran sistema denominado Piedemonte Llanero. La parte occidental del municipio de Guamal (cordillera y piedemonte), hace parte del Borde Llanero en el flanco Este del Macizo de Quetame. Afloran rocas sedimentarias cuyas edades van desde el Paleozoico hasta el Terciario, cubiertas parcialmente por depósitos cuaternarios de diferente origen y composición. Con respecto a la tectónica se observa un sistema de fallamiento principal con dirección NNE — SSW, relacionado con el sistema de cabalgamiento (thrust system) del Borde Llanero. El sector oriental se caracteriza por su morfología plana y por estar constituida por depósitos aluviales antiguas y recientes, formando niveles de terrazas (mesas o mesetas) separadas por escarpes (barrancas) de alturas variables. Aunque este sector no está afectado por el intenso fallamiento que caracteriza la parte cordillerana y de Piedemonte del municipio, si existen evidencias geomorfológicas que indican la existencia de actividad tectónica reciente o neotectónica; es decir aquella ocurrida en el último millón de años.

La estructura mineralógica admite clasificar litológicamente la roca. Los minerales más frecuentes que constituyen las rocas, se pueden asemejar a nivel de muestra con una lupa, si las dimensiones del mineral lo permiten. La identificación detallada de los minerales, requiere de un estudio petrográfico por medio de una lámina delgada, que se realizará siempre que existan dudas en la

identificación de los mismos.

Descritos los minerales, se nombra y clasifica la roca. El procedimiento más recomendable se fundamenta en clasificaciones geológicas enfocadas hacia usos geotécnicos. La identificación de la roca, se completa definiendo el tamaño de grano, el color y la dureza. La descripción geológica de la roca, incluye su nombre, mineralogía, textura, tipo de cementación y grado de alteración.

La descripción petrográfica, se hace mediante la observación macroscópica de las muestras y el análisis microscópico necesario, para identificar la textura, composición, fábrica, porosidad, grado de alteración, micro-fracturación, etc. Se procede a su análisis microscópico, cortando mediante máquinas especiales, secciones de un espesor mínimo que permitan su observación en el microscopio; éste revela la forma de los cristales que componen la roca, la relación entre los distintos minerales, la microestructura y otras magnitudes evaluables.

2.1.2 Geología estructural

La jurisdicción del municipio de Guamal se divide en tres grandes geosistemas: la cordillera, el piedemonte y la llanura. La geología estructural de estos tres grandes geosistemas, será tratada en detalle a continuación: Cordillera y piedemonte La cordillera y el piedemonte se caracterizan por la deformación tectónica, con levantamiento, plegamiento y fallamiento (orogénesis) de las secuencias rocosas. Regionalmente se observa un sistema de fallamiento principal con dirección NNE-SSW, relacionado con el sistema de cabalgamiento (thrust system) del Borde Llanero. Este sistema de fallamiento se caracteriza por ser “fallas paralelas con carácter inverso y de rumbo orientadas en dirección N300E a N500E y con buzamientos hacia el oeste. Morfológicamente estas fallas forman fajas de hasta 2 km de ancho” (Vargas, G.1.998). A continuación se describen algunos de los principales rasgos estructurales presentes el piedemonte y la cordillera del municipio de Guamal: * Falla de San Pedro Zona de fallamiento predominantemente de tipo inverso, con orientación aproximada N10E y vergencia hacia el oriente. Se reconoce por el alineamiento de drenajes y escarpes y por el basculamiento anómalo de segmentos de abanicos. Definen el límite entre las rocas de la Formación Corneta y los depósitos cuaternarios de llanura. * Falla de Santa Teresa — Monserrate Falla de tipo inverso, con orientación NNE y vergencia al SE. En la margen sur del río Guamal pone en contacto las rocas del Grupo Palmichal con los abanicos entreverados del piedemonte. El cambio topográfico es brusco y hay control fuerte del drenaje. En la vertiente norte contacta las arcillolitas de la Formación Arcillolitas del Limbo con la Formación Corneta. La expresión morfológica esta marcada por el alineamiento de drenajes menores, procesos de remoción en masa, captura potencial de drenajes y dirección fuerte de abanicos colgados. * Falla de El Dorado Falla inversa, con orientación y vergencia similares a la anterior. Contacta las rocas metamórficas del Grupo Quetame con las sedimentarias del Grupo Palmichal. Morfológicamente se reconoce por el alineamiento de drenajes y por movimientos de remoción en masa en su zona de influencia y la de sus satélites e inversión de estratos y el ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL GUAMAL, META 313 fracturamiento intenso de macizos rocosos. * Falla La Chorrera Falla de tipo inverso, con orientación aproximada N40E y vergencia al SE. Contacta las areniscas de Gutiérrez con las rocas del Grupo Quetame. Esta falla, junto con la falla de El Dorado delimitan una escama de rocas paleozoicas cabalgante hacia el SE. Esta falla se reconoce por el contraste morfológico de rocas metamórficas con los paisajes de tipo estructural de las rocas sedimentarias (pendientes estructurales y escarpes de contrapendiente), además del alineamiento de drenajes. * Falla de El infiernito Falla de tipo

inverso, con dirección al NW y vergencia al SW. Esta vergencia opuesta al sistema dominante hace de esta, una falla fuera de secuencia, que permite comprender el acortamiento cortical. Se encuentra afectada por una falla de rumbo que la divide en dos segmentos. Contacta el Gr. Palmichal al norte y con el Gr. Quetame al Sur. Esta falla se reconoce por el cambio topográfico fuerte, el alineamiento de drenajes y la gran cantidad de fenómenos de remoción en masa asociados con conos de deyección. * Llanura Este geosistema se caracteriza por que la secuencia rocosa se encuentra cubierta por depósitos no litificados del Terciario más tardío y del Cuaternario. Por encontrarse relativamente cerca al frente de montaña de la Cordillera Oriental, se evidencian movimientos tectónicos muy recientes o neotectónico.

2.1.3 Origen y propiedades de los agregados pétreos.

Los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante. Por ejemplo el volumen de los agregados en el concreto hidráulico es de un 65% a 85%, en el concreto asfáltico es del 92% al 96%, en los pavimentos del 75% al 90%.

Por lo anterior el estudio de sus propiedades físicas y mecánicas cobra especial importancia para su adecuada y eficiente utilización.

Antes de empezar a estudiarlos es conveniente definir algunos términos utilizados bien por el ingeniero o bien por el común de la gente, para que todos hablemos el mismo idioma.

- Agregado o árido: conjunto de materiales de composición mineral, naturales o artificiales, generalmente inertes, usados en la construcción de obras civiles.
- Agregado grueso o grava: material retenido en el tamiz No. 4, con un tamaño entre 7.6 cm y 4.76 mm.
- • Agregado fino o arena: material pasante de la malla No. 4 y retenido en la malla No. 200, con tamaños entre 4.76 mm y 74 Mieras (0.074 mm.).
- • Finos: son partículas pasantes del tamiz No. 200 con tamaños entre 0.074 mm y 0.002 mm.
- Sucio de río: término empleado para denominar en su totalidad el material de arrastre de un río sin separación de tamaños, y tal como se puede extraer de un depósito natural. En algunas regiones del país a este material se llama Champurriado.
- • Gravilla: material de río o de cantera, separado en la fuente en tamaños pasantes del tamiz 3/4" y retenido en el No.4, con tamaños entre 19.1 mm y 4.76 mm.
- • Arenón: arena natural de río o de veta, con tamaños pasantes del tamiz 3/8" y retenidos en el tamiz No.40, es decir con tamaños entre 9.51 mm y 0.420 mm.
- • Cascajo: hace referencia exclusivamente al agregado rodado pasante del tamiz 1 1/2" y retenido en el tamiz No.4, con tamaños entre 38.1 mm y 4.76 mm.

2.1.4 Origen de los agregados naturales

Los agregados naturales provienen de las rocas y se obtienen por un proceso de fragmentación natural como el intemperismo y la abrasión o mediante un proceso físico mecánico hecho por el

hombre; en ambos casos conservan las propiedades físicas: densidad, porosidad, textura, resistencia al intemperismo y composición mineralógica de la roca madre.

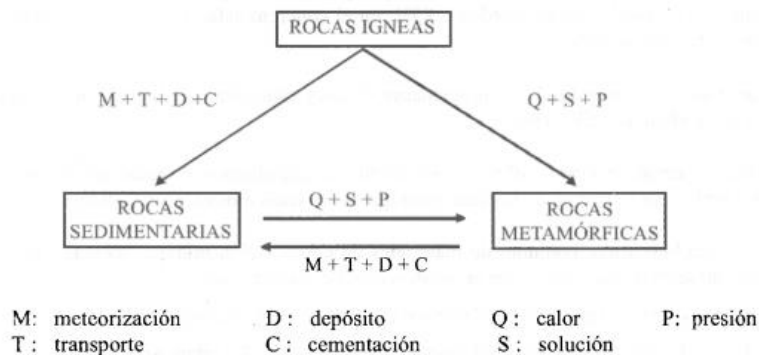


Figura 2-2. Ciclo geológico de las rocas

Fuente: El concreto y otros materiales para la construcción (Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales)

2.1.5 Obtención y clasificación de los agregados naturales

Los agregados empleados en la construcción pueden obtenerse por la explotación de bancos de material, depósitos de rocas que afloran en la superficie terrestre, o por extracción y clasificación del material que arrastran los ríos.

Nos referiremos en primera instancia a los bancos de material, sin olvidar que las características y condiciones de calidad se aplican por igual a ambos materiales.

2.1.6 Elección de los bancos de material

Los bancos de material se definen como lugares donde aflora la roca.

La ubicación de los bancos de material se debe apoyar en:

- Cartografía de la zona.
- Fotografías aéreas en pares estereoscópicos.
- Mapas y cortes geológicos.
- Datos y resultados de trabajos geotécnicos o geofísicos realizados en la zona o sus alrededores.

Al elegir un banco de material se debe considerar:

- Profundidad, espesor y extensión que lo hagan rentable.
- Clase de material requerido de acuerdo al elemento estructural que se va a construir.
- Facilidad de acceso al lugar.
- Distancia de acarreo hasta el sitio de la obra.
- Derechos de propiedad de la zona donde se encuentra la cantera.
- Costos de explotación.

La procedencia, el tamaño y la densidad son entre otras muchas, algunas de las formas de clasificar los agregados.

2.1.7 Características, especificaciones de los agregados y su influencia en las obras de ingeniería.

El pavimento es la superestructura de la obra vial que hace posible el tránsito de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía previstas en el proyecto.

Los pavimentos se dividen en asfálticos y concreto hidráulico, definidos así por las características y estructuración de los materiales que los constituyen.

Los pavimentos asfálticos están formados en general por sub-base, base y capa de rodadura. En la base y sub-base se emplean agregados pétreos. La capa de rodadura se fabrica con agregados pétreos y asfalto.

Los agregados utilizados en cada capa deben ser de mejor calidad a medida que se acerca a la superficie, porque los esfuerzos producidos por los vehículos son altos en la capa de rodadura y disminuyen con la profundidad. Estos pavimentos se denominan flexibles porque admiten algunos grados de deformación.

Los pavimentos de concreto hidráulico están compuestos por una sub-base y una losa de concreto que debe absorber los esfuerzos transmitidos por los vehículos, por lo que debe ser resistente a los esfuerzos de flexión y descansar sobre una superficie uniforme, la sub-base, que debe ser de material granular.

Tabla 2-1. Características del pav. Asfáltico

Fuente: El concreto y otros materiales para la construcción (Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales)

NOMBRE DE LA CAPA	FUNCIONES PRINCIPALES	CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS
Capa de Rodadura	Recibir y transmitir esfuerzos incluyendo la fricción rueda superficie. Proveer una superficie impermeable Proporcionar una superficie que ofrezca seguridad y confort Prestar estas funciones durante la vida de servicio	Dureza, desgaste, gradación, densidad, porosidad, limpieza, rugosidad, forma de partículas. Gradación Rugosidad, resistencia al pulimiento Solidez, gradación y absorción
Base y Sub-base	Recibir y absorber y transmitir esfuerzos en magnitud controlada Proporcionar drenaje adecuado Prestar estas funciones durante la vida de servicio	Dureza, desgaste, gradación, densidad, porosidad, limpieza, rugosidad, forma de partículas. Gradación. Gradación, solidez, absorción

Tabla 2-2. Características del pav. Concreto hidráulico

Fuente: El concreto y otros materiales para la construcción (Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales)

NOMBRE DE LA CAPA	FUNCIONES PRINCIPALES	CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS
Losa de Concreto	Absorber esfuerzos de compresión y flexión Proporcionar una superficie impermeable, de textura adecuada Absorber esfuerzos, debidos a cambios de temperatura. Resistir agentes climáticos	Dureza, desgaste, forma de partículas, rugosidad, gradación, densidad, absorción, limpieza. Gradación, rugosidad, desgaste, resistencia al pulimento. Forma de partículas, limpieza, coeficiente de expansión térmica Solidez, porosidad, composición mineralógica.
Sub-base	Controlar cambios de volumen, prevenir el bombeo (salida de finos con el agua por las juntas), permitir el drenaje, dar apoyo uniforme a las losas	Gradación, limpieza, dureza, solidez, absorción

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Los suelos se encuentran formados por partículas sólidas, fluidas, gaseosas y, por espacios vacíos, lo cual permite clasificarlo en función del tamaño de la partícula en dos tipos: Suelos granulares suelos finos. (Ingeniería geológica, 2002, p 89).

A continuación, se establece los límites de tamaño recomendados por el sistema de clasificación unificado y por la AASHTO.

Tabla 2-3. Tamaños del suelo

Fuente: Principios de ingeniería de cimentaciones 2001.

SISTEMA DE CLASIFICACION	TAMAÑO DEL GRANO (mm)
Unificado	Gravas 75 a 4,75
	Arenas 4,75 a 0,075
	Limos y arcillas (finos) <0,075 mm
AASHTO	Gravas 75 a 2
	Arenas 2 a 0,05
	Limo 0,05 a 0,002
	Arcilla <0,002

De acuerdo con lo anterior y, con lo indicado en la bibliografía especializada, es bien conocido que las arcillas son cohesivas que, al contacto con el agua, generan un gran problema en el ámbito de la ingeniería. Esto es causado debido a la presencia de minerales de arcilla conocidos como caolinita, ilita y montmorilonita. Sin embargo, existen minerales tales como el cuarzo y el feldespato, que pueden estar presentes en un suelo, en partículas pequeñas como los minerales de arcilla, los cuales no presentan la propiedad de cohesión de los minerales arcillosos. Por tanto, son denominados partículas de tamaño arcilla y no partículas arcillosas.

2.2.1 Importancia de la mineralogía en la ingeniería de vías

Como se ha mencionado reiteradamente en este documento y, teniendo en cuenta los textos de ingeniería consultados, la composición mineralógica de las arcillas es el mayor factor que ejerce influencia sobre las propiedades geotécnicas (plasticidad, resistencia, compresibilidad, cambio de volumen, entre otros...). En resumen, puede generar problemas de estabilidad, al depender su comportamiento de la composición mineralógica y de las condiciones geoquímicas y ambientales del medio.

En la resistencia de suelos arcillosos, influye tanto el contenido como el tipo de mineral que predomine, la resistencia al corte disminuye en la medida que aumenta el contenido en arcilla.

En los cambios volumétricos, existen minerales que poseen la capacidad de adsorción de agua en los bordes laminares y zonas interpaginarias, algunos o los más representativos se muestran en la siguiente figura:

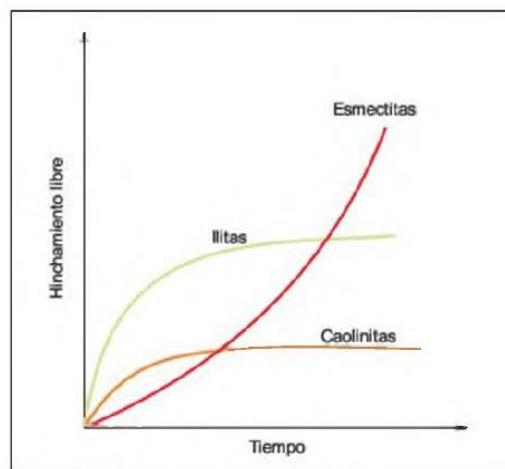


Figura 2-3. Cambios volumétricos en función de la composición mineralógica.

Fuente: Ingeniería geológica - 2002

En la compresibilidad, se pueden encontrar como las más compresibles la esmeclita y, las menos, las caolinitas

La expansividad, en el caso de los minerales de arcilla por absorción de agua, se debe a varios factores tales como adsorción en superficie de moléculas de agua, carga interlaminar de las montmorillonitas sódicas, hidratación de los cationes de cambio (expansión intracristalina) y, presión en los bordes de las esmeclitas magnésicas (saponitas).

Dado que existen suelos de gran variedad, tanto en su composición mineralógica como granulométrica, esto dificulta determinar su comportamiento; sin embargo, la mineralogía se destaca en gran proporción ya que porcentajes pequeños de ciertos minerales, pueden influir en gran proporción sobre las propiedades de algún material.

2.2.2 Caracterización mineralógica

La estructura mineralógica admite clasificar litológicamente la roca. Los minerales más frecuentes que constituyen las rocas, se pueden asemejar a nivel de muestra con una lupa, si las dimensiones del mineral lo permiten. La identificación detallada de los minerales, requiere de un estudio petrográfico por medio de una lámina delgada, que se realizará siempre que existan dudas en la identificación de los mismos.

Descritos los minerales, se nombra y clasifica la roca. El procedimiento más recomendable se fundamenta en clasificaciones geológicas enfocadas hacia usos geotécnicos. La identificación de la roca, se completa definiendo el tamaño de grano, el color y la dureza. La descripción geológica de la roca, incluye su nombre, mineralogía, textura, tipo de cementación y grado de alteración.

La descripción petrográfica, se hace mediante la observación macroscópica de las muestras y el análisis microscópico necesario, para identificar la textura, composición, textura, fábrica, porosidad, grado de alteración, micro-fracturación, etc. Se procede a su análisis microscópico, cortando mediante máquinas especiales, secciones de un espesor mínimo que permitan su observación en el microscopio; éste revela la forma de los cristales que componen la roca, la relación entre los distintos minerales, la microestructura y otras magnitudes evaluables.

- **Microscopía electrónica de barrido (SEM):** Técnica de microscopía electrónica, capaz de generar imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra, utilizando las interacciones electrón - materia. Utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen.

Su funcionamiento radica en provocar la incidencia, de un barrido de haz de electrones sobre la muestra. Está generalmente recubierta con una capa muy fina de oro o carbón, lo que le otorga propiedades conductoras. La técnica de preparación de las muestras se denomina “sputtering” o pulverización catódica.

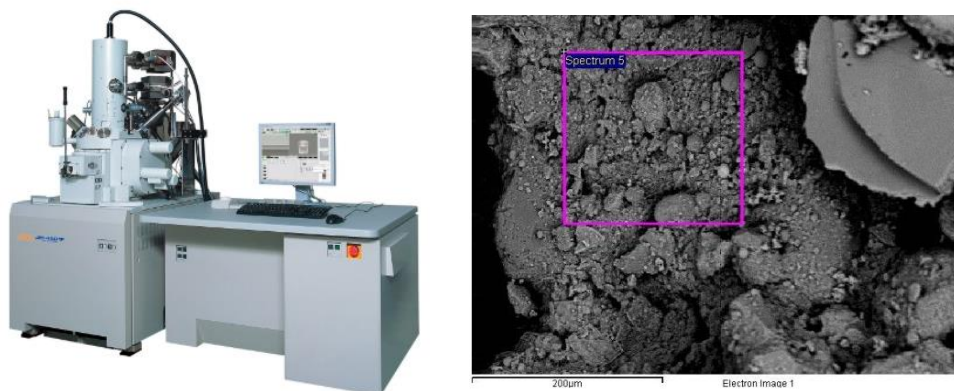


Figura 2-4. Microscopio Electrónico de Barrido / Imágenes de microscopio Electrónico de barrido, mostrando las morfologías externas de partículas

Fuente: <http://www.directindustry.es>

- **Difractometría de rayos X (DRX):** Consiste en provocar la incidencia de un haz de rayos-x sobre un mono-cristal de algún compuesto químico. En un mono-cristal los átomos están distribuidos de forma periódica en las tres dimensiones del espacio y, cuando un haz de rayos-x incide sobre ellos, actúan como fuentes secundarias y reemiten los rayos-x en todas direcciones.

La difracción de rayos x es un procedimiento de alta tecnología no destructivo, para el análisis de una amplia gama de materiales, incluso, minerales, polímeros, fluidos, metales, catalizadores, plásticos, productos farmacéuticos, cerámicas, recubrimientos de capa fina y semiconductores. La aplicación fundamental de la Difracción de Rayos X, es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina. Otras aplicaciones son: el análisis cuantitativo de compuestos cristalinos, la determinación de tamaños de cristales, la determinación del coeficiente de dilatación térmica, los cálculos sobre la simetría del cristal y, en especial, la asignación de distancias a determinadas familias de planos y, la obtención de los parámetros de la red.

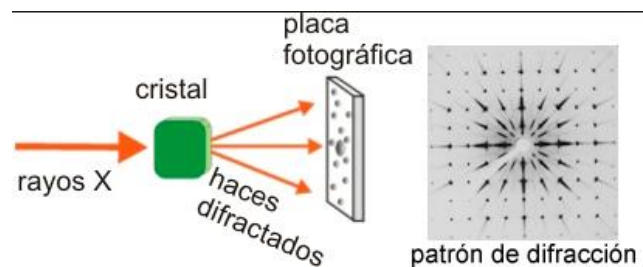
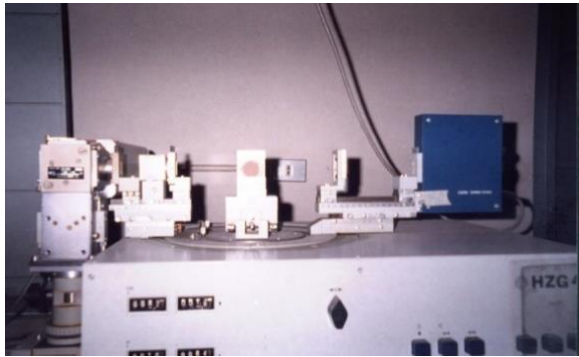


Figura 2-5. Difractometría de rayos X.

- **Fluorescencia de rayos X:** Técnica espectroscópica, que usa la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada, al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La radiación X incidente o primaria, expulsa electrones de capas interiores del átomo. Los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición, se disipa en forma de fotones, radiación X fluorescente o secundaria, con una longitud de onda característica que depende del gradiente energético, entre los orbitales electrónicos implicados y, una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra. Este fenómeno es muy utilizado para análisis elemental y análisis químico, particularmente, en la investigación de metales, vidrios, materiales cerámicos y, de construcción.

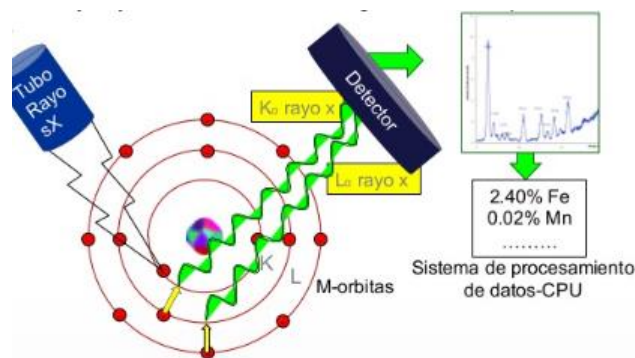


Figura 2-6. Fluorescencia de rayos X – Espectrómetro secuencial de rayos X.

2.2.3 Porosimetría

Desde un punto de vista físico, los materiales geológicos, suelos y rocas, pueden ser considerados sistemas trifásicos, constituidos por una fase sólida (las partículas que definen la fábrica), una fase líquida (generalmente agua, ya sea gravitacional, o asociada a las partículas mediante adsorción) y, una fase gaseosa (habitualmente aire húmedo o con vapor de agua).

La caracterización de los materiales porosos, implica normalmente la determinación del volumen total de poros o porosidad, así como de la curva de distribución de tamaño de poro. En ocasiones, también puede ser necesario estudiar la morfología de los poros y, su interconectividad o determinar su superficie específica interna y externa.

Los métodos más comúnmente utilizados son:

- **La porosimetría de mercurio**, donde los poros son llenados con mercurio por efecto de una presión aplicada. Este método es apropiado para numerosos materiales con poros en el rango de tamaño entre 0,003 – 360 μ m. La adsorción de gases, mediante la cual, los poros en el rango de tamaños comprendidos entre 0,1 μ m y 4·10⁻⁴ μ m (4 Å) son caracterizados mediante las isothermas de adsorción de un gas, como el Nitrógeno, a temperatura de Nitrógeno líquido.

La porosimetría de mercurio es una técnica destructiva, que permite estudiar la red porosa de los materiales en un rango que oscila entre 0,003 – 360 μ m, lo que implica valores que varían en un rango de cinco órdenes de magnitud. Consiste en la penetración controlada de mercurio como respuesta a una presión hidrostática aplicada, existiendo una relación matemática entre el diámetro de poro intruído por el mercurio y la presión necesaria, para que se produzca tal intrusión. Esta técnica es adecuada para muestras sólidas que no se humedecen y, amalgamen presencia de mercurio, como es el caso de la gran mayoría de suelos y rocas. Algunos metales como el oro, la plata, níquel o cobre, pueden requerir una pasivación previa antes de ponerlos en contacto con mercurio.

Pero esta técnica no solo resulta de enorme interés por cubrir un rango de tamaño de poro tan amplio, sino porque los datos que proporciona (volumen de mercurio intruído en

función de la presión aplicada), es indicativo de diversas características del espacio poroso y puede correlacionarse con diferentes propiedades físicas del material.

2.3 MARCO TEÓRICO

Las propiedades más importantes que deben tener los materiales para la estructura del pavimento, son el tamaño y gradación de las partículas, la resistencia al desgaste, la durabilidad o resistencia al intemperismo, la densidad relativa, la estabilidad química, la forma de las partículas y, la presencia de sustancias nocivas. Por lo anterior, se procede a determinar la idoneidad técnica de los materiales tomados para análisis, mediante la realización de los ensayos, que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2-4. Ensayos aplicables según INVIAS

Fuente: Especificaciones generales para la Construcción de carreteras – Colombia

ENSAYO	OBJETO	FRACCIÓN MATERIAL QUE PASA	TIPO DE ENSAYO
Limite Liquido	Determinar el contenido de humedad correspondiente a la frontera entre los estados plásticos y liquido del suelo	Pasa tamiz N°40 (<0,425mm)	Limpieza
Limite Plástico/Índice de Plasticidad	Determinar el contenido de humedad más bajo que puede tener un suelo mientras permanece en estado plástico (LP)	Pasa tamiz N°40 (<0,425mm)	Limpieza
Equivalente de Arena	Determinar la proporción relativa del contenido de material arcilloso en los agregados	Pasa tamiz N°.4 agregado fino	Limpieza
Solidez en sulfatos	Determinar la resistencia a la acción de sulfatos	Tamiz n°5 hasta de 1 ½”	Durabilidad
DMA (desgaste en la Maquina de los Ángeles)	Evaluar calidad del agregado (resistencia al desgaste)	Pasa tamiz desde N°8 hasta 1 ½”	Dureza
Desgaste en Micro – Deval	Resistencia al desgaste para agregados finos	Entre 3/8” y N°4	Dureza
Angularidad	Determinar la angularidad de las arenas	Agregado fino pasa N°4 hasta N° 100	Geometría de las partículas

2.3.1 Propiedades de los agregados pétreos

Son materiales granulares sólidos inertes, que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos.

Para establecer si un agregado puede ser de gran utilizad o establecer su idoneidad de uso como material para una capa de pavimento es necesario establecer su composición mineralógica.

Tabla 2-5. Resumen de las propiedades ingenieriles de las rocas

Fuente: Modulo 7 Materiales para base y subbase – Fernando Sanchez Sabogal

Resumen de propiedades ingenieriles de las Rocas (según Cordon y Beste)					
Tipo de roca	Resistencia mecánica	Durabilidad	Adherencia con asfalto	Textura superficial	Estabilidad química
Igneas					
Granito, diorita, sienita	Buena	Buena	Regular	Buena	Buena
Basalto, diabasa, gabro	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Sedimentaria					
Caliza, dolomita	Buena	Regular	Buena	Buena	Buena
Arenisca	Regular	Regular	Regular	Buena	Buena
Chert	Buena	Regular	Pobre	Regular	Regular
Shale	Pobre	Pobre	Pobre	Buena	Buena
Metamórfica					
Gneiss, esquisto	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Cuarcita	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Mármol	Regular	Buena	Buena	Buena	Buena
Anfibolita	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Pizarra	Buena	Regular	Buena	Pobre	Buena

Las propiedades de los agregados se pueden conceputar bajo dos puntos de vista: uno, como elementos aislados o individuales y, otro, como conjunto.

2.3.1.1 Propiedades individuales

Los agregados como elementos aislados, tienen propiedades físicas macroscópicas: dimensión, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie, porosidad, permeabilidad, dureza superficial, módulo elástico, conductividad térmica, dilatación, etc. Así mismo, presentan unas propiedades químicas macroscópicas: solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, etc.

2.3.1.2 Propiedades de conjunto

Las propiedades de conjunto de los agregados pétreos son sus características como un todo. La distribución de la redondez o desgaste de los agregados es una propiedad de gran interés, por cuanto va influir sobre el rozamiento entre los elementos del agregado.

2.3.2 Clasificación de los agregados pétreos

Desde un punto de vista práctico, los agregados se pueden clasificar en tres grandes grupos: agregados calizos, agregados silíceos y agregados ígneos y metamórficos.

- **Agregados Calizos:** La roca caliza es muy común, abundante y económica en los procesos de trituración, se emplea generalmente en todas las capas de los firmes, exceptuándose en algunas ocasiones como agregado grueso en las capas de rodadura, debido a la facilidad que tiene de pulimentarse en condiciones de servicio; su carácter es básico, presenta por lo regular, menores problemas de adhesividad, es decir, de afinidad con los ligantes asfálticos. En mezclas asfálticas, se utiliza para mejorar esta característica, cuando se emplean adicionalmente otro tipo de agregados más duros, pero, también más ácidos (silíceos,

pórfidos, etc.).

- **Agregados Silíceos:** Los agregados silíceos procedentes de trituración de gravas naturales, son otro material de amplia utilización en las todas capas de los firmes. Se extraen de yacimientos granulares, en los que las partículas de mayor tamaño se separan por cribado y, a partir de ellas, por machaqueos sucesivos, se obtienen fracciones de menor tamaño, con una angulosidad tanto mayor cuantas más caras de fractura presenten. Pueden no aportar una suficiente adhesividad con los ligantes asfálticos; sin embargo, si el material obtenido tiene un elevado contenido de sílice y, variedad de caras de fractura, sus características mecánicas y su rozamiento interno proporcionan un esqueleto mineral bueno para utilizarlo, incluso, en mezclas asfálticas sometidas a la acción directa del tráfico.
- **Agregados Ígneos y Metamórficos:** Son materiales que, por sus características, resultan muy adecuados para utilizarlos como agregado grueso en las capas de rodadura. Pueden incluirse en este grupo los basaltos, gabros, pórfidos, granitos, cuarcitas, etc. Sus cualidades para resistir al pulimento los hacen idóneos para garantizar la textura superficial necesaria en un periodo de tiempo, inclusive, con tráficos muy intensos. En este grupo tan amplio, los agregados de naturaleza más ácida pueden presentar una deficiente adhesividad con los ligantes asfálticos; sin embargo, en la mayoría de los casos, el problema se puede resolver con activantes, que son sustancias que tienen la misión específica de mejorar la adhesividad con los ligantes, o también el problema se resuelve empleando emulsiones adecuadas y, en el caso de mezclas asfálticas, con el empleo de finos de naturaleza básica y un polvo mineral adecuado.

2.3.3 Propiedades mineralógicas de las rocas

Las características mineralógicas de la roca de donde provengan pueden mostrar la calidad del material; a continuación, se presenta una breve descripción de los minerales constitutivos, que comúnmente aparecen en los agregados descritos en la Norma ASTM C-295.

- **Minerales de cuarzo:** Es un mineral más común de la corteza terrestre, después feldespato, este mineral está compuesto de sílice (SiO_2), esta presente en una gran cantidad de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Tiene una dureza en la escala de Mohs de grado 7.

Es el mineral de mayor presencia en algunas rocas magmáticas, como el granito, las dioritas y la andesita. Debido a su dureza y resistencia a la meteorización se encuentra en las rocas sedimentarias que proceden de aquellas, como la arenisca y en rocas metamórficas como la cuarcita.

El cuarzo es comercializado principalmente para la fabricación de vidrio, ladrillos de sílice y el polvo de cuarzo es utilizado por lo general para hacer porcelanas, papel de lija y rellenos, sin embargo no se tienen antecedentes de que este material haya sido usado antes para la fabricación de concretos.

- **Minerales de arcilla:** Comprende los minerales con estructura laminar menor de $2 \mu\text{m}$

(0.002 mm) de tamaño. Los minerales de arcilla, que consisten principalmente en aluminio hidratado, magnesio y silicatos de hierro, son los principales componentes de las lutitas y las arcillas. Son suaves y se desintegran al mojarse; algunas arcillas (conocidas como montmorillonitas en Estados Unidos y, como esméctitas en el Reino Unido), sufren grandes expansiones al mojarse. Claro está que, los minerales arcillosos pueden estar presentes como contaminantes en un agregado mineral natural.

- **Minerales de carbonato:** El mineral de carbonato más común es la calcita o el carbonato de calcio, CaCO_3 . El otro mineral más común es la dolomita, que tiene proporciones equimoleculares de carbonato de calcio y carbonato de magnesio (que corresponde a 54.27 y 45.73 por ciento en peso de CaCO_3 y MgCO_3 respectivamente). Ambos minerales de carbonato son más blandos que el cuarzo y que el feldespato.
- **Minerales feldespáticos:** Los minerales del grupo del feldespato, son minerales más abundantes que forman las rocas en la corteza terrestre y, son importantes componentes de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Casi tan duro como el cuarzo, los distintos elementos del grupo se diferencian por su composición química y sus propiedades cristalográficas. La ortoclasa, la sanidina y la microclina, son silicatos de aluminio y de potasio, que son frecuentemente llamados feldespatos de potasio. La plagioclasas o feldespatos de cal-sosa incluyen silicatos de aluminio y de sodio (albita), silicatos de aluminio y de calcio (anortita), o ambos. Los feldespatos alcalinos que contienen potasio o sodio, aparecen generalmente en rocas ígneas de alto contenido de sílice, tales como los granitos y las riolitas, mientras que las que tienen más alto contenido de calcio, se encuentran en las rocas ígneas de bajo contenido de sílice, tales como la diorita, el gabro y el basalto.
- **Minerales ferromagnesianos:** Aparecen en muchas rocas ígneas y metamórficas, consisten en silicatos de hierro o de magnesio, o en ambos. Los minerales con contenido de estructura cristalina de anfibolita y de piroxeno, son conocidos como hornablenda y augita respectivamente. El olivino es un mineral común de esta clase, que se encuentra en las rocas ígneas de contenido relativamente bajo de sílice.
- **Minerales micáceos:** La moscovita, la biotita, la clorita y la vermiculita, que forman el grupo de minerales micáceos, también contienen silicatos de aluminio, hierro y de magnesio, pero su composición estructural laminar interna, es responsable de la tendencia a separarse en hojas finas. Las micas son abundantes y aparecen en los tres grupos principales de rocas.
- **Minerales de sulfato y sulfuro:** Los sulfuros de hierro como la pirita, la marcasita y la pirrotita, se hallan frecuentemente en agregados naturales. La marcasita, que se encuentra principalmente en las rocas sedimentarias, se oxida rápidamente para formar ácido sulfúrico e hidróxidos de hierro. La formación de ácidos es indeseable, especialmente desde el punto de vista de la corrosión potencial del acero en concretos pre-forzados y reforzados. La marcasita y ciertas formas de pirita y pirrotita, se piensa que pueden ser las responsables de los cambios expansivos de volumen en el concreto, causándole grietas y botaduras. El yeso (sulfato de calcio hidratado) y la anhidrita (sulfato de calcio anhidro)

son los minerales de sulfatos más abundantes.

2.3.4 Análisis petrográfico

Proporciona una identificación de los tipos y variedades de rocas presentes en los agregados potenciales. También se identifica los minerales presentes en la muestra. Puede enfocarse específicamente a evaluar la posible presencia de material contaminante en los agregados, como vidrio sintético, carbonillas, escorias o la ceniza del carbón, óxido de magnesio, óxido de calcio, o ambos; la suciedad, los hidrocarburos y, los químicos que pueden afectar la conducta de las propiedades del agregado.

2.3.5 Propiedades físicas de los agregados

El 100 % de los concretos que se elaboran pueden ser obtenidos de dos fuentes: depósitos de fuente natural (ríos, playas, etc) y como productos de trituración de roca. En la siguiente tabla se da a conocer información sobre el origen, características físicas definitivas y su influencia en el concreto cuando es usado como agregado, de las tres rocas conocidas, que son: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Tabla 2-6. Tipos de rocas y su origen

Fuente: Artículo de divulgación Influencia de los agregados pétreos en la características del concreto

	Tipo de roca y origen	Nombre	Componentes mineralógicos	Textura	Estructura	Observaciones relativas a su uso en el concreto
Ígneas	Plutónicas	Granito	Cuarzo, feldespatos, mica y plagioclase	Fanerítica	Batolitos cuerpos intrusivos	Fácilmente intemperizable en clima tropical, intemperismo esferoidal
		Diorita	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	
		Gabro	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	Alto peso específico
	Volcánicas piroclásticas	Riolita	Cuarzo, feldespato, plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Domos flujos de lava	Altamente reactiva con los álcalis del cemento
		Andesita	Plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Derrames de lava	

“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y MICROESTRUCTURAL DE LOS AGREGADOS PETREOS PERTENECIENTE A UNA CANTERA DEL MUNICIPIO DE GUAMAL DEL DEPARTAMENTO DEL META”

	Tipo de roca y origen	Nombre	Componentes mineralógicos	Textura	Estructura	Observaciones relativas a su uso en el concreto	
		Basalto	P1, V Y M	Afanítica vesicular	Derrames de lava	Alta resistencia a la compresión, porosa y resistente a la abrasión	
		Tobas	Variable	Porfídica	Pseudoestratificación	Dependiendo de la mineralogía pueden ser reactivas y algunas son muy deleznable	
Sedimentarias	Clásticas	Conglomerado	Fragmentos de roca y matriz	Fragmentos redondeados 2mm de diámetro	Estratificación gruesa, lentes rellenos de cauces, masiva		
		Arenisca	Qz, Pk, pl y fragmentos de roca	Fragmentos 2mm a 1/16 mm de diámetro	Estratificación masiva lentes	Puede contener cementante silico que es reactivo con los álcalis del cemento	
		Lutita	Materiales arcillosos	Fragmentos 1/6 mm de diámetro	Laminaciones masiva	Puede presentar fisibilidad, baja resistencia a la compresión, puede hidratarse a través de los materiales arcillosos	
	No clásticas	Caliza	Calcita	Cristalina	Estratificación masiva	Altamente soluble	
		Marga	Calcita y minerales arcillosos	Cristalina	Estratificación	Sus minerales arcillosos puede hidratarse fácilmente	
		Dolomita	Calcita y dolomita	Cristalina	Estratificación masiva	Sus componentes mineralógicos pueden provocar la reacción álcali-carbonato (a través de la desdolomitación)	
		Yeso	Yeso anhidrita	Cristalina	Vetas y lentes	Muy ligero, baja restencia a la abrasión	
		Carbón	Carbón	Criptocristalina	Mantos, vetas, lentes	Ligero, deleznable y/o frágil, produce problemas durante la hidratación del cemento pórtland	
	Metamórficas	Foliadas	Pizarra pilita	Qz, micas, clorita, sericita.	Foliada de grano fino	Foliación	Deleznable
			Esquisto	Micas, Fk, clorita Qz, calcita y feldespatos	Foliada de grano medio	Foliación	A veces muy deleznable
Gneiss			Qz, feldespatos ferromagnesianos	Foliada de grano grueso	Foliación masiva		
No foliadas		Hornfels	Mica, granate, Px cuarzo, feldespatos	Afanítica	Masiva	Puede presentar silice del tipo reactivo con los álcalis del cemento	
		Cuarcita	Qz, feldespatos sillimanita	Granoblástica	Masiva	Demhornfels	
		Mármol skarn	Calcita, Px y AN.	Granoblástica	Masiva		

La NTC 174 (Especificaciones de los agregados para concreto) equivalente a la norma ASTM C33, establece los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos, especifica los procedimientos y, según las características encontradas, determina su uso. En el análisis petrográfico, se utiliza la ASTM C295 para la caracterización física de los agregados pétreos, la NTC 174 recomienda realizar ensayos de:

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado I.N.V.E-123 - 13.
- Limite plástico e índice de plasticidad de suelos I.N.V.E- 126 -13
- Método para determinar partículas planas, alargadas o planadas y alargadas en agregados gruesos I.N.V.E-240 - 13.
- Cantidad de material fino que pasa por el tamiz de 0.075mm (No.200) en los agregados I.N.V.E-214 - 13.
- Determinación de la resistencia del agregado grueso al desgaste por abrasión utilizando el aparato micro-deval I.N.V.E-238 - 13
- Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V.E-133 - 13.
- Gravedad específica y absorción de agregados finos I.N.V.E-222 - 13.

2.3.6 Agregados reactivos

Los agregados reactivos tienen presencia en el cuarzo, en su forma criptocristalina en rocas sedimentarias (caso del chert o lodita, ópalo, calcedonial), y menos comúnmente el cuarzo grueso granular, fracturado y deformado y tectónicamente, de las rocas plutónicas y metamórficas (cuarzo ondulatorio en sílice de rocas minerales y rocas ácidas a intermedias).

2.4 MARCO GEOGRÁFICO

El proyecto tiene como referencia geográfica el Municipio de Guamal, departamento del Meta (Colombia) para el desarrollo de los ensayos y análisis de datos.

El material se obtuvo de la cantera, la cual cuenta con una licencia ambiental, ubicada en la vía antigua de Guamal, Castilla la nueva, del departamento del Meta.



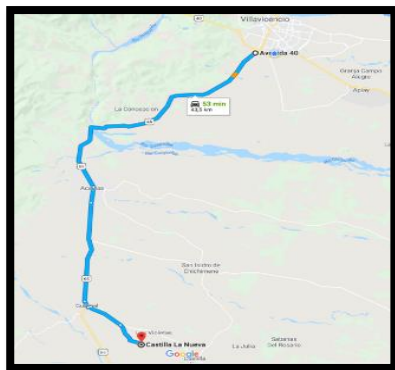


Figura 2-7. Ubicación zona de extracción del agregado

Fuente: Google maps.

2.5 ESTADO DEL ARTE

En la actualidad y en el ámbito nacional, se han realizado varias investigaciones en referencia a la temática tratada en este proyecto de investigación, la idea fundamental es documentarse y, tomar como punto de partida y referencia, algunos trabajos realizados desde la Universidad católica, tales como:

Caracterización mineralógica, química y porosimétrica de agregados pétreos extraídos de una cantera del noroccidente de Bogotá durante el año 2017 por David, González, Ferney Pachón, Fredy Pulido; del cual se concluyó que el material analizado aporta gran resistencia mecánica a una mezcla asfáltica, debido a que se encontró que la muestra analizada presentaba gran cantidad de cuarzo; igualmente, se identificó que la composición mineral de mayor presencia, corresponde al dióxido de silicio (SiO_2), lo cual indicó que el agregado no presentará ninguna reacción de rechazo eléctrico, cuando se realice la mezcla asfáltica dándose el contacto agregado – ligante.

Otro proyecto de investigación, realizado en el año 2017, a una cantera perteneciente a la formación geológica de la sabana en el municipio de Soacha – Cundinamarca, *por Argelio Cerquera, Cesar Rodríguez y Diego Ruano;* arrojó como resultado, la determinación de las características adecuadas para usar el material como base y sub-base, observándose que la muestra presentaba dentro de su composición alto contenido de cuarzo, lo cual favorece la buena resistencia mecánica, durabilidad y, adherencia entre otras propiedades químicas que la hacen idónea.

De igual forma se toma otro proyecto de investigación más reciente, efectuado durante el primer semestre del año 2018, de una cantera del piedemonte llanero colombiano por Agnes Chavez y Franci González, ene el cual concluyeron que de los análisis de petrografía alrededor del 91% correspondía a un material con una composición acida, generando así un buen comportamiento de adherencia con asfaltos de naturaleza catiónica y un mal comportamiento con los asfaltos de naturaleza aniónica.

De igual forma, se puede evidenciar que en la normatividad INVIAS 2013, se menciona el uso de la inspección petrografía en el artículo 630 – 13, con el fin de determinar si los agregados contienen sustancias perjudicialmente reactivas.

3 METODOLOGÍA

3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

Tabla 3-1. Fases del proyecto de grado

FASE 1	Recopilación de Información
FASE 2	Búsqueda de Planta extractora de material
FASE 3	Ejecución y sustentación propuesta de Investigación
FASE 4	Ensayos de laboratorio
FASE 5	Procesamiento y análisis de resultados
FASE 6	Ejecución y sustentación del proyecto de grado

La metodología se basa en las diferentes fases o procesos identificados que se requieren para la elaboración del trabajo de grado, para lo cual como primera parte se efectuó la elección del tema, partiendo por las líneas de investigación que lleva actualmente la universidad, junto con la recopilación de la bibliografía necesaria, con esto se realizó los ensayos de laboratorio requeridos con el fin de obtener unos resultados para finalmente realizar unas conclusiones junto con las recomendaciones que den lugar.

3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Equipos para ensayos de laboratorio:

- Espectrómetro secuencial de rayos x
- Microscopio electrónico de barrido (SEM)
- Programa para el procesamiento de micrografías (Varia de acuerdo al que use el laboratorio).

Otros equipos:

- Computador portátil
- Impresora

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Muestra extraída de una cantera ubicada vía antigua Guamal, Castilla la Nueva del departamento del Meta igual a 3 Kg de agregado para base.

4 ANALISIS DE RESULTADOS

Identificada la cantera de la que se tomaron los 3 kg de agregado extraído del río Guamal, se procedió a remitir al laboratorio para ser sometida a los análisis de laboratorio (no convencionales).



Figura 4-1. Agregado extraído del río Guamal

Fuente: Elaboración propia

Con la muestra entregada al laboratorio, se evidenció que era muy heterogénea, por lo cual, el laboratorio realizó una identificación preliminar, a fin de seleccionar los materiales de mayor representación; es de aclarar que, este proceso lo hizo un geólogo con notable experiencia en análisis petrográfico.

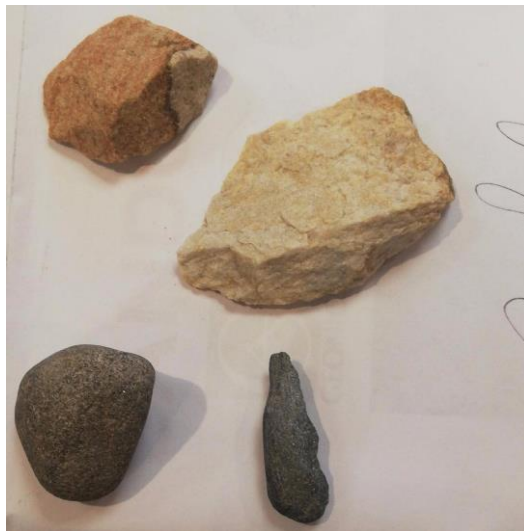


Figura 4-2. Identificación de los agregados en la muestra extraída

Fuente: Elaboración propia

Luego de practicar la identificación mencionada, por el geólogo asignado por el laboratorio para la clasificación petrográfica, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1 ANÁLISIS PETROGRÁFICO

Hecha la clasificación del material seleccionado, se encontraron 4 tipos de rocas, con las cuáles, se realizó el análisis petrográfico a cada uno de ellos. A continuación, se muestran los resultados, así:

- Roca tipo I: Arenisca cuarzosa.
- Roca tipo II: Arenisca lítica.
- Roca tipo III: Arenisca cuarzosa - lítica.
- Roca tipo IV: Meta – arenisca de cuarzo y moscovita.

Por otra parte, se muestran los análisis practicados, por medio de las fotografías obtenidas a través del microscopio de barrido SEM, para cada tipo de roca.

4.1.1 Roca tipo I:

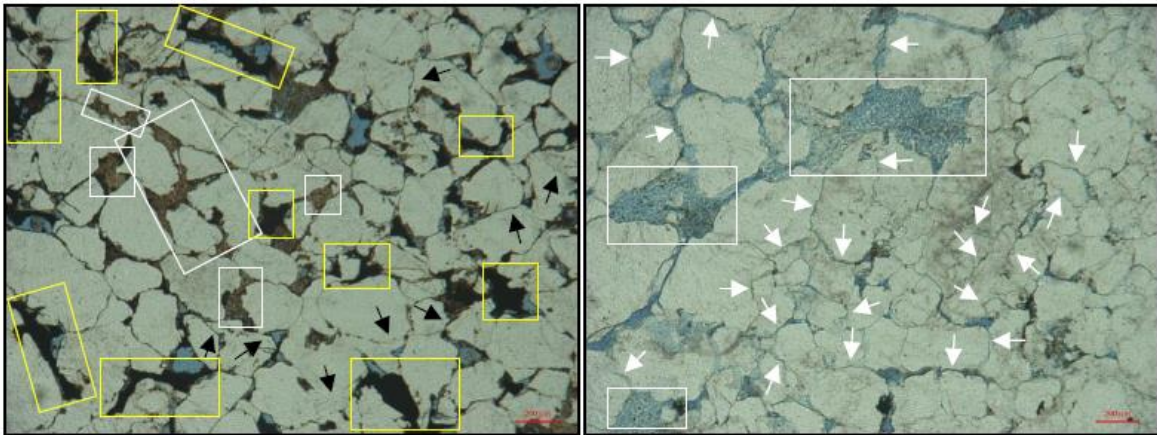


Figura 4-3. Sección delgada - Roca tipo I. Arenisca cuarzosa.
Fuente: Reporte de análisis petrográfico y mineralógico por DRX.

En la figura de la izquierda, se puede apreciar una roca cementada con cuarzo en la forma de sobrecrecimientos en continuidad óptica, con los granos (los señalados con flechas negras). Caolinita cementada teñida con óxido de hierro (en recuadros blancos). Petróleo “muerto” relleno la porosidad primaria (en recuadro amarillo).

En la figura de la derecha, se evidencia una roca en el área cementada con cuarzo, pero a la vez “apretada” y soldada por compactación, por medio de contactos micro-estilolíticos (señalados por las flechas blancas). Parches de caolinita autigénica (recuadros blancos).

4.1.2 Roca tipo II:

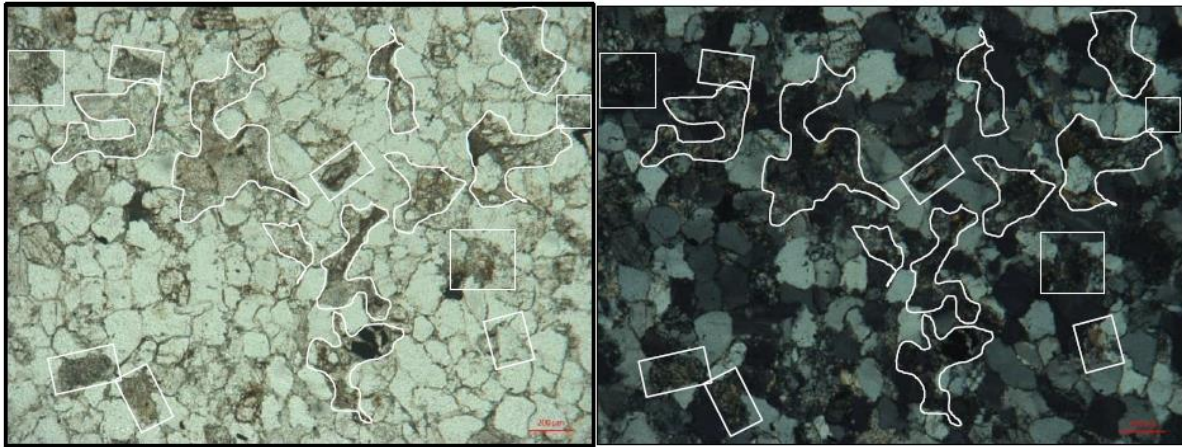


Figura 4-4. Sección delgada Roca tipo II. Arenisca lítica.
Fuente: Reporte de análisis petrográfico y mineralógico por DRX.

Esencialmente formada por granos de cuarzo y, fragmentos líticos, dúctiles, deformados y comprimidos en medio de los detritos frágiles o duros. Tiende a formar una pseudomatrix (resaltados en cuadros blancos). La figura de la izquierda, nicols paralelos. Figura de la derecha, nicols cruzados.

4.1.3 Roca tipo III:



Figura 4-5. Sección delgada Roca tipo III. Arenisca cuarzosa-lítica.
Fuente: Reporte de análisis petrográfico y mineralógico por DRX.

En la anterior figura, se aprecia empaquetamiento. Lo que se manifiesta como contactos entre detritos ondulados y frecuentemente saturados (señalados por las flechas blancas). Minerales finos con hábito laminar y colores de interferencia en segundo y tercer orden; posible sericita, pirofilita o mica moscovita muy fina (en recuadros verdes) formado:

1. Zonas ovaladas a lenticulares
2. Película o coberturas delgadas en medio de los contactos entre clastos.

3. Laminillas atrapadas entre los contactos saturados o embebidas flotando en medio de cemento de cuarzo.

En la figura de la izquierda, se puede apreciar nicoles paralelos; mientras que en la derecha, nicoles cruzados.

4.1.4 Roca tipo IV:

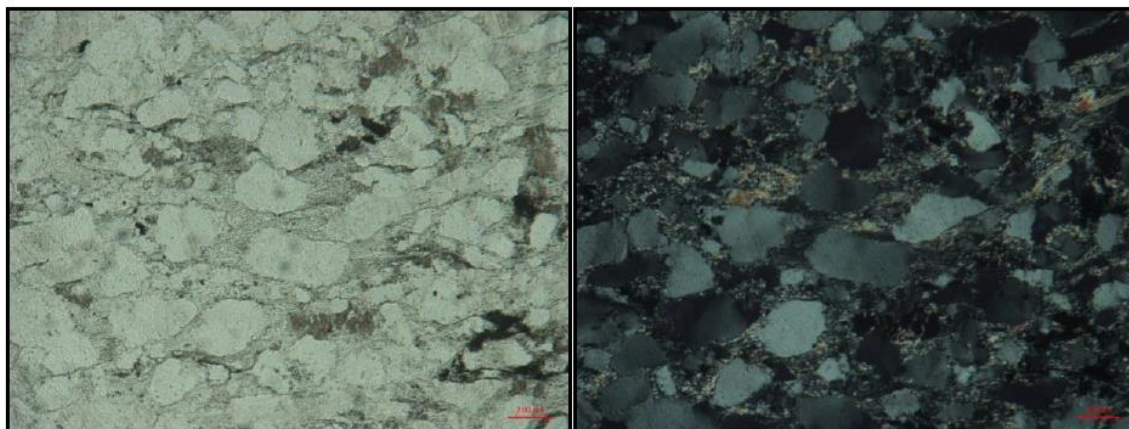


Figura 4-6. Sección delgada Roca tipo IV. Meta-arenisca de cuarzo y moscovita.

Fuente: Reporte de análisis petrográfico y mineralógico por DRX.

Se observa una evidente foliación, lo que se puede manifestar con minerales dispuestos en una dirección preferencial. Se puede notar:

1. La forma granular relictas de los minerales, lo que indica claramente, un protolito sedimentario, que estaba formado primordialmente por detritos de tamaño arena media a gruesa, de cuarzo monocristalino y policristalino.
2. Minerales finos con hábito laminar y características de moscovita en el espacio intergranular.

En la imagen de la izquierda, se puede apreciar nicoles paralelos y, en la derecha, nicoles cruzados.

A continuación, en la siguiente tabla, se muestra con mayor detalle el porcentaje de minerales encontrados en la muestra:

Tabla 4-1. Clasificación de las muestras petrográficamente estudiadas

Fuente: Reporte de análisis petrográfico y mineralógico por DRX.

MUESTRA			TERRÍGENOS					ORTOQUÍMICOS		POSIBLES MINERALES METAMÓRFICOS					Hc	Φ	Tg (mm)	CLASIFICACIÓN		
No.	Rótulo	Tipo de Roca	Qz		Fel	Lit	Mc	M.P.	Qz	Caol	Src	Mo	Cl	Prf	Fel					
1	CP-1	I	87,5	2,2	Tr	Tr	-	-	*	8,0	-	-	-	-	-	2,3	0-7	0,4	Arenisca cuarzosa (cuarzoarenita según Folk, 1974), de grano medio a grueso, bien a moderadamente seleccionada.	
		II	60,6	3,2	4,5	28,0	-	-	-	-	3,7	Tr	-	?	-	-	-	-	0,16	Arenisca lítica (litoarenita según Folk, 1974), de grano fino, bien seleccionada
		III	67,7	15,0	-	13,0	-	-	-	*	-	4,3	?	-	?	-	-	-	0,56	Arenisca cuarzosa-lítica (sublitoarenita según Folk, 1974), de grano grueso a muy grueso, moderadamente seleccionada.
		IV	71,8	5,3	-	-	-	-	2,3	-	-	?	16,0	Tr	?	4,6	-	-	0,28	Meta-arenisca de cuarzo y moscovita.

Convenciones	
Qz	Cuarzo
Mono	Monocristalino
Poli	Policristalino
Fel	Feldespato
Lit	Fragmentos líticos
Mc	Micas
Mp	Minerales pesados
Caol	Caolinita
Src	Sericita
Mo	Moscovita
Cl	Clorita
Prf	Pirofilita
Hc	Hidrocarburo
*	Mineral ortoquímico no cuantificado, pero presente en la roca
Tr	Trazas
Φ	Porosidad
Tg	Tamaño de grano promedio

Se puede observar que, el mineral predominante dentro de los cuatro (4) tipos de rocas, corresponde al cuarzo, lo que significa que el material extraído, puede servir para base granular; incluso, puede aplicarse como material pétreo para la fabricación del asfalto, ya que aporta buena resistencia mecánica, durabilidad, adherencia con el asfalto, textura superficial, y estabilidad química. Lo anterior, debido a que el cuarzo presenta una dureza de magnitud 7 (en la escala de Mohs), de las más altas que se pueden obtener de los materiales en la construcción (Klein-Hurlbut, 2006).

4.2 POROSIDAD

Se puede observar que, para las rocas tipo I varía entre nula y alrededor del 7% y, para los otros tipos (II a IV), la porosidad es nula.

4.3 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

Con el fin de identificar los minerales en detalle, las muestras fueron analizadas utilizando dos longitudes de onda, para identificar fases de hierro en estado cristalino y, minerales arcillosos con similares posiciones en 2 theta.

En la siguiente tabla, se muestran los resultados de las fases minerales (% en peso) identificadas en la muestra.

Tabla 4-2. Porcentaje en peso de cada fase mineral identificada en la muestra.

Fuente: Reporte de análisis petrográfico y mineralógico por DRX

Fases Muestra	Cuarzo (% en peso)	Feldespato-K (% en peso)	Plagioclasa (% en peso)	Pirita (% en peso)	Illita-Mica (% en peso)	Caolinita (% en peso)	Clorita (% en peso)
CP-1	87	1	5	1	2	3	<1

De acuerdo con los resultados de este análisis, se puede evidenciar gran presencia de cuarzo en la muestra analizada equivalente al 87%, lo que indica que, es una muestra que puede ofrecer buen comportamiento para su utilización, en una composición de pavimento, ya sea como base o como materia prima (insumo) para la elaboración de la mezcla asfáltica.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La realización de ensayos no convencionales (análisis petrográfico y difracción de rayos X), con la muestra del agregado extraído del río Guamal en el departamento del Meta, permitió establecer que, es rica en cuarzo al 87%.
- Siendo el cuarzo el mineral de mayor presencia en el agregado, refleja que la muestra es óptima para ser usada en la composición del pavimento o, como materia prima para la elaboración de la mezcla asfáltica, dado que este mineral aporta buena resistencia mecánica, durabilidad, adherencia con el asfalto, textura superficial y estabilidad química.
- Con los datos anteriormente obtenidos en el laboratorio, no hubo la necesidad de realizar el análisis por fluorescencia de rayos x; sin embargo, un resultado importante fue la no presencia de asbestos ni anfíboles fibrosos.
- Para la aplicación del agregado obtenido en la fabricación de un concreto hidráulico, se evidencia que podría reaccionar con el concreto creando fisuras en corto tiempo, debido a que contiene gran cantidad de cuarzo, el cual está considerado dentro de los agregados reactivos.
- Se observa que, en el agregado analizado, la porosidad es casi nula, lo que podría ser un factor desfavorable a la hora de ser usado en una mezcla asfáltica, ya que puede generarse el fenómeno de stripping (separación del agregado pétreo del ligante), debido a la presencia de agua en la mezcla asfáltica, generando, en el peor de los casos, un desprendimiento del cemento asfáltico con el agregado.
- Para futuras investigaciones, se recomienda incursionar en el análisis de la muestra y los resultados obtenidos, para profundizar en la confirmación de la presencia del fenómeno de stripping, en razón de los posibles factores de porosidad analizados.

6 BIBLIOGRAFÍA

1. Boggs, JR Sam (2009) – “Petrology of sedimentary rocks” United States of America. Cambridge university press.
2. Duque Escobar Gonzalo. (2017) - “Manual de geología para ingenieros” Manizales. Universidad nacional de Colombia.
3. González de Vallejo Luis I., Ferrer Mercedes, Oteo Carlos. (2002) - “INGENIERIA GEOLOGICA”, Madrid, Pearson Educación.
4. Terzaghi Karl, B. Peck Ralph, Mesti Gholamreza. (1996) – “SOIL MECHANICS IN ENGINEERING PRACTICE” Third edition, United States of America. John Wiley & Sons, Inc.
5. Ocampo – Díaz Yam Zul Ernesto (2013) – “Análisis petrográfico y estadístico multivariado para discriminar las áreas fuente de la formación La Casita del Jurásico Tardío – Cretácico temprano en el Noreste de México” Boletín de la sociedad geológica Mexicana Volumen 65, p 609-630.
6. González David, Ferney Pachón, Pulido Fredy (2017) – “Caracterización mineralógica, química y porosimétrica de agregados pétreos para posterior uso en mezclas asfálticas” Universidad Católica de Colombia.
7. Cerquera Argelio, Rodríguez Cesar, Ruano Diego (2017) – “Análisis mineralógico, químico y porosimétrico de los agregados pétreos de una cantera perteneciente a la formación geológica de la Sabana en el municipio de Soacha – Cundinamarca”. Universidad Católica de Colombia.
8. Narvaez Agnes, Gonzalez Franci (2018) – “Caracterizacion mineralógica, porosimetrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétros gruesos de una cantera del piedemonte Llanero Colombiano según norma IDU sección 500-11” Universidad Católica de Colombia.
9. Chan Yam José Luis, Solís Carcaño Rómel, Moreno Eric Iván / Ingeniería 7-2 (2003) 39-46 Artículo de Divulgación “Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto”.
10. Moncaleano Acosta Cindy Johana, Jaramillo Campuzano Juan Guillermo (2016) – “Uso de diferentes agregados finos y fibras en el concreto fabricado con cuarzo como agregado grueso” Universidad de la Salle Bogotá D.C.
11. Libia Gutiérrez de López (2003) – “El concreto y otros materiales para la Construcción” Segunda edición, Universidad Nacional de Colombina Sede de Manizales centro de publicaciones
12. Rondón Quintana Hugo Alexander, Moreno Anselmi Luis Ángel (2010) - “Influencia del agua en el fenómeno de stripping en mezclas asfálticas: estudio sobre el ligante”.
13. Klein-Hurlbut. (2006) – “Manual de mineralogía”. Barcelona. Reverte, S.A.
14. 2017. Universidad de alicante – España. Recuperado de <https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x/espectroscopia-de-fluorescencia-de-rayos-x.html>.
15. Universidad politécnica de Cartagena. Colombia. Recuperado de https://www.upct.es/~minaees/difraccion_rayosx.pdf.
16. Practica de microscopio electrónico de barrido (SEM). Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado de <http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/caracterizacion-de-materiales/practicas->

[2/Practicas de SEM.pdf](#).

17. 2017. Universidad de alicante – España. Recuperado de <https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x/difraccion-de-rayos-x.html>.