

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500-11

**“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, POROSIMÉTRICA,
MICROESTRUCTURAL Y CON ENSAYOS CONVENCIONALES DE AGREGADOS
PÉTREOS GRUESOS DE UNA CANTERA DEL PIEDEMONT LLANERO
COLOMBIANO SEGÚN NORMA IDU SECCIÓN 500-11”**



INTEGRANTES:

ING. AGNES CHAVEZ NARVAEZ, COD: 150815

ING. FRANCI LILIANA GONZÁLEZ PÉREZ, COD: 150805

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

BOGOTÁ D.C – 2018

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500-11

**“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, POROSIMÉTRICA,
MICROESTRUCTURAL Y CON ENSAYOS CONVENCIONALES DE AGREGADOS
PÉTREOS GRUESOS DE UNA CANTERA DEL PIEDEMONTTE LLANERO
COLOMBIANO SEGÚN NORMA IDU SECCIÓN 500-11”**

INTEGRANTES:

ING. AGNES CHAVEZ NARVAEZ, COD: 150815

ING. FRANCI LILIANA GONZÁLEZ PÉREZ, COD: 150805

**TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
INGENIERÍA DE PAVIMENTOS.**

ASESOR: JUAN CARLOS RUGE CÁRDENAS, PHD

INGENIERO CIVIL, MAGÍSTER EN GEOTECNIA, DOCTOR EN GEOTECNIA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

BOGOTÁ D.C – 2018

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500–11



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

Usted es libre de:

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas
- hacer un uso comercial de esta obra



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).

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500-11

Agradecimientos y dedicatoria.

Queremos agradecer a Dios por permitirnos realizar esta especialización, a nuestras familias por el apoyo incondicional y por el ánimo que nos dan para seguir cada día adelante, a nuestros compañeros de la especialización por ayudarnos a comprender mejor los temas, a los profesores de esta especialización por encaminarnos en la dirección del éxito y a nuestro tutor porque aportó sus conocimientos y lo transformó en nuestra capacidad para sustentar este trabajo de grado.

¡FELICIDAD Y ÉXITO ABSOLUTO!

Agnes y Franci.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO | 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 a resolver..... | 11 |
| 1.2.3 Pregunta de investigación (opcional)..... | 14 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN..... | 15 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 15 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 15 |
| 1.4.2 Objetivos específicos | 15 |
| 2 MARCOS DE REFERENCIA | 16 |
| 2.1 MARCO TEÓRICO | 16 |
| 2.1.1 Geología del piedemonte llanero (Villavicencio) -origen geológico y relieve | 16 |
| 2.1.2 Ubicación zona de estudio..... | 20 |
| 2.1.3 Origen de los agregados pétreos..... | 21 |
| 2.1.4 Materiales granulares | 21 |
| 2.1.5 Agentes contaminantes de los agregados | 22 |
| 2.1.6 Métodos de trituración de los agregados | 25 |
| 2.2 MARCO CONCEPTUAL..... | 26 |
| 2.2.1 Norma IDU ET-2005..... | 26 |
| 2.3 MARCO NORMATIVO..... | 28 |
| 3 METODOLOGÍA | 29 |
| 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS | 30 |
| 4.1 ENSAYO NO CONVENCIONAL | 30 |
| 4.1.1 Petrografía | 30 |
| 4.2 ENSAYOS CONVENCIONALES | 30 |
| 4.2.1 Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los ángeles INV E-218-07..... | 32 |
| 4.2.2 Determinación de la resistencia del agregado grueso al desgaste por abrasión utilizando el aparato Micro-Deval INV E238-07 | 32 |
| 4.2.3 Resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método del 10% de finos INV E-224-07 | 32 |
| 4.2.4 Solidez frente a la acción de la solución de sulfato de Sodio o de Magnesio INV E-220-07 | 32 |
| 4.2.5 Porcentaje de caras fracturadas en los agregados INV E-227-07..... | 33 |
| 4.2.6 Índice de Aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras. | 33 |
| 4.2.7 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos INV E-213-13..... | 33 |
| 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 35 |
| BIBLIOGRAFÍA | 36 |
| APÉNDICES | 37 |
| ANEXOS | 40 |

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500–11

LISTA DE IMÁGENES

| | |
|---|----|
| IMAGEN 1 MARCO DE REFERENCIA DOCUMENTO | 16 |
| IMAGEN 2 PERFIL GEOMORFOLÓGICO Y ESTRUCTURAL DEL DEPARTAMENTO DEL META Y DE LAS TIERRAS ADYACENTES. | 17 |
| IMAGEN 3 PRINCIPALES SISTEMAS DE TIERRAS DE LA SABANA BIEN DRENADA DE LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA (ADAPTADA DE COCHRANE ET AL. 1985) | 18 |
| IMAGEN 4 ÁREA DE RECOLECCIÓN DE MATERIAL | 19 |
| IMAGEN 5 ESQUEMA DEL AMBIENTE DE FORMACIÓN DE LAS BRECHAS DE BUENAVISTA. TOMADO Y MODIFICADO DE DORADOR (1990)..... | 20 |
| IMAGEN 6 COMPUESTOS UTILIZADOS PARA ENSAYO DE SEPARACIÓN POR SUSPENSIÓN | 23 |
| IMAGEN 7 LÍMITES DE SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN LOS AGREGADOS PÉTREOS | 24 |
| IMAGEN 8 TIPOS DE TRITURACIÓN DE PIEDRA..... | 25 |
| IMAGEN 9 METODOLOGÍA ACTIVIDADES DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN | 29 |

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500-11

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA 1 FACTORES QUE AFECTAN EL FENÓMENO DE AHUELLAMIENTO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS | 14 |
| TABLA 2 CLASIFICACIÓN POR CATEGORÍA DE TRÁNSITO | 27 |
| TABLA 3 REQUISITOS DEL AGREGADO GRUESO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS | 28 |
| TABLA 4. CUADRO RESUMEN – CARACTERIZACIÓN MATERIAL GRUESO AGREGADO GRUESO ENFOQUE NORMATIVO SECCIÓN 500-IDU-ET-11 | 31 |
| TABLA 5 CUADRO COMPARATIVA RESULTADOS DE LABORATORIO CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES. | 37 |

RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación es profundizar el conocimiento acerca de la importancia que el origen y gradación del agregado pétreo grueso tiene en el comportamiento de mezclas asfálticas conociendo su caracterización de acuerdo a las normas IDU sección 500-11, realizando los ensayos de laboratorio convencionales y no convencionales que cumplan las normas IDU 500-11, tales como: petrografía (análisis microscópico y macroscópico, análisis de imágenes), dureza (Desgaste de los ángeles, Micro Deval, 10% de finos), durabilidad (Sulfato de magnesio) y geometría de las partículas (Partículas fracturadas, Índice de aplanamiento y alargamiento) de una cantera del piedemonte llanero, teniendo claro de acuerdo a los resultados obtenidos, que el origen del granular y la granulometría afectan las propiedades mecánicas y dinámicas de las mezclas asfálticas.

Palabras clave: asfalto, petrografía, mineralogía, Guayuriba, granular, microestructural.

ABSTRACT

The main objective of the present investigation is to deepen the knowledge about the importance that the origin and gradation of the thick stone aggregate has in the behavior of asphalt mixtures knowing their characterization according to the IDU norms section 500-11, performing the laboratory tests conventional and unconventional that comply with the IDU 500-11 standards, such as: petrography (microscopic and macroscopic analysis and pictures analysis), hardness (Attrition of the angels, Micro Deval, 10% fines), durability (Magnesium sulfate) and particle geometry (Fractured Particles, Index of flattening and lengthening) of a quarry in the foothills of the plains, keeping clear according to the obtained, that the origin of the granular and the granulometry affect the mechanical and dynamic properties of the asphalt mixtures.

Keywords: asphalt, petrography, mineralogy, Guayuriba, granular, microstructural.

INTRODUCCIÓN

Las zonas rurales están muy ligadas a las zonas urbanas especialmente en temas como la obtención de alimentos sin tener que desplazarse largas distancias para poder acceder a ellos, la actividad ganadera, pecuaria, forestal, industrial, transporte de mercancías y materias primas, etc. donde es evidente que la zona urbana necesita de las actividades rurales, ya que mientras más gente viva en lo urbano, más actividades rurales se necesitan, más certeza sobre la sostenibilidad ambiental y sobre el manejo de las aguas; porque sin agua, sin aire, sin comida, sin fuentes energéticas cercanas, no hay posibilidad de vivir en la ciudad.

Por ejemplo, en Colombia actualmente se producen grandes cantidades de alimentos, pero por la mala infraestructura existente en la actualidad, por ejemplo, hace que entre los sitios de producción y los sitios de acopio se pierda aproximadamente el 20% de la comida que se produce e infortunadamente esto ocurre por no tener las condiciones mínimas, básicas y seguras para el transporte de dichos alimentos, pero lo más preocupante es que éste hecho podría empeorar si no se le da la atención que requiere en el menor tiempo posible¹.

Aunque los asfaltos son la primera opción en los procesos constructivos de las carreteras, se debe tener presente con qué tipo de materiales se van a construir con el fin de lograr estructuras confiables, durables y económicas, pues se debe tener presente que los materiales utilizados en los diseños de mezclas deben cumplir con una caracterización específica normatizada por las entidades gubernamentales a cargo y para esto se debe tener en cuenta el tipo de material suministrado por las canteras a las empresas encargadas de la producción de éstas mezclas asfálticas pues las propiedades del agregado en general son un factor fundamental en la obtención de la mezcla óptima.

Teniendo en cuenta lo anterior y viendo que la ingeniería en Colombia está formando nuevas alternativas para las mezclas asfálticas debido a temas sociales, económicos y ambientales y que se debe garantizar la calidad de los materiales a utilizar teniendo en cuenta que los agregados finos y gruesos para cualquier mezcla asfáltica componen aproximadamente del 90% tanto en peso como en volumen, es fundamental realizar ensayos a dichos materiales con el fin de conocer su caracterización y así saber su origen, propiedades físicas, propiedades mecánicas, propiedades químicas y/o presencia de materiales contaminantes para obtener un buen desempeño de los mismos dentro de la mezcla asfáltica.

¹ SALDAS BARRENECHE, Carmenza. Las ciudades y regiones, la realidad territorial del desarrollo. En: REVISTA DE INGENIERA. no. 29, p. 82-95

Para lograr lo anterior, se realizará una investigación de los agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero mediante los ensayos de laboratorio convencionales y no convencionales que cumplan las normas IDU 500-11, tales como: petrografía (análisis microscópico y macroscópico, análisis de imágenes), dureza (Desgaste de los ángulos, Micro Deval, 10% de finos), durabilidad (Sulfato de magnesio) y geometría de las partículas (Partículas fracturadas, Índice de aplanamiento y alargamiento)².

² GONZALEZ GONZALEZ, David Orlando, et al. Análisis mineralógico, químico y porosimétrico de agregados pétreos para posterior uso en mezclas asfálticas.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto está enmarcado dentro de la línea de investigación de materiales aprobada por la Universidad Católica de Colombia - Facultad Posgrados, Programa Ingeniería de Pavimentos, permitiendo analizar los agregados de una cantera del piedemonte llanero colombiano.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema a resolver

Para la fabricación de mezclas asfálticas convencionales es indispensable conocer en detalle la caracterización física, mineralógica, química y microestructural de los agregados a utilizarse en la producción de éstas con el fin de garantizar unos muy buenos diseños para obtener la construcción de vías más confiables, duraderas y económicas a nivel nacional.

Sin embargo, para la región del país como el piedemonte llanero colombiano la cual es el objeto de estudio del presente proyecto, no se tiene conocimiento que exista alguna investigación profunda a cerca de la caracterización de los agregados pétreos de alguna de las canteras allí explotadas; de ahí radica la necesidad de aplicar los conceptos, técnicas y tecnologías avanzadas para el estudio de éstos materiales que nos permitan analizar con los resultados de laboratorio convencionales y no convencionales el grado de cumplimiento de dichos materiales de acuerdo a la norma IDU sección 500-11 y/o las posibles alternativas de mejoramiento de éstos para ser utilizados en los diseños de mezclas asfálticas y también tener clara la importancia de los recursos disponibles en ésta región específica y de esa forma lograr un uso más eficiente de los materiales allí explotados.

1.2.2 Antecedentes del problema a resolver

Se conoce de varios antecedentes de investigaciones a nivel mundial donde se ha evaluado la estructura interna tanto de las mezclas asfálticas como del agregado que hace parte de ésta, uno de ellos tiene que ver con el estudio de éstos materiales por medio de la petrografía (del griego Πέτρος, petros, piedra; y γραφος, grafos, descripción) y es la rama de la geología que estudia e investiga las rocas, específicamente su composición mineralógica y su estructura a escala microscópica. Hace parte de la petrología el origen, distribución, estructura e historia de las rocas³,

³ Allex E. Alvarez Lugo¹, Edith Arámbula Mercado² y Silvia Caro Spinel. Tomografía computarizada con rayos-x y sistema de imágenes de agregados (AIMS) para el estudio de mezclas asfálticas y agregados. REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN VOL. 28 No. 2, AGOSTO DE 2008 (142-151)

posteriormente hacia el año 1.850 Henry Clifton planteó el uso de las secciones delgadas analizadas microscópicamente con el fin de estudiar las rocas y los minerales, clasificando las rocas y observando las propiedades de éstas tales como color, textura y tamaño con lo que podemos analizar el desempeño de los agregados dentro de una mezcla asfáltica⁴.

Más específicamente la petrografía⁵:

- Se dedica a la **descripción y el análisis de las rocas**
- Es un área complementaria a la **petrología**,
- Con la petrografía se analiza la composición de minerales y su estructura
- Se centra en el origen de las rocas y en las relaciones que éstas desarrollan entre sí.
- La petrografía y la petrología se complementan para el desarrollo de la geología.
- La petrografía trabaja con los distintos minerales que forman las rocas.
- De acuerdo a las condiciones y al estado de los minerales que contienen, las rocas pueden clasificarse como:
 - **Rocas Metamórficas** (se originan en el interior del **planeta**, siendo modificadas por la temperatura y la presión),
 - **Rocas Sedimentarias** (se crean a partir del acopio de diferentes minerales) o
 - **Rocas ígneas** (creadas a partir de erupciones y de procesos vinculados al magma).

Según la investigación realizada por Gloria I. Beltrán C. para la Universidad Nacional de Colombia, donde ella realizó el estudio de las Técnicas de microscopía y petrografía para caracterizar los materiales, encontrando la caracterización química, mineralógica de agregados y la caracterización de mezclas asfálticas desde el punto de vista de su estructura interna, rasgos estructurales identificables, propiedades físicas y de calidad. Los análisis realizados por Gloria I. Beltrán C. le permitieron concluir que es una técnica muy efectiva para realizar la evaluación y control de calidad de las mezclas asfálticas, en los procesos de producción, construcción y por ende durante la vida útil de los pavimentos⁶.

De acuerdo a la publicación de RONDÓN, H. A.; REYES, F. A. Ahuellamiento y fatiga en mezclas asfálticas. 2012; se realiza énfasis en que un pavimento flexible está conformado básicamente por una capa asfáltica apoyada sobre capas compuestas por materiales granulares no tratados o ligados, los cuales a la vez se apoyan sobre la subrasante o terreno natural de cimentación.

Dentro de la estructura del pavimento, la carpeta asfáltica tiene como función principal ayudar a soportar los esfuerzos que transmiten las cargas vehiculares y

⁴ Licker, M. D. (ed.) (2003). Dictionary of Earth Science. New York: McGraw-Hill.

⁵ Definición de concepto de petrografía. [0].

⁶ BELTRÁN, G. Técnicas de microscopía y petrografía para caracterizar materiales de carreteras. 2011.

distribuir dichos esfuerzos a la subrasante en magnitudes que sean tolerables por esta. Así mismo, impermeabiliza el pavimento y provee una superficie adecuada para que los usuarios del parque automotor circulen sobre ella de forma segura y comfortable. Los dos principales mecanismos de falla de estructuras de pavimento flexible son: la fatiga y el ahuellamiento.

También se menciona dentro de la misma publicación, que según Tarefder et ál. (2003), el ahuellamiento se afecta principalmente por tres factores:

1. Mezcla

- Gradación del agregado: objeto de nuestra investigación
- Grado de funcionamiento PG del ligante
- Contenido de asfalto

2. Carga

- Presión de llanta
- Tipo de eje

3. Ambiente

- Temperatura
- Humedad
- Precipitación

Zhou y Scullion (2002) mencionan que la deformación permanente de mezclas asfálticas, medida en ensayos bajo carga cíclica en el laboratorio, experimenta tres estados de comportamiento:

1. Primer estado: La deformación se acumula rápidamente producto de la densificación que experimenta la capa asfáltica por las cargas iniciales que transitan sobre el pavimento, en este estado la tasa de deformación disminuye y alcanza un valor constante, en éste estado el agregado pétreo de las mezclas experimenta deformación principalmente por reacomodo de partículas debido a la densificación del material y por lo tanto inicialmente la mezcla disminuye sus vacíos con aire.

2. Segundo y tercer estado: la tasa vuelve a incrementar y la deformación comienza nuevamente a acumularse con rapidez, en el segundo estado comienzan a generarse microfisuras y el material experimenta pérdida de rigidez y gradualmente se propagan y se juntan formando macrofisuras, lo que hace que la tasa de deformación incremente.

Según Sousa et ál. (1991), algunos investigadores, con base en mediciones realizadas en ensayos de creep (fluencia) sobre distintas mezclas asfálticas, han establecido como criterio de falla valores adecuados de rigidez de estos materiales, que permiten evitar el fenómeno de ahuellamiento, como se muestra en la siguiente tabla 1. y donde tenemos en primer lugar los agregados pétreos con factores como textura superficial, forma y tamaño los cuales su efecto sobre la resistencia se incrementa⁷.

⁷ RONDÓN, H. A.; REYES, F. A. Ahuellamiento y fatiga en mezclas asfálticas. 2012.

Tabla 1 Factores que afectan el fenómeno de ahuellamiento en mezclas asfálticas

| | Factor | Cambio en el factor | Efecto sobre la resistencia al ahuellamiento |
|----------------------|------------------------|-----------------------------|--|
| Agregados pétreos | Textura superficial | Liso a rugoso | Incrementa |
| | Forma | Redonda a angular | Incrementa |
| | Tamaño | Incremento en tamaño máximo | Incrementa |
| Ligante asfáltico | Rigidez | Incremento | Incrementa |
| Mezcla | Contenido de ligante | Incremento | Disminuye |
| | Contenido de vacíos | Incremento | Disminuye |
| | Grado de compactación | Incremento | Incrementa |
| Condiciones de campo | Temperatura | Incremento | Disminuye |
| | Esfuerzo o deformación | Incremento | Disminuye |
| | Repeticiones de carga | Incremento | Disminuye |
| | Agua | Seco a húmedo | Disminuye |

Fuente. RONDÓN, H. A.; REYES, F. A. Ahuellamiento y fatiga en mezclas asfálticas. 2012.

Por su parte, Yue et al. (1995) *“obtuvieron información cuantitativa sobre la distribución y forma de las partículas de agregado, determinaron la estructura interna y cuantificaron la anisotropía en las mezclas asfálticas, usando la técnica de análisis “Imaging”. Se encontró que la diferencia entre las propiedades de una misma mezcla compactada usando diferentes métodos, es atribuida a la diferencia en la estructura interna de la misma y, en particular, a la distribución y orientación de los agregados”*.

Se concluyó que, entre las diferentes propiedades del agregado, la textura tiene la correlación más fuerte con la resistencia al ahuellamiento de la mezcla, la cual aumenta exponencialmente con la rugosidad.

Los agregados utilizados para las mezclas asfálticas proceden de dos fuentes de materiales que producen 4 tipos de agregados:

1. Lafuente-I: produce arenas finas y de trituración de origen ígneo y metamórfico y
2. La fuente-II: provee arenas de trituración y gravas de origen sedimentario.

1.2.3 Pregunta de investigación (opcional)

¿El material extraído de la cantera de Villavicencio de acuerdo a los ensayos del IDU sección 500-11 cumplen y/o existen alternativas de mejoramiento para ser utilizado en la elaboración de mezclas asfálticas?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los agregados constituyen el componente mayoritario (tanto en peso como en volumen) de todas las capas de un pavimento. Por esta razón, la respuesta mecánica y el desempeño de las estructuras de pavimento están influenciadas directamente por las características de estos materiales. Al conocerse sus propiedades permiten construir estructuras confiables, durables y económicas, lo mismo que ayuda a la implementación de planes de mantenimiento y rehabilitación efectivos.

Estos materiales pétreos debido a su ubicación, transporte y condiciones climáticas, pueden ser víctimas de cambios en sus propiedades físicas, comportamientos, parámetros y demás los cuales pueden de igual forma afectar el diseño de las mezclas que se quieran hacer con ellos, de acuerdo a lo anterior, con la presente investigación se pretende hacer una caracterización física y química de los agregados de una cantera del piedemonte llanero colombiano para determinar si cumplen con los parámetros de calidad ordenados por las normas vigentes, específicamente con la norma IDU sección 500–11⁸.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Realizar un análisis de la caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y ensayos convencionales de los agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero Colombiano, según norma IDU sección 500–11.

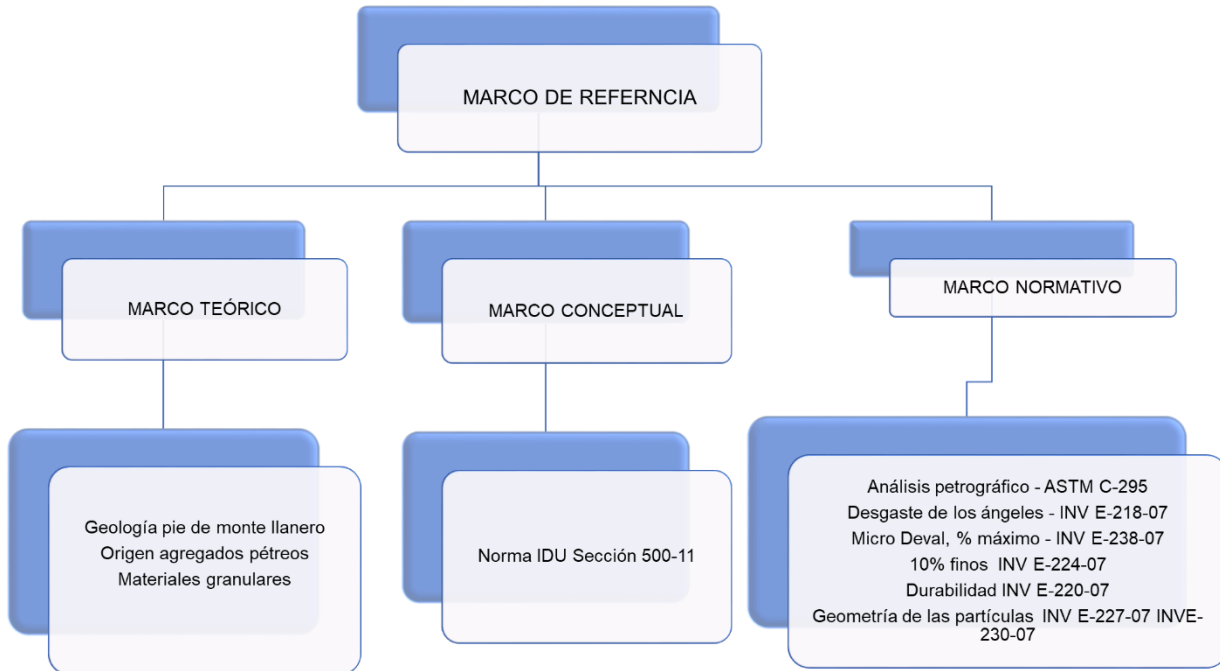
1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los ensayos convencionales del material pétreo grueso seleccionado, dureza, durabilidad, geometría de las partículas, Índice de aplanamiento y alargamiento, según las normas Técnicas IDU, sección 500-11.
- Determinar la caracterización petrográfica de material pétreo grueso seleccionado.
- Efectuar el análisis, recomendaciones y/o alternativas de mejoramiento al material pétreo grueso de acuerdo a los resultados de los ensayos obtenidos.

⁸ ALVAREZ LUGO, Alex E.; MERCADO, Edith Armubla and CARO SPINEL, Silvia. Tomografía computarizada con Rayos-X y sistema de imágenes de agregados (AIMS) para el estudio de mezclas asfálticas y agregados. En: INGENIERA E INVESTIGACION. vol. 28, no. 2, p. 142-151

2 MARCOS DE REFERENCIA

Imagen 1 Marco de referencia documento



Fuente. Elaboración propia

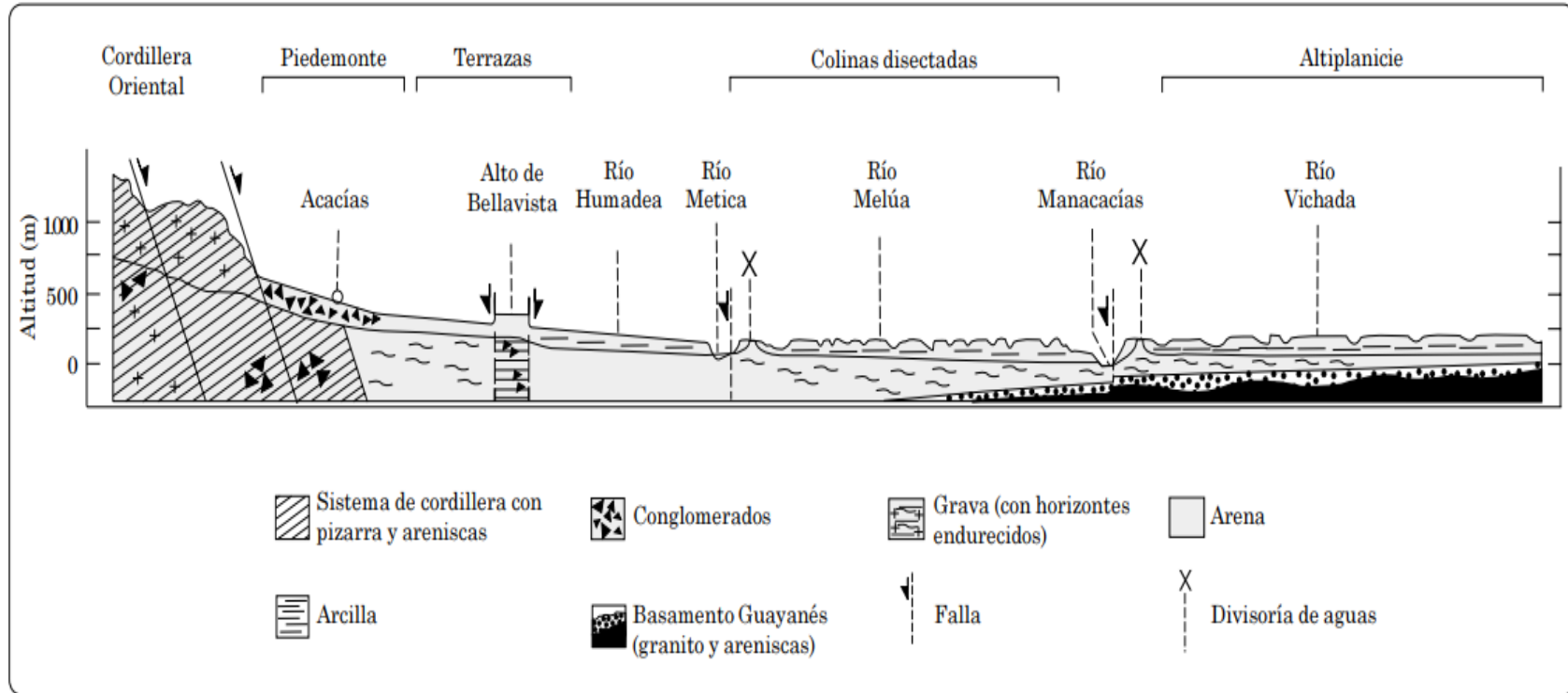
2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Geología del piedemonte llanero (Villavicencio) -origen geológico y relieve

“Las sabanas tropicales son el resultado de la evolución de diversos procesos geológicos, entre ellos, las fuerzas tectónicas, la sedimentación, la erosión y los cambios climáticos drásticos. La interacción entre la historia geomorfológica, el tipo de material original de la corteza terrestre y el clima han determinado a través del tiempo el tipo y la característica de los suelos. Las sabanas presentan, por tanto, una gran variedad una gran variabilidad geológica y topográfica (Figura 2)”.

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500-11

Imagen 2 Perfil geomorfológico y estructural del departamento del Meta y de las tierras adyacentes.



Fuente. Rippstein, G., Escobar, G., & Motta, F. M. (2001). Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia (No. 322). Ciat

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500–11

El municipio presenta dos grandes unidades: la parte plana o llana y la vertiente de cordillera que incluye el piedemonte, adicional a esto, los procesos morfodinámicos en el municipio de Villavicencio pueden agruparse en dos grandes unidades: procesos erosivos y procesos de sedimentación. Los primeros se presentan en las vertientes de la cordillera (parte alta de los ríos Guatiquía y Guayuriba, y la parte alta de las microcuencas del piedemonte y los segundos en la zona de la llanura).

En cuanto a su geología, el municipio se encuentra en la vertiente este de la cordillera oriental que está constituida por esquistos metamórficos en forma de inclusiones entre lutitas y areniscas cretácicas. En la parte baja se encuentran depósitos terciarios y los aluviones de los ríos. Las rocas sedimentarias próximas a la ciudad de Villavicencio se encuentran fuertemente plegadas y falladas a partir del levantamiento de la cordillera oriental durante el Mio-plioceno¹⁰.

Imagen 4 Área de recolección de material



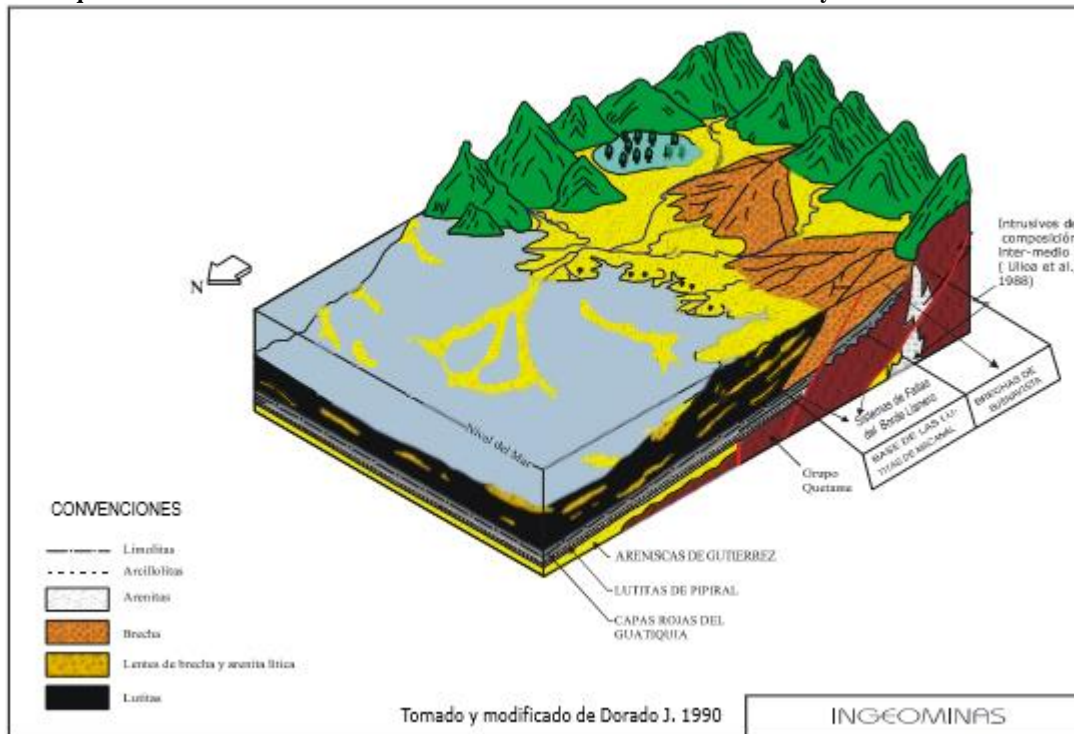
Fuente. Rippstein, G., Escobar, G., & Motta, F. M. (2001). Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia (No. 322). Ciat.

¹⁰ INGEGAR INGENIERÍA E.U., Informe final estudio de suelos proyecto urbanización La Madrid Villavicencio – Meta. Mayo 2010

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500-11

En el piedemonte llanero se han reportado varias canteras de arena ubicadas cerca al puente sobre el río Guatiquía y otras en la Vereda Montecarlo, al suroeste de Villavicencio, en las cuales se explotan arenas cuarzosas, principalmente en las formaciones Une y Arenizca de Cáqueza. En el sector del río Guayuriba se explota esporádicamente la Formación Palmichal, de la cual se obtienen arenas de peña utilizadas en la industria de la construcción. Las arcillolitas de la Formación Arcillas de El Limbo son empleadas en la fabricación de ladrillos, como en el caso de la fábrica que existe en el Municipio de Acacias, que abastece en un 50% las necesidades de la industria de la construcción del Meta. Las filitas del Grupo Quetame podrían ser una fuente importante de piedras de ornamentación. La Formación La Corneta se constituye como fuente en la producción de gravas, al igual que los depósitos de río, útiles en la fabricación de bloques para la construcción de viviendas. Ante la carencia de análisis físico-químicos, no se puede, por el momento, indicar todas las posibles aplicaciones de estas rocas¹¹

Imagen 5 Esquema del ambiente de formación de las brechas de Buenavista. Tomado y modificado de Dorador (1990)



Fuente. Rippstein, G., Escobar, G., & Motta, F. M. (2001). Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia (No. 322). Ciat.

2.1.2 Ubicación zona de estudio

La extracción del material se realiza del río Guayuriba. Mina las Mercedes vía Villavicencio a Acacias Km 14, vereda las Mercedes en el departamento del Meta.

¹¹ PULIDO GONZALEZ, Orlando. GÓMEZ VILLALBA, Luz Stella. Geología de la plancha 266 Villavicencio escala 1:100.000. Memoria explícita, Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear INGEOMINAS 2001.

2.1.3 Origen de los agregados pétreos

Proviene de las rocas y se obtiene a través de un proceso de fragmentación natural como intemperismo y la abrasión o mediante un proceso físico mecánico hecho por el hombre.

INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS EN LA DEFORMACIÓN PERMANENTE¹²

El agregado mineral juega un papel muy importante en el desempeño de las mezclas asfálticas, se conoce que las características que más influyen en dicho desempeño y en particular a deformaciones permanentes, son las siguientes:

- Gradación (con énfasis en la zona restringida)
- Tamaño máximo
- Angularidad del agregado grueso (Caras fracturadas)
- Angularidad del agregado fino (Vacíos sin compactar)
- Porcentaje de finos 9 Mineralogía (Fuente de origen de los agregados)

2.1.4 Materiales granulares

Aunque parece simple, los materiales granulares tienen un comportamiento único que nos permite considerarlo como un nuevo estado de la materia, distinto de los sólidos, los líquidos o los gases, que son los estados tradicionales.

Los materiales granulares pueden comportarse como un sólido, un líquido o un gas, y tienen además otras propiedades, como:

- La dilatación (capacidad de expandirse como un todo),
- La segregación (o separación de las partículas por tamaño),
- La particular distribución de una fuerza aplicada,
- La formación de dunas o la posibilidad de sufrir avalanchas, que les son propias.

Todas estas características del material granular explican fenómenos cotidianos muy singulares.

¿Desde Cuándo Se Conoce A Los Materiales Granulares Como Tales?

La ciencia de los medios granulares tiene una larga historia. Físicos célebres como Coulomb (1773), Faraday (1831) y Reynolds (1885) estudiaron algunas de sus propiedades, como la dilatación y la fricción entre los granos. En años recientes, ha resurgido el interés entre los físicos por realizar estudios en este campo, debido a sus múltiples aplicaciones prácticas. Actualmente, decenas de grupos científicos trabajan

¹² DELGADO ALAMILLA, Horacio, et al. Influencia de la granulometría en las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica. En: PUBLICACION TECNICA. no. 299, México D.F.: IMT.

alrededor de todo el mundo en su investigación, seducidos por el fascinante comportamiento colectivo de millones de partículas sólidas¹³.

2.1.5 Agentes contaminantes de los agregados

Según Julio Montenegro Gambini en su artículo “Elementos contaminantes del agregado”¹⁴ En la construcción alteran el proceso de mezclado, de acuerdo al tipo de acción, podemos clasificar los contaminantes como de carácter físico o químico. Los físicos actúan exteriormente en el agregado, como es el caso de los finos y de las partículas adheridas, o de manera externa, como los elementos con exceso de poros o partículas de diferente expansión térmica.

Los contaminantes químicos se diferencian según actúen directamente sobre la mezcla. Como las impurezas orgánicas; o independientes del aglomerante como los materiales solubles. Frecuentemente los agregados presentan algún grado de contaminación aunque la norma determina el porcentaje máximo admisible.

Los elementos perjudiciales que generalmente se encuentra en los agregados son: los muy finos, que exigen exceso de agua; los recubrimientos que afectan la adherencia; las partículas débiles, inestables o impurezas que actúan sobre la hidratación.

Impurezas orgánicas

En muchos casos los agregados pueden estar contaminados con materias orgánicas, originadas por la descomposición de elementos vegetales, en forma de margas orgánicas. Estas impurezas pueden afectar las reacciones de hidratación, modificando o reduciendo la resistencia.

Partículas livianas

Los materiales con una densidad baja, como el carbón, los materiales fibrosos y la madera, pueden afectar el comportamiento del agregado. Las normas establecen el máximo de partículas livianas permisible, las mismas que son evaluadas mediante separación por suspensión en líquido de alta densidad, Los compuestos utilizados son los siguientes:

¹³ Explora. ¿Qué es el material granular? [0]. nov 13,.

¹⁴MONTENEGRO GAMBINI, JULIO. Elementos contaminantes del agregado. 24/09/2011 <https://civilgeeks.com/2011/09/24/elementos-contaminantes-del-agregado/>

Imagen 6 Compuestos utilizados para ensayo de separación por suspensión

| Reactivo | Densidad |
|-------------------------|----------|
| Tetrabromoetano | 2,97 |
| Benceno | 0,88 |
| Bromoformo | 2,88 |
| Tetracloruro de carbono | 1,58 |
| Monobromobenceno | 1,49 |

La muestra de ensayo varía según el tamaño máximo del agregado dentro de los siguientes rangos:

| Tamaño máximo | Peso en gramos |
|---------------|----------------|
| Arena | 200 |
| 19,00 mm | 3,000 |
| 38,10 mm | 5,000 |
| 76,10 mm | 10,000 |

Fuente. Elementos contaminantes del agregado, Julio Montenegro

Material más fino que la malla n°200

Los materiales finos, constituido por arcilla y limo, se presenta recubriendo el agregado grueso, o mezclado con la arena. En el primer caso, afecta la adherencia del agregado y la pasta; en el segundo, incrementa los requerimientos de agua de mezcla.

Contaminación salina

Cuando el agregado, especialmente la arena, procede de depósitos marinos o de playas o lugares cercanos al mar, puede contener sal, que posteriormente puede causar manchas (eflorescencias) en el concreto o eventualmente corrosión en el acero de refuerzo, al absorber humedad del aire.

Partículas deleznable

Estas partículas son terrones de arcillas que pueden estar presentes en los agregados gruesos, estos pueden afectar de manera perjudicial, y que depende de los agregados, es la presencia de materiales inestables o deleznable, algunos otros materiales son partículas blandas, madera, carbón, lignito o mica, los cuales pueden minar la resistencia del asfalto o su durabilidad, en el caso de estar expuestos a la absorción.

Especificaciones del agregado grueso

El agregado grueso estará libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas y no excederá los límites prescritos a continuación, según el manual de especificaciones técnicas y construcción de parques y escenarios públicos de Bogotá D.C.¹⁵:

Imagen 7 Límites de sustancias perjudiciales en los agregados pétreos

| Materiales | Máximo porcentaje del peso |
|---|----------------------------|
| | Total de la muestra |
| Grumos de arcilla | 0.25 |
| Partículas blandas | 5.00 |
| Material que pasa el tamiz ICONTEC 74 (Tamiz 200) | 1.00 |
| Carbón y lignito | |
| Superficie del concreto a la vista | 0.50 |
| Los demás casos | 1.00 |

Fuente. Manual de especificaciones técnicas de diseño y construcción de parques y escenarios públicos de Bogotá D.C. IDU

Contaminantes de los agregados¹⁶



Fuente. https://4.bp.blogspot.com/-4dutwYmeoHI/V3ieB9_tWHI/AAAAAAAAHsE/3kpOyx5J8JUGb_kVs8QuwHPAn3E2L1BnQCLcB/s1600/gfhhbgfng.png

¹⁵ IDU. Manual de especificaciones técnicas de diseño y construcción de parques y escenarios públicos de Bogotá D.C. Cap.14 (1.7) Agregados

¹⁶ Rosales B. Rosangelica Agregados. <http://rosangelicatecdelconcreto.blogspot.com/2016/04/semana.html>

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500–11

2.1.6 Métodos de trituración de los agregados

En la cantera estudiada, el método de trituración que se conoce es el de cono, por lo que en la siguiente imagen se realiza la comparación con el método de trituración de Martillo¹⁷⁻¹⁸.

Imagen 8 Tipos de trituración de piedra

| TIPOS DE TRITURACION DE LA PIEDRA | |
|---|---|
| TRITURACION POR CONO | TRITURACION POR MARTILLO DE IMPACTO |
|  |  |
|  |  |
| <p>El trabajo es efectuado por el motor a través de correas trapezoidales, poleas, ejes de transmisión, engranaje cónico pequeño, un engranaje cónico grande, rotación de manguito excéntrico, presionando el eje del cono se ve obligado a pasar a la siguiente fase en el balanceo de la manga de rotación excéntrica, haciendo que la superficie de la pared de trituración pase cerca, de manera que el anillo de material compuesto a partir de un cono fijo y el cono dinámico producen la cavidad de trituración constante bajo la presión, exprimido, doblado y partido. Después de repetidas veces apretando, presionando y flexionando, el material es triturado al tamaño de partícula requerido, saliendo por la parte inferior de la descarga.</p> | <p>La trituradora de impacto es una trituradora que usa energía de impacto para aplastar materiales. En funcionamiento, accionado por el motor, el rotor gira a alta velocidad, el material entra en la placa de zonas de martillo, la placa de martillo en la trituradora de impacto del rotor, y luego aplastado se tira de nuevo sobre los medios de contador, en contra de primavera de nuevo y después de la placa área de la placa de martillo volver a triturar, este proceso se repite, el material entra en el uno descendente, dos, tres, contador repetida cámara de trituración, hasta que el material se tritura a un tamaño de partícula deseado, se descarga desde el puerto de descarga. Ajuste la distancia entre el rotor y el contador de tramas se puede lograr el propósito de cambiar el tamaño de partícula de los materiales y la forma material.</p> |

Fuente. Elaboración propia

¹⁷ http://es.greatwallcrusher.com/products/Stone-Crushing-Plant.html?gclid=EAIaIQobChMIrvOlqPG32wIV1FqGCh0Y1wFfEAAAYASAAEgIhA_D_BwE#

¹⁸ http://es.yfcrusher.com/movil_de_trituracion/12.html

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Norma IDU ET-2005¹⁹

Criterio de aceptación de los materiales mezclas asfálticas en caliente densas, semi-densas, gruesas, y de alto módulo.

Los requisitos exigidos por la norma IDU-ET 2005 en la sección 500-11 para avalar la calidad de los materiales son un conjunto de propiedades que buscan garantizar un adecuado desempeño con el tiempo de las estructuras construidas.

La evaluación de los materiales no se centrará en un único parámetro sino en el conjunto de los mismos; por tal motivo, la aprobación de los materiales a ser empleados deberá ser sustentada mediante un informe técnico desarrollado por el especialista de geotecnia y/o pavimentos, donde se consigne cuál será el desempeño de las capas construidas relacionando los resultados obtenidos de la caracterización de los materiales con sus posibles cambios en el proceso de construcción, y la durabilidad y desempeño en el periodo de diseño, proponiendo las estrategias necesarias a nivel constructivo para garantizar el cumplimiento de las exigencias del diseño.

Agregados pétreos y llenante mineral

De acuerdo a la norma IDU-ET 2005 en la sección 500-11, los agregados pétreos empleados para la ejecución de la mezcla asfáltica en caliente deberán poseer una naturaleza tal que, al aplicársele una capa de material asfáltico a utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción combinada del agua y del tránsito. Cuando se empleen agregados con características hidrófilas, se deberá comprobar la adhesividad con el asfalto cumpliendo el requisito de resistencia conservada de la mezcla que se indica en el numeral 510.3.3 de norma IDU-ET 2005 en la sección 500-11, Comprobación de la adhesividad.

En todos los casos, se deberá comprobar la adhesividad entre el agregado pétreo y el ligante asfáltico, caracterizando la mezcla con el contenido óptimo de ligante de acuerdo con el ensayo de tracción indirecta descrito en la norma de ensayo INV E-725-07, para verificar su susceptibilidad al agua.

¹⁹ IDU. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DENSAS, SEMIDENSA, GRUESAS, Y DE ALTO MÓDULO. [0].

Agregado grueso

Según la norma IDU-ET 2005 en la sección 500-11, se denomina agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Dicho agregado deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o deleznales.

Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto o afecten adversamente la durabilidad de la mezcla compactada.

Agregados Pétreos

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

Tipo de tráfico

En la siguiente imagen muestra los tipos de tráfico para el diseño de las mezclas asfálticas según la norma del Instituto de Desarrollo Urbano, especificaciones IDU -ET -2005, “en varias partes se ha establecido una correspondencia entre las exigencias sobre materiales y mezclas y los niveles del tránsito, de acuerdo con la agrupación por categorías mostrada en la tabla”²⁰.

Tabla 2 Clasificación por categoría de tránsito

| Categoría de Tránsito | Nivel de Tránsito | |
|-----------------------|--------------------|---------------------------------|
| | Criterio 1 VPDo | Criterio 2 NAEE_80, millones |
| T0 | VPDo < 20 | NAEE_80 < 0.2 |
| T1 | 20 ≤ VPDo < 50 | 0.2 ≤ NAEE_80 < 0.5 |
| T2 | 50 ≤ VPDo < 150 | 0.5 ≤ NAEE_80 < 1.5 |
| T3 | 150 ≤ VPDo < 300 | 1.5 ≤ NAEE_80 < 3.0 |
| T4 | 300 ≤ VPDo < 750 | 3.0 ≤ NAEE_80 < 7.5 |
| T5 | VPDo ≥ 750 | NAEE_80 ≥ 7.5 |

Fuente. INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO ESPECIFICACIONES IDU-ET-2005. Fecha de actualización 18 de mayo de 2006. Pág 7 y 8.

Donde:

VPDo: es el número de vehículos pesados por día en el carril de diseño, durante el primer año de servicio de las obras, donde vehículos pesados son buses y camiones con peso de 3.5 toneladas o más.

NAEE_80: número acumulado de ejes equivalentes de 80Kn en el periodo de diseño, en el carril de diseño.

²⁰ INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO ESPECIFICACIONES IDU-ET-2005. Fecha de actualización 18 de mayo de 2006

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500–11

2.3 MARCO NORMATIVO

En la tabla 2, se describen los ensayos a tener en cuenta y los requisitos máximos y mínimos que se deben cumplir para la utilización de los agregados gruesos en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente según la Norma IDU Sección 500-11.

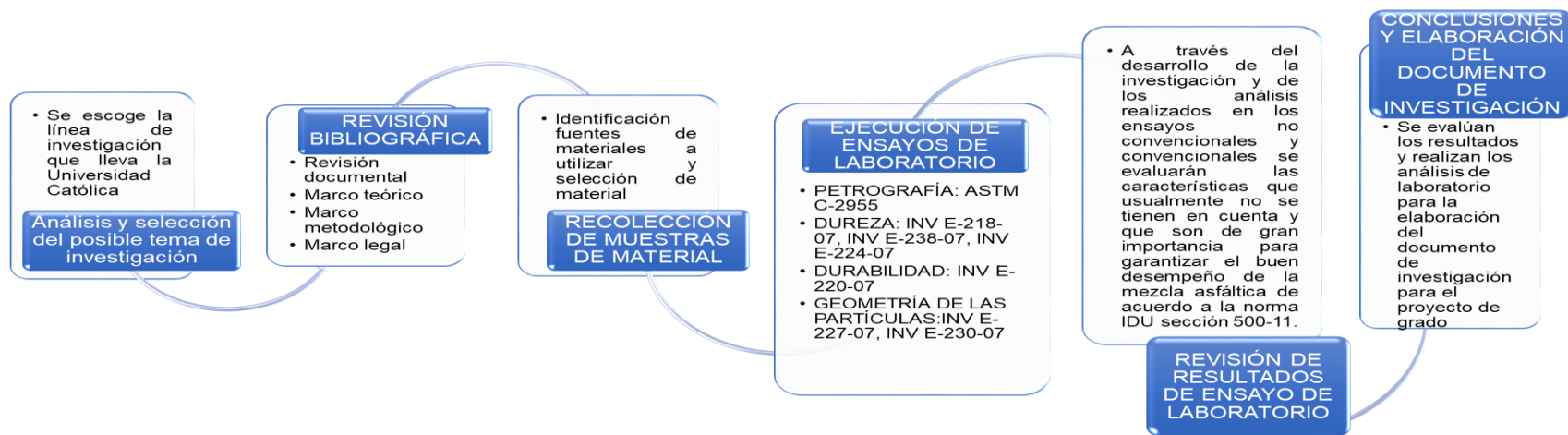
Tabla 3 Requisitos del agregado grueso para mezclas asfálticas

| Ensayo | | Norma de Ensayo | Requisitos por Categoría de Tránsito | | |
|---|--|-----------------|--------------------------------------|-------|-------|
| | | | T0-T1 | T2-T3 | T4-T5 |
| Petrografía | | | | | |
| Análisis petrográfico | | ASTM C-295 | Nota (1) | | |
| Dureza | | | | | |
| Desgaste Los Angeles | En seco, 500 revoluciones, % máximo | INV E-218-07 | 35 | 35 | 30 |
| | - Capas de Base e Intermedias (excepto mezclas de Alto Módulo) | | NA | NA | 25 |
| | - Mezclas de Alto Módulo - Capas de Rodadura | | 30 | 30 | 25 |
| Micro Deval, % máximo | - Capas de Base e Intermedias (excepto mezclas de Alto Módulo) | INV E-238-07 | 30 | 30 | 25 |
| | - Mezclas de Alto Módulo | | NA | NA | 20 |
| | - Capas de Rodadura | | 25 | 25 | 20 |
| 10% de finos | Valor en seco, kN mínimo | INV E-224-07 | 60 | 60 | 75 |
| | - Capas de Base e Intermedias (excepto mezclas de Alto Módulo) | | NA | NA | 110 |
| | - Mezclas de Alto Módulo - Capas de Rodadura | | 75 | 75 | 110 |
| | Relación húmedo/seco, % mínimo | | 75 | 75 | 75 |
| Durabilidad | | | | | |
| Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo | Sulfato de Magnesio | INV E-220-07 | 18 | 18 | 18 |
| Geometría de las Partículas | | | | | |
| Partículas Fracturadas Mecánicamente, % mínimo | - 1 cara | INV E-227-07 | 75 | 75 | 90 |
| | - 2 caras | | 50 | 60 | 75 |
| Índice de Aplanamiento, % máximo | | INV E-230-07 | 25 | 25 | 20 |
| Índice de Alargamiento, % máximo | | INV E-230-07 | 25 | 25 | 20 |
| Resistencia al Pulimento | | | | | |
| Coeficiente de Pulimento Acelerado para capas de rodadura, valor mínimo | | INV E-232-07 | 0.40 | 0.45 | 0.50 |

Fuente. Sección 500-11 Especificación Técnica: Mezclas Asfálticas En Caliente Densas, Semidensa, Gruesas, Y De Alto Módulo

3 METODOLOGÍA

Imagen 9 Metodología actividades de proyecto de investigación



Fuente. Elaboración propia

Esta metodología se basa en los procesos que se requirieron para realizar el trabajo de investigación, primero se realizó un análisis y selección del tema de proyecto, luego se realiza una revisión bibliográfica de los proyectos y temas en los que se relacione el trabajo de investigación. Para realizar la investigación del tema, se recolecta el material y se realizan los respectivos ensayos de laboratorio, luego se analizan los resultados para finalmente realizar las conclusiones, recomendaciones y organizar el trabajo para ser presentado.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para los ensayos se escogió una muestra de agregado grueso de tamaños $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " de una cantera de Villavicencio. Teniendo en cuenta que la norma IDU sección 500-11 exige los requisitos por categoría de tránsito, T0-T1, T2-T3 y T4-T5, el Proyecto está enfocado al tránsito más crítico, es decir al T4-T5 para la comparación de los resultados.

4.1 ENSAYO NO CONVENCIONAL

4.1.1 Petrografía

Ensayo realizado bajo la norma ASTM C295 mediante análisis macroscópico (los tamices $\frac{3}{4}$ al #4) y microscópico (tamiz #10) de una muestra de gravas de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " de una cantera de Villavicencio.

De acuerdo al ensayo entregado por NRBMICROMATICO S.A.S., se observa que:

- cerca del 91% de la muestra corresponde a un material de composición ácida.
- la muestra está constituida por agregados de origen metamórfico y sedimentario.
- Los agregados tienden a presentar una forma muy angular a sub-redondeada y de sub-prismoidal a prismoidal.
- Solo el 1.3% de los agregados presenta porosidad y la presencia de fracturas y micro-fracturas se estima $> 1\%$
- El 44% de los agregados analizados presenta algún nivel de alteración.
- No se observa presencia de algún material contaminante
- En general los agregados son compactos, poco porosos y poco frescos.
- No se encuentran porcentajes significativos de partículas que pudieran romperse con facilidad durante la compactación o después bajo la acción del tráfico.

4.2 ENSAYOS CONVENCIONALES

En la tabla cuadro se presenta el cuadro resumen de los ensayos convencionales realizados en el laboratorio entre el 10 al 15 de diciembre del 2017 para la comparación de los resultados con los requeridos por la norma IDU sección 500-11

Tabla 4. Cuadro resumen – caracterización material grueso agregado grueso enfoque normativo sección 500-IDU-ET-11

| REQUISITOS DEL AGREGADO GRUESO PARA MEZCLAS ASFLATICAS EN CALIENTE Vs. RESULTADOS OBTENIDOS | | | | |
|---|--|--------------------------------------|-----------|------|
| Ensayo | Norma de Ensayo | Requisitos por Categoría de Tránsito | | |
| | | T4-T5 | | |
| | | Norma | Resultado | |
| Petrografía | | | | |
| Análisis petrográfico | ASTM C-295 | Nota (1) | | |
| Dureza | | | | |
| Desgasta de los ángulos | <u>En seco, 500 revoluciones, % máximo</u> | INV E-218-07 | | |
| | * Capas de Base e intermedias (excepto mezclas de Alto Módulo) | | | |
| | * Mezclas de Alto Módulo | | 25 | 17,6 |
| | * Capas de Rodadura | | | |
| Micro Deval % máximo | * Capas de Base e intermedias (excepto mezclas de Alto Módulo) | INV E-238-07 | | |
| | * Mezclas de Alto Módulo | | 20 | 18,4 |
| | * Capas de Rodadura | | | |
| 10% de finos | <u>Valor en seco, KN mínimo</u> | INV E-224-07 | | |
| | * Capas de Base e intermedias (excepto mezclas de Alto Módulo) | | | |
| | * Mezclas de Alto Módulo | | 110 | 273 |
| | * Capas de Rodadura | | | |
| | Relación humedad/seco, % mínimo | | 75 | 77 |
| Durabilidad | | | | |
| Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos % máximo | Sulfato de Magnesio | INV E-220-07 | 18 | 8 |
| Geometría de las partículas | | | | |
| Partículas fracturadas mecánicamente, % mínimo | * 1 Cara | INV E-227-07 | 90 | 98,6 |
| | * 2 caras | | 75 | 91,7 |
| Indice de Aplanamiento, % máximo | | INV E-230-07 | 20 | 16 |
| Indice de Alargamiento, % máximo | | INV E-230-07 | 20 | 22 |
| <p>Nota (1): En este análisis se deben describir y clasificar los constituyentes de la muestra de agregado, y determinar sus cantidades relativas, identificar tipos y variedades de rocas, la presencia de minerales química y volumétricamente inestables o reactivos, grado de meteorización o alteración, nivel de porosidad y posible presencia de contaminantes en los agregados presentándolo en porcentajes. Se debe establecer un concepto sobre la forma de adherencia posible del asfalto con el agregado en relación a la acidez de los materiales y el tipo de asfalto a usar.</p> | | | | |

Fuente. Elaboración propia

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500-11

4.2.1 Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½") por medio de la máquina de los ángeles INV E-218-07

- Desgaste por abrasión
- Ensayo practicado en seco a 500 revoluciones por minuto

Tipo de muestra, grava triturada y seleccionada de tamaño máximo nominal ($\frac{3}{4}$ " - $\frac{1}{2}$ "') encontrándose un porcentaje de pérdida del 17.6% según ensayo de laboratorio realizado por laboratorio de ingeniería y ensayo SA el 12 de diciembre de 2017, que comparado con la norma IDU sección 500-11 (25% máximo), el material en estudio estaría cumpliendo con los porcentajes máximos exigidos por la norma.

4.2.2 Determinación de la resistencia del agregado grueso al desgaste por abrasión utilizando el aparato Micro-Deval INV E238-07

- Desgaste por abrasión
- Ensayo practicado sumergido a 100 RPM

Tipo de muestra, grava triturada y seleccionada de tamaño máximo nominal ($\frac{3}{4}$ " - $\frac{1}{2}$ "') encontrándose un porcentaje de pérdida del 18.4% según ensayo de laboratorio realizado por laboratorio de ingeniería y ensayo SA el 14 de Diciembre de 2017, que comparado con la norma IDU sección 500-11 (20% máximo), el material en estudio estaría cumpliendo con los porcentajes máximos exigidos por la norma.

4.2.3 Resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método del 10% de finos INV E-224-07

- Fuerza requerida para la obtención de 10% de finos
- Ensayo practicado en seco 273 (KN)
- Ensayo practicado en húmedo 209 (KN)
- Relación de la muestra en seco y húmedo

Con lo anterior la relación húmedo/seco obtenida es del 77% según ensayo de laboratorio realizado por laboratorio de ingeniería y ensayo SA el 13 de Diciembre de 2017, que comparado con la norma IDU sección 500-11 (75% mínimo), el material en estudio estaría cumpliendo con los porcentajes mínimos exigidos por la norma.

4.2.4 Solidez frente a la acción de la solución de sulfato de Sodio o de Magnesio INV E-220-07

- La solución utilizada es sulfato de Magnesio con una densidad de 1,302 y en 5 ciclos.
- Grava triturada y seleccionada de tamaño máximo nominal ($\frac{3}{4}$ " - $\frac{1}{2}$ "')

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500-11

Encontrándose una pérdida media de la fracción gruesa del 8%, según ensayo de laboratorio realizado por laboratorio de ingeniería y ensayo SA el 10 de Diciembre de 2017, que comparado con la norma IDU sección 500-11 (18% máximo), el material en estudio estaría cumpliendo con los porcentajes máximos exigidos por la norma.

4.2.5 Porcentaje de caras fracturadas en los agregados INV E-227-07

- Caras fracturadas, una cara y dos caras
- Índice de aplanamiento e índice de alargamiento

En el ensayo de una cara fracturada da como resultado un porcentaje de 98.6% al compararlo con la norma que da (90% mínimo) En el caso de dos caras, el resultado es de (91,7%) a lo que la norma exige (75% mínimo) Tipo de muestra, grava triturada y seleccionada de tamaño máximo nominal ($\frac{3}{4}''$ - $\frac{1}{2}''$) según ensayo de laboratorio realizado por laboratorio de ingeniería y ensayo SA el 11 de Diciembre de 2017, que comparado con los resultados de la norma IDU sección 500-11, el material en estudio estaría cumpliendo con los porcentajes máximos y mínimos exigidos por la norma.

4.2.6 Índice de Aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras.

- Ensayo de tipo visual

Tipo de muestra, grava triturada y seleccionada de tamaño máximo nominal ($\frac{3}{4}''$ - $\frac{1}{2}''$) encontrándose un porcentaje de aplanamiento del 16% según ensayo de laboratorio realizado por laboratorio de ingeniería y ensayo SA el 13 de diciembre de 2017, que comparado con la norma IDU sección 500-11 (20% máximo), el material en estudio estaría cumpliendo con los porcentajes máximos exigidos por la norma.

Tipo de muestra, grava triturada y seleccionada de tamaño máximo nominal ($\frac{3}{4}''$ - $\frac{1}{2}''$) encontrándose un porcentaje de alargamiento del 22% según ensayo de laboratorio realizado por laboratorio de ingeniería y ensayo SA el 13 de diciembre de 2017, que comparado con la norma IDU sección 500-11 (20% máximo), el material en estudio estaría por fuera del porcentaje máximo exigido por la norma.

4.2.7 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos INV E-213-13

Ensayo realizado el 11 de Diciembre de 2017

Para el resultado de la muestra del material de $\frac{3}{4}''$ se obtiene:

- Para una muestra de 5594,3 gr el peso del material retenido en el tamiz #4 es de 5557,9 g, el material que pasa el tamiz #4 es de 36,4 gr dando como resultado un porcentaje de agregado grueso del 99,3% y de agregado fino del 0.3%.

Para el resultado de la muestra del material de $\frac{1}{2}''$ se obtiene:

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500-11

- A una muestra de 2907,9 gr el peso del material retenido en el tamiz #4 es de 2861,5 gr, el material que pasa el tamiz #4 es de 46,4 gr dando como resultado un porcentaje de agregado grueso del 98,4% y de agregado fino del 1.1%.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez obtenidos todos los resultados de los ensayos del laboratorio exigidos por la norma IDU sección 500-11 para mezclas asfálticas en caliente practicados entre diciembre de 2017 y abril de 2018, en general se puede concluir lo siguiente con respecto a la muestra analizada:

- El material es apto para utilizarse en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente ya que tanto el desgaste por abrasión, la resistencia tanto a las cargas como al ataque de sulfatos, está dentro de los rangos establecidos por la norma.
- Todos los ensayos practicados a la muestra del material cumplen excepto el ensayo de índice de alargamiento que se encontró dos puntos por encima del porcentaje máximo exigido por la norma, concluyendo que es debido al sistema de trituración utilizado por la cantera (trituración por cono), que da una forma alargada al granular, existiendo una solución para disminuir este índice de alargamiento, que consiste en implementar en la cantera un sistema de trituración terciaria por martillo de impacto ya que si no se hace dicha corrección, generaría un efecto puente entre el esqueleto mineral de la capa de rodadura, con una futura afectación a la mezcla, la cual se empezaría a deteriorar al presentarse la fractura de estas partículas alargadas provocando su desempeño intragranular.
- Según la petrografía cerca del 91% corresponde a material de composición ácida, lo cual generan un buen comportamiento de adherencia con asfaltos de naturaleza catiónica y un mal comportamiento con los asfaltos de naturaleza aniónica. Por lo anterior se recomienda preparar mezclas de prueba y realizar ensayos de laboratorio de adherencia en bandeja para agregados gruesos y/o adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos.
- Es recomendable si el asfalto a usar es de tipo aniónico entonces se deben preparar mezclas de prueba con activantes (sustancias que tienen la misión específica de mejorará la adhesividad con los ligantes).
- Se recomienda usar un promotor de adherencia en el cemento asfáltico a utilizarse, y para saber el % de este promotor se deben hacer ensayos de laboratorio.
- Las mezclas asfálticas se deben hacer con agregados angulares y fracturados obtenidos principalmente de trituración, para hacer que la mezcla asfáltica sea más estable y tengan una mejor trabajabilidad, lo que las hacen menos susceptibles a la deformación y al ahuellamiento; por lo cual las características en dureza, fracturación y angularidad hacen muy favorable el empleo de este tipo de agregado grueso combinado con una arena también proveniente de trituración y su posterior utilización junto con el cemento asfáltico en capas intermedias, base o rodadura en una estructura de pavimento flexible.

BIBLIOGRAFÍA

- SALDAS BARRENECHE, Carmenza. Las ciudades y regiones, la realidad territorial del desarrollo. En: REVISTA DE INGENIERA. no. 29, p. 82-95
- GONZALEZ GONZALEZ, David Orlando, et al. Análisis mineralógico, químico y porosimétrico de agregados pétreos para posterior uso en mezclas asfálticas.
- Licker, M. D. (ed.) (2003). Dictionary of Earth Science. New York: McGraw-Hill.
- Definición. de. concepto de petrografía.
- BELTRÁN, G. Técnicas de microscopía y petrografía para caracterizar materiales de carreteras. 2011.
- RONDÓN, H. A.; REYES, F. A. Ahuellamiento y fatiga en mezclas asfálticas. 2012.
- ALVAREZ LUGO, Alex E.; MERCADO, Edith Armbula and CARO SPINEL, Silvia. Tomografía computarizada con Rayos-X y sistema de imágenes de agregados (AIMS) para el estudio de mezclas asfálticas y agregados. En: INGENIERA E INVESTIGACION. vol. 28, no. 2, p. 142-151
- INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO. Especificaciones IDU-ET-2005. [En línea]. Disponible en Internet: <http://www.idu.gov.co/web/guest/tramites_doc_especificacion>. [Citado: 14, jul., 2012].
- Explora. ¿Qué es el material granular?. nov 13.
- IDU. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DENSAS, SEMIDENSA, GRUESAS, Y DE ALTO MÓDULO.
- DELGADO ALAMILLA, Horacio, et al. Influencia de la granulometría en las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica. En: PUBLICACION TECNICA. no. 299, México D.F.: IMT
- Rippstein, G., Escobar, G., & Motta, F. M. (2001). Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia (No. 322). Ciat
- INGEGAR INGENIERÍA E.U., Informe final estudio de suelos proyecto urbanización La Madrid Villavicencio – Meta. Mayo 2010
- PULIDO GONZALEZ, Orlando. GÓMEZ VILLALBA, Luz Stella. Geología de la plancha 266 Villavicencio escala 1:100.000. Memoria explícita, Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear IGEOMINAS 2001.
- INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO ESPECIFICACIONES IDU-ET-2005. Fecha de actualización 18 de mayo de 2006

APÉNDICES

Tabla 5 Cuadro comparativa Resultados de laboratorio convencionales y no convencionales.

| CUADRO COMPARATIVO RESULTADOS DE LABORATORIO | | | | | | |
|--|---|--------------------------------------|---|---------------------------|-------------|----------------|
| FUENTE | | RIO GUAYURIBA | | | | |
| LABORATORIO | | LABORATORIO DE INGENIERIA Y ENSAYOS | | | | |
| FECHA DE RECEPCION | | DICIEMBRE 9 DE 2017 | | | | |
| FECHA DE ENSAYO | | DICIEMBRE 13 DE 2017 | | | | |
| ITEM | TIPO DE ENSAYO | TIPO DE MUESTRA | OBJETO | NORMA | MUESTRA No. | INFORME |
| 1 | RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS AGREGADOS GRUESOS POR EL MÉTODO DEL 10% DE FINOS | GRAVA TRITURADA SELECCIONADA DE 1/2" | Y Evaluar la resistencia mecánica de un agregado grueso a la trituración al ser sometido a esfuerzo de compresión, determinando la carga necesaria, para producir en el agregado grueso, un 10% de finos, que son constituidos por el material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No 8), después de ser sometido a esta prueba. | INV E-224/07 | 3 258-15 | 8-15 |
| 2 | SOLIDÉZ FRENTE A LA ACCIÓN DE LA SOLUCION DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO | GRAVA TRITURADA SELECCIONADA DE 1/2" | Y Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir, para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguido de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables. La fuerza de expansión interna derivada de la rehidratación de la sal después de reinmersión simula la expansión del agua por congelamiento | INV E-220/07 | 3 258-14 | SOL 0 012-15 |
| 3 | DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO AL DESGASTE POR ABRASIÓN UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL | GRAVA TRITURADA SELECCIONADA DE 1/2" | Y Esta norma describe la forma de medir la resistencia a la abrasión de una muestra de agregado grueso. | INV E-238/07 | 3 258-14 | MDV 0 011-15 |
| 4 | RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1½") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES | GRAVA TRITURADA SELECCIONADA DE 1/2" | Y 1. Este método se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles. 2. El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva. | INV E-218/07 INV E-219/07 | 3 258-15 | DES 0 007-15 |
| 5 | PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS | GRAVA TRITURADA SELECCIONADA DE 1/2" | Y Esta norma describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en masa o por conteo de una muestra de agregado grueso compuesta por partículas fracturadas que cumplen con los requisitos específicos. | INV E-227/07 | 3 258-14 | CFRA 0 009-15 |
| 6 | INDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS | GRAVA TRITURADA SELECCIONADA DE 1/2" | Y Esta norma describe el procedimiento que se deben seguir, para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los agregados que se van a emplear en la construcción de carreteras. | INV E-230/07 | 3 258-15 | ALA 0 001-15 |
| 7 | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS | GRAVA TRITURADA SELECCIONADA DE 3/4" | Y Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. Este método también se puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda, y no se empleará para agregados recuperados de mezclas asfálticas. | INV E-213/07 INV E-214/07 | 3 258-14 | DIS GRA 036-17 |
| 8 | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS | GRAVA TRITURADA SELECCIONADA DE 1/2" | Y Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. Este método también se puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda, y no se empleará para agregados recuperados de mezclas asfálticas. | INV E-213/07 INV E-214/07 | 3 258-14 | DIS GRA 036-17 |
| 9 | ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE AGREGADOS | GRAVA TRITURADA SELECCIONADA DE 1/2" | Y Este análisis permite describir y clasificar los constituyentes de la muestra, determinar sus cantidades relativas, identificar tipos y variedades de rocas, contenido de minerales inestables o reactivos química y volumétricamente, grado de meteorización, nivel de porosidad y posible presencia de contaminantes en los agregados. | ASTM C-295 | | |

Fuente: Elaboración propia

REGISTRO FOTOGRAFICO – TOMA DE MUESTRAS CANTERA



Foto No. 1: Panorámica, cantera con material del piedemonte llanero



Foto No. 2: Panorámica, cantera con material del piedemonte llanero



Foto No. 3: Tipos de material



Foto No. 4: Grava de 3/4"

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500–11



Foto No. 5: Grava de ½"



Foto No. 6: Recolección del material



Foto No. 7: Grava de ¾" enlonada



Foto No. 8: Grava de ½" enlonada

Caracterización mineralógica, porosimétrica, microestructural y con ensayos convencionales de agregados pétreos gruesos de una cantera del piedemonte llanero colombiano según norma IDU sección 500–11

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de ensayos Convencionales

Anexo 2. Resultados de ensayos de petrografía