CARACTERIZACIÓN FÍSICO MECÁNICA DEL AGREGADO PÉTREO DE LA CANTERA BALASTRERA PALERMO PARA SU USO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

ANLLY PAOLA OTAYA CHAVES

SEBASTIAN CRUZ ORDOÑEZ



PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

MOCOA

FEBRERO, 2024

CARACTERIZACIÓN FÍSICO MECÁNICA DEL AGREGADO PÉTREO DE LA CANTERA BALASTRERA PALERMO PARA SU USO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

ANLLY PAOLA OTAYA CHAVES

SEBASTIAN CRUZ ORDOÑEZ

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Asesor

PEDRO ANDRÉS VERDUGO DAZA

Ingeniero Civil, Especialista en Geotecnia

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

MOCOA

FEBRERO, 2024

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada con mucho amor a mi madre Sandra Lucia Chaves, que desde el cielo me guía y me cuida, a mi abuela Mercedes Leonor Arévalo por sus oraciones y consejos, a mi hermana Hannah Celeste Velásquez que con su existencia me regalo el valor necesario para luchar por este sueño, a mi hija Dulce Violeta Moya y a mi esposo William Andrés Moya, ya que fueron personas especiales e importantes para culminar este proyecto.

Dedico esta tesis a mis padres, Jairo Cruz Parra y Leonor Ordoñez por su comprensión, voluntad, amor y paciencia, a mis abuelos, Exequiel Ordoñez y Yolanda Portilla por sus suplicas a Dios y buenos consejos y a mi hermano Nicolas Cruz Ordoñez por el apoyo moral e incondicional.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Tecnológico del Putumayo por haber sido nuestra casa de estudio y haber permitido que nos formemos como buenos profesionales, especial agradecimiento a nuestro asesor Pedro Andrés Verdugo, por orientarnos siempre.

Agradecemos a nuestros amigos, y demás familiares que nos apoyaron durante todo este proceso.

Línea Investigativa

El presente proyecto de grado refiere a el área de ingeniería, urbanismo, arquitectura y afines, cuyo núcleo es la ingeniería civil y afines con línea investigativa en transformación del territorio y desarrollo regional y sostenible, de la cual se deriva la sub línea en materiales de construcción.

Resumen

El agregado grueso o también llamado grava usado en la mezcla para concretos es un insumo relevante para obtener un funcionamiento y calidad adecuada, por lo que es atractivo realizar una investigación enfatizada en la grava suministrada por la cantera *BALASTRERA PALERMO* para que el funcionamiento y la calidad sea la apropiada en el momento de realizar la mezcla, así mismo que sea eficaz al ser empleado en los concretos de la industria de la construcción.

Esta investigación tiene variables cuantitativas y cualitativas ya que para llevar a cabo este análisis se hicieron laboratorios sobre la gravedad especifica de los sólidos, ensayos de humedad, granulometría, partículas deleznables, caras fracturadas, partículas alargadas, partículas planas, ensayo de abrasión, gravedad y densidad; arrojando tanto valores numéricos como observaciones o cualidades de los comportamientos que tiene la muestra ante las diferentes estancias a las que fueron expuestas las muestras.

Una vez se realizó los laboratorios anteriormente mencionados, se llevó a cabo una revisión de los porcentajes o datos arrojados por los ensayos con el objetivo de comprobar si este material cumple o no cumple con lo exigido en la normativa para la realización de concretos y así aportar la investigación a la cantera para generar su certificado de aprovechamiento en un futuro.

Palabras clave: *caracterización, agregado grueso, calidad del material, concreto, cantera.*

Abstract

The coarse aggregate or also called gravel used in the concrete mix is a relevant input to obtain adequate performance and quality, so it is attractive to carry out an investigation focused on the gravel supplied by the BALASTRERA PALERMO quarry so that the performance and quality is appropriate when mixing and using concrete in the construction industry.

This research has quantitative and qualitative variables since to carry out this analysis, laboratories were carried out on the specific gravity of the solids, humidity tests, granulometry, calcium carbonate content, among others, yielding both numerical values and observations or qualities of the solids. behaviors that the sample has before the different laboratories carried out.

Once the aforementioned laboratories were carried out, a review of the percentages or data obtained by the laboratory tests was carried out with the objective of verifying whether or not this material complies with the requirements of the regulations for the creation of concrete and thus contribute research to the quarry to generate its utilization certificate in the future.

Keywords: *characterization, coarse aggregate, material quality, concrete, quarry.*

Índice

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 11

Problema a resolver 11

Antecedentes del problema 12

Pregunta de investigación 13

JUSTIFICACIÓN 13

OBJETIVOS 14

Objetivo General 14

Objetivos Específicos 14

MARCO DE REFERENCIA 15

MARCO TEÓRICO 15

MARCO CONCEPTUAL 20

MARCO CONTEXTUAL 21

MARCO GEOGRÁFICO 21

MARCO LEGAL .....

METODOLOGÍA 27

Enfoque mixto 27

Método 27

Técnicas 27

Fase preliminar 28

Fase de campo e identificación 28

Fase de caracterización 42

Fase de elaboración del documento final 48

ANÁLISIS DE RESULTADOS 49

CONCLUSIONES 68

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70

ANEXOS 72

Índice Tablas

Tabla 1 *Peso de las muestras analizadas.* *49*
Tabla 2 *Contenido total de agua evaporable* *50*
Tabla 3 *Granulometría* *51*
Tabla 4 *Partículas Deleznables* *52*
Tabla 5 *Porcentaje de partículas fracturadas* *53*
Tabla 6 *Índice de Alargamiento* *56*
Tabla 7 *Índice de Aplanamiento* *57*
Tabla 8 *Resistencia a la degradación* *59*
Tabla 9 *Resultados de Densidad, Densidad Relativa y Absorción* *60*
Tabla 10 *Resumen de abreviaciones* *60*
Tabla 11 *Comparación de Resistencias* *66*
Tabla 12 *Caracterización de la muestra estudiada.* *67*

Índice de Figuras

Figura 1 *Pila de material ubada en la balastrera. 29*
Figura 2 *Mezclado del material extraído de la pila..... 29*
Figura 3 *Material cuarteado..... 30*
Figura 4 *Material para llevar al laboratorio..... 30*
Figura 5 *Material ingresado al horno. 31*
Figura 6 *Lavado del material..... 32*
Figura 7 *Material limpio..... 33*
Figura 8 *Muestra de ensayo Caras fracturadas. 34*
Figura 9 *Muestra de ensayo Caras fracturadas. 34*
Figura 10 *Muestra de ensayo Caras fracturadas. 35*
Figura 11 *Muestra de ensayo Caras fracturadas. 35*
Figura 12 *Máquina de los ángeles..... 36*
Figura 13 *Parte interna de la máquina de los ángeles con la muestra y las esferas. 37*
Figura 14 *Control de mando de la máquina de los ángeles. 37*
Figura 15 *Muestra salida de la máquina de los ángeles. 38*
Figura 16 *Muestra lista para proceder al lavado..... 38*
Figura 17 *Muestra lavada..... 39*
Figura 18 *Equipo realizado por los investigadores..... 40*
Figura 19 *Medición de la Temperatura del Agua..... 40*
Figura 20 *Secado parcial de la Muestra..... 41*
Figura 21 *Muestra parcialmente seca. 41*

Índice de imágenes

Imagen 1 *Mezclado de los materiales* *43*
Imagen 2 *Ensayo de cono de Slump* *43*
Imagen 3 *Elaboración de Vigas.* *44*
Imagen 4 *Desencofrado de vigas* *44*
Imagen 5 *Ensayo a flexión de viga cuya edad es de siete (7) días* *45*
Imagen 6 *Resultado suministrado por la máquina universal* *45*
Imagen 7 *Resultado fractura de viga* *46*
Imagen 8 *Ensayo a flexión de viga cuya edad es de catorce (14) días.* *46*
Imagen 9 *Ensayo a flexión de viga cuya edad es de veintiocho (28) días* *47*
Imagen 10 *Resultado suministrado por la maquina universal* *47*
Imagen 11 *Resultado fractura de viga a los 28 días de edad.* *48*
Imagen 12 *Resultados estadísticos Infostat* *63*
Imagen 13 *Diseño de mezcla* *64*
Imagen 14 *Diseño de mezcla* *65*
Imagen 15 *Resultados de laboratorio vigas Concreinsa* *66*

Índice de gráficas

Grafica 1 *Contenido total de agua evaporable* *50*
Grafica 2 *Partículas Deleznables.* *52*
Grafica 3 *Partículas con una (1) cara Fracturada.* *54*
Grafica 4 *Partículas con dos (2) o más caras Fracturadas.* *54*
Grafica 5 *Índice de Alargamiento* *56*
Grafica 6 *Índice de Aplanamiento* *58*
Grafica 7 *Resistencia a la degradación* *59*
Grafica 8 *Densidad Relativa* *61*
Grafica 9 *Densidad* *61*
Grafica 10 *Absorción* *62*

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 *Mapa de Colombia* *22*
Ilustración 2 *Mapa de Putumayo* *23*
Ilustración 3 *Ubicación geográfica global Cantera Balastera Palermo.* *23*
Ilustración 4 *Ubicación satelital especifica Cantera Balastera Palermo.* *24*

Índice de anexos

Anexo 1. Memoria de cálculo elaborada en software Excel

Anexo 2. Diseño de mezcla por concreinsa.

Anexo 3. Resultado de ensayo a flexión de vigas para comparación

INTRODUCCIÓN

La construcción de obras civiles se ha caracterizado por ser una de las industrias más grandes en el mundo, pues gracias a ella se ven reflejados los avances sociales los cuales están plasmados en obras como vías, infraestructuras, puentes, acueductos y demás creaciones que además de necesitar de un personal idóneo para llevarse a cabo también es necesario el uso de materiales de excelente calidad.

En Mocoa, el uso del concreto se ha incrementado en grandes proporciones, generando una alta demanda en los materiales que lo componen como es el cemento, triturado y arena. creando una necesidad sobre los agregados en la utilización de los concretos. Por lo anterior nace la necesidad de estudiar las propiedades físicas y mecánicas en este caso de los agregados gruesos o también llamado grava proveniente de la cantera *BALASTRERA PALERMO* para generar un concreto de buena calidad y así brindar seguridad al momento de disponerlo.

En este orden de ideas, esta caracterización permite verificar si el material que brinda la cantera BALASTRERA PALERMO y que está siendo utilizado en las obras civiles en la Capital del Putumayo, cumple con las especificaciones que exige la normativa INVIAS y ASTM con el objetivo de brindar funcionamiento, seguridad y calidad en obras de ingeniería.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Problema a resolver

El material grueso tiene distintos usos; entre ellos está el aporte de la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto. Este material, es explotado de manera industrial y artesanal, extraído de las cuencas que por su pendiente se transportan hacia la parte baja, donde posteriormente se acumula y permite ser extraído.

Para la elaboración del concreto hidráulico empleado en la pavimentación uno de los componentes necesarios y esenciales es el triturado, debido a esto surge la necesidad de verificar la calidad del material que suministra la *CANTERA BALASTERA* Palermo a través de la caracterización físico-mecánica, con el fin de generar una mayor seguridad al momento de ser empleado.

Antecedentes del problema

De acuerdo a la alta demanda del concreto en el municipio de Mocoa se busca una alternativa con la que se elabora un concreto de excelente calidad por lo cual en esta investigación se examinó el agregado grueso o también llamado triturado que la Cantera *BALASTERA PALERMO* suministra en el municipio para las diferentes obras con el fin de determinar cuáles son las características físicas y mecánicas para determinar si este material puede ser o no empleado en la construcción de obras civiles.

Por lo anterior, se considera importante hacer una revisión de los antecedentes involucrados frente a la problemática sobre la calidad del material grueso, encontrando las siguientes investigaciones o estudios relacionados con la temática en mención.

La grava es un material que propiamente sale de rocas de tamaño más grande, pues normalmente la grava es conocida como “Piedra partida” ya que se obtiene de procesos con maquinaria para su obtención ya que para considerarla como grava debe tener un tamaño que oscila entre 2 y 64 mm, es importante mencionar que esta hace parte de los ingredientes importantes para formar el concreto en la formación de obras civiles.

Pregunta de investigación

¿Las características físicas, y mecánicas del material grueso, proveniente de la cantera *Balastrera Palermo* son las idóneas para ser empleado en la fabricación del concreto de diferentes módulos de rotura?

JUSTIFICACIÓN

Esta investigación es pertinente disciplinariamente para la Ingeniera Civil, debido a que se encuentra direccionada en la caracterización del material grueso, considerando las particularidades de sus funciones en el ámbito ingenieril actualmente. Dicho estudio permite dar cuenta de las condiciones y aptitudes que tiene el material suministrado, dado que los actuales procesos de construcción se han enfocado en avanzar en los determinados contratos y darle cumplimiento a los mismos.

Por lo anterior, la siguiente tesis está dirigida a la interpretación y análisis del comportamiento de los agregados gruesos frente a los diferentes estudios de laboratorio que se realizaron en el municipio de Mocoa.

La razón principal para realizar esta investigación es verificar si el material aportado por la cantera *Balastera Palermo* es el adecuado para ser implementado en la elaboración de concretos hidráulicos.

OBJETIVOS

Objetivo General

Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso proveniente de la cantera BALASTRERA PALERMO para verificar su inclusión en la industria de la construcción.

Objetivos Específicos

- ✓ Definir las propiedades físicas y mecánicas del material.
- ✓ Analizar los resultados para concluir su correcta utilización en pavimentos hidráulicos del Municipio de Mocoa Putumayo.
- ✓ Comparar la resistencia de un diseño de mezcla empleando el agrado grueso suministrado por la cantera *BALASTRERA PALERMO*, con un diseño de mezcla ya realizada para una determinada obra, así obteniendo un resultado favorable o desfavorable con respecto a su resistencia.

MARCO DE REFERENCIA

MARCO TEÓRICO

Internacional. En ese sentido, un estudio publicado en Madrid, según Gonzales de Vallejo, L (2002) menciona que las rocas son agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes, que habitualmente se consideran un sistema continuo. La proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica (p.31)

Por lo anterior las características de los agregados para un concreto, es de suma relevancia ya que incide directamente en la calidad del producto final como es el concreto, según Navarrete y Guzmán (2013)

La roca ha sido un elemento necesario en la ejecución de obras civiles, las cuales se sostienen o dependen de una superestructura y cimientos; que transmiten cargas directamente al suelo, para llevar a cabo lo anterior es vital conocer las propiedades de los materiales que se usaran ya que estas están fuertemente relacionadas con el suelo, así que tal conocimiento es crucial para cualquier construcción. (p.134).

Para la caracterización de un material se debe emplear diferentes ensayos, tanto In-situ como en laboratorio, pues según López, Gómez y Jiménez (2016) en su investigación sobre la grava de Lima, hacen referencia a los ensayos para determinar las características del material grueso son el ensayo al corte, deformabilidad dentro de este ensayo de obtuvo los datos presiometricos, velocidad de ondas de corte, la relación entre el módulo de corte máximo y modulo corte estático para la grava de Lima y una curva de degradación del módulo de corte.

El conocer las propiedades físico – mecánicas de los materiales lleva a optimizar los diseños de mezcla a emplear, según Reategui y Zavaleta (2020) en su investigación sobre caracterización

de agregados en la provincia de Tacna, Perú, refieren que es primordial estudiar la calidad de los agregados que se usan en la industria de la construcción para fabricar concreto, debido a que hacen parte de un volumen significativo del mismo, por lo cual concluyen que si estos son de buena calidad entonces darán lugar a un concreto de resistencia estable, influirán en su durabilidad y además en su economía. (p.6).

Pacheco y Castillo (2017) en su tesis sobre las características de los agregados de las canteras, concluyen que: el análisis de las propiedades físicas de los agregados se elaboró de acuerdo con la norma ASTM C-33 o NTP.400.037, y que el agregado forma parte importante del producto final, refieren que participa con tres cuartas partes del volumen total del concreto por lo cual su calidad y propiedades contribuyen en el desempeño del concreto. (p.151)

Según Reategui y Zavaleta (2020) en su investigación comentan que: los agregados para concreto deben estar formados con partículas compactas, de gran dureza, además es importante que este material tena una determinada textura, forma y granulometría adecuada. Los agregados por lo general tienen una combinación de limos, arcillas, humus y otras materias orgánicas. También, su forma puede variar, ya que, puede ser alargada o plana. Por lo anterior las partículas o sustancias defectuosas pueden restar calidad y resistencia al concreto. (p.7)

Por otro lado, las características y componentes de los agregados con los que se elabora finalmente el concreto son importantes pues según Mamani y Salinas (2015) en su tesis investigativa refieren que: la caracterización es un tema de suma importancia ya que permite conoces y estudiar las propiedades físicas y mecánicas, de los agregados de la cantera Arunta, y establecer si estos agregados son aptos para la elaboración de un concreto de buena calidad, ya que la calidad de estos influye directamente en la resistencia a la compresión del concreto. (p.35).

Mendoza (2008) en su investigación sobre la evaluación de la calidad de agregados para concreto en el Departamento de Totonicapán, Guatemala, afirma que: uno de los importantes ensayos que se realizó para analizar los agregados gruesos fue el ensayo de desgaste, empleando la máquina de los Ángeles, donde se obtuvo un resultado del 20%, la norma establece que no debe ser mayor al 50% por lo que este resultado resulta favorable, además se realizó el ensayo químico sobre la bondad de los agregados por el uso de sulfato de magnesio se alcanzó un resultado entre 1.55% y 2.57% del agregado grueso, lo cual es aceptable, ya que la norma dicta que el límite es del 15%. (p.55)

Aranguri (2015) en su tesis sobre la importancia del uso de agregados provenientes de cantera de calidad resalta que: las canteras ilegales son el punto inicial de una mafia de la construcción, que perjudica a los usuarios y que implica daño ambiental, evasión tributaria, y lo más importante: proporciona material de mala calidad, que no cumple con la normatividad vigente y otorga un producto final de mala calidad.

Por lo anterior resulta importante plasmar en este documento que es crucial el procedimiento de obtener los materiales certificados desde el proceso inicial, hasta obtener el producto final, ya que de este depende la calidad, resistencia y durabilidad.

Siguiendo el énfasis de esta investigación sobre la caracterización de material grueso de canteras, es crucial que el resultado de este contribuya al progreso de la región, según Vásquez (2015) La investigación sobre agregados, no solo debe tener un fin de símil, sino un objetivo mayor como lo es el empleo en proyectos a llevar a cabo, pues si bien es claro que las características de los agregados varían de acuerdo con muchas variables, también es importante reconocer que muchas de estas no cumplen con los límites de calidad, sin embargo, hay otras tantas que cumplen con estos términos y favorecen a la calidad y reducción de costos. (p.22)

Nacional. Por otra parte, Pacheco y Castillo (2017) en su tesis sobre las características de los agregados de las canteras, concluyen que: el análisis de las propiedades físicas de los agregados se elaboró de acuerdo con la norma ASTM C-33 o NTP.400.037, y que el agregado forma parte importante del producto final, refieren que participa con tres cuartas partes del volumen total del concreto por lo cual su calidad y propiedades contribuyen en el desempeño del concreto. (p.151)

Otro estudio realizado por Gonzales y Villa (2012) en su investigación sobre la caracterización de agregados pétreos de la cantera Tirtupusvar para su uso en la elaboración de concretos, realizada en Colombia, deducen que: con el fin que conocer las características mineralógicas se emplearon ensayos petrográfico macroscópico y microscópico de la roca. En cuanto al estudio de la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados se obtuvo que es uno de los parámetros que influyen en la durabilidad del concreto ya que la expansión y agrietamiento consecuencia de la reacción se refleja en el debilitamiento estructural. El análisis del porcentaje de sílice por el método gravimétrico revela que la muestra SM1 contiene un porcentaje en sílice de 85.3% y para la muestra SM2 contiene un porcentaje en sílice de 96.2%. Son muestras que en su composición excede más del 50% en sílice, existiendo la posibilidad de que ocurra una reacción con los álcalis contenidos en el cemento. Los niveles de absorción de la muestra SM1 es de 0.64% y para SM2 es de 0.81%, por lo tanto, se encuentran dentro del rango permisible de 0.2% a 4%. El porcentaje de vacíos para SM1 es de 81.74% y para SM2 es de 81.17%, los cuales son desfavorables ya que exceden el límite que esta entre el 30% y 40% lo cual general una resistencia baja a la compresión baja, con respecto al ensayo de desgaste por ataque de sulfato de magnesio arrojan resultados que son materiales resistentes a los agentes

atmosféricos ya que presenta un resultado del 1% estando por debajo del límite que es del 15%. (p.118)

Teniendo en cuenta que los materiales que se usan para producir el concreto son cruciales en la industria, es importante resaltar que además de la calidad del cemento también influye la calidad y características de los agregados, según Navarro, Gonzales y Grandas (2014)

El material de arrastre, tanto finos como gruesos, que se obtiene del rio Guayuriba, cumple con las especificaciones la norma NTC 174 sobre uso de concretos, además una propiedad importante del concreto como lo es la trabajabilidad se ve directamente afectada por diferentes características de los agregados, tales como: la absorción, la forma de las partículas, la textura superficial, el tamaño y la granulometría, por ende los agregados que por sus características permitan la menor cantidad de cemento, obtienen un concreto con mayor estabilidad volumétrica. (p.74).

La poca o nula investigación enfocada en los materiales pétreos de las diferentes regiones de Colombia llevan a hacer una caracterización investigativa y profunda sobre los mismos, según Bracamonte, Vetel y Cepeda (2013)

Los pocos resultados de la línea investigativa enfocada en materiales pétreos, obliga a llevar a cabo una investigación sobre la caracterización de estos. Dentro de la investigación sobre los materiales de Tuloviejo, Sucre se logró concluir que la forma de extracción de los materiales influye directamente en la granulometría, siendo este parámetro el menos favorables puesto que no cumple con la norma NTC 174. (p.435).

Local. Finalmente, a nivel local con respecto a las investigaciones de la región del Putumayo, los hallazgos fueron nulos, puesto que no se han realizado estudios con este enfoque.

MARCO CONCEPTUAL

La construcción es uno de los pilares de la economía en el mundo, se ve representado en vías, edificaciones, puentes, viaductos, obras de arte, túneles, entre otras obras civiles; para llevar a cabo dichos productos es importante los materiales a emplear, puesto que la calidad de estos influye directamente en la resistencia, duración y confiabilidad de determinada creación. Por lo anterior, se es interesante la idea de caracterización de materiales pétreos, puesto que es un agregado para el concreto, el cuál influye directamente en su calidad final.

Los agregados para la construcción son partículas de diversos tamaños que se pueden encontrar en la naturaleza, ya sea en forma de finos, arenas y gravas (piedra) o como resultado de la EAtrituración de rocas. Los agregados naturales y los de trituración se distinguen por tener en general un comportamiento constructivo diferente, sin embargo, se pueden llegar a combinar teniendo la mezcla a su vez características diferentes. Constructor Civil (2017)

Por otra parte, en cuanto al proceso para finalmente usar los agregados en la mezcla del concreto este material una vez es extraído de las fuentes hídricas, se lleva a una cantera para seguir un riguroso procedimiento.

Constructor Civil (2017) define como canteras a una fuente principal de materiales pétreos los cuales constituyen en uno de los insumos fundamentales en el sector de la construcción de obras civiles, estructuras, vías, presas y embalses, entre otros.

Según Araujo, Rodríguez y Ruano (2017)

La caracterización de un material es la precisión las cualidades particulares, con el fin de poder ser conocidos de los demás. Las rocas se clasifican en ígneas, las cuales se forman a partir de consecuencias de procesos magmáticos y eruptivos; sedimentarias, que se obtienen como resultado de la acumulación de fragmentos de otras rocas o por precipitación química de

minerales; y metamórficas, estas se forman en el interior de la tierra, sometidas a fuertes presiones y elevadas temperaturas con el fin de modificar su estructura y composición mineralógica. (p.18)

La sociedad Colombiana de Geotecnia, refiere que el estudio de un agregado requiere del examen de características físicas como el color y la dureza, seguido a esto, se realiza un análisis microscópico, para lo cual se cortan mediante maquinas especiales para el análisis microscópico, así obteniendo los cristales que componen la roca, la microestructura, minerales, entre otros componentes.

MARCO CONTEXTUAL

La Capital del Putumayo, fue atropellada por la avenida fluviotorrencial ocurrida el 31 de marzo del año 2017, dejando así un desastre y pérdidas de vidas humanas; por lo cual las obras civiles se vieron disparadas, dejando así una alta demanda de material necesario para obtención del concreto.

En el Municipio de Mocoa, existen diferentes canteras, entre ella la cantera Balastrera Palermo, la cual se encarga de explotar tanto material fino como grueso, con el fin de suministrarlo a los contratistas de obras civiles.

Por lo anterior y haciendo énfasis en la reconstrucción de Mocoa, es de suma importancia verificar las características y calidad de este suministro (La grava) ya que incide directamente en la calidad del concreto.

MARCO GEOGRÁFICO

Esta investigación esta geográficamente ubicada en el Municipio de Mocoa, Departamento del Putumayo, para la obtención del material de cantera, así mismo se cuenta con laboratorios de suelos localizados en el mismo ayuntamiento para el desarrollo de los ensayos.

El material se extrajo de la cantera *Balastrera Palermo* en el con una ubicación exacta de Latitud 1° 8'9.14"N y longitud 76°38'27.88"O (Ubicación suministrados por Google Earth) en la vereda Caliyaco, vía Villagarzón. Las siguientes imágenes muestran la ubicación del Departamento y Municipio.

Ilustración 1

Mapa de Colombia



Nota. La ilustración indica la ubicación del departamento del putumayo en el mapa global de Colombia. Fuente propia

Ilustración 2

Mapa de Putumayo



Nota. La ilustración indica la ubicación del municipio de Mocoa en el mapa del Departamento del Putumayo. Fuente propia

Ilustración 3

Ubicación geográfica global Cantera Balastera Palermo.



Nota. La ilustración indica la localización satelital de la cantera balastera Palermo en el municipio de Mocoa departamento del Putumayo. Fuente Google Earth

Ilustración 4

Ubicación satelital especifica Cantera Balastera Palermo.



Nota. La ilustración indica la ubicación especifica del área de la cantera balastera Palermo en el municipio de Mocoa departamento del Putumayo. Fuente Google Earth

MARCO NORMATIVO

El desarrollo de la investigación propuesta se realizará siguiendo los lineamientos de las normas que rigen en Colombia que son la Norma Técnica Colombiana (NTC) y la INVIAS las cuales nos especifican cuales deben ser las clasificaciones, el tipo de material necesario para elaborarlos, la calidad de dichos materiales, los materiales adecuados para su elaboración, la manera ideal de almacenarlos en caso de que sea necesario, la dosificación exacta para que el mortero cumpla con la resistencia y consistencia requerida, la forma correcta de mezclado para que la esta quede de manera homogénea y no genere fallas o daños por ser una mezcla porosa, la manera de transportarla y muchas especificaciones que se deben tener presentes a la hora de realizar su elaboración.

Teniendo en cuenta que esta investigación se está haciendo alrededor del material pétreo de cantera la cual se obtiene por medio de explotación minera es importante citar las siguientes normas que concierne a las empresas encargadas de dicha explotación.

NTC 77: 1994 Ingeniería civil y arquitectura. Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. (ASTM C 136).

NTC 92: 1995. Ingeniería civil y arquitectura. Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas y agregados. (ASTM C 29).

NTC 121: 1982, Ingeniería civil y arquitectura. Cemento portland. Especificaciones físicas y mecánicas. (ASTM C 150).

NTC 321: 1977, Ingeniería civil y arquitectura. Cemento portland. Especificaciones químicas. (ASTM C 150).

NTC 1000: 1993, Metrología. Sistema Internacional de Unidades. (ISO 1000).

NTC 1028: 1994, Ingeniería civil y arquitectura. Determinación del contenido de aire en el concreto fresco, método volumétrico. (ASTM C 173).

NTC 3691: 1995, Ingeniería civil y arquitectónica. Método para la medición de la resistencia a la adherencia por flexión de la mampostería. (ASTM C 1072).

NTC 4050: 1995, Ingeniería civil y arquitectónica. Cemento para mampostería. (ASTM C 91).

NSR-10: 1997, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Titulo H Estudios Geotécnicos.

I.N.V.E - 100: 2012, Instituto Nacional de Vías, Normas de Ensayo para Carreteras.

I.N.V.E - 500: 2013, Pavimento de concreto hidráulico.

I.N.V.E - 213: 2013, Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.

I.N.V.E – 221: 2013, Cantidad de partículas livianas en los agregados pétreos

I.N.V.E – 221: 2013, Cantidad de partículas livianas en los agregados pétreos

METODOLOGÍA

El desarrollo metodológico parte de identificar el tipo de material que ofrece la cantera Balastrera Palermo, mediante estudio granulométrico, posteriormente conocer el comportamiento físico, químico y mecánico mediante diferentes ensayos de laboratorio, así, finalmente se analiza las variables mixtas que estos arrojan.

Enfoque mixto

Esta investigación se estructuro desde el enfoque mixto, el cual permitió conocer las características y condiciones de calidad del material grueso en estudio, provisionado por la cantera *Balastrera Palermo*, así, efectuando un análisis de resultados cualitativos y numéricos que emitió los ensayos de laboratorio.

Método

Para la elaboración del presente proyecto se trabajó con los ensayos de laboratorio estipulados en la normatividad del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), así mismo el autor Das, B (2002) refiere que “Los ensayos de laboratorio en suelos para la determinación de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, son una parte integral del diseño y construcción de fundaciones y obras de tierra, así como de especificaciones para el control de calidad de las mismas” (p.105).

Técnicas

Las técnicas que se llevaron a cabo en esta investigación son:

Ensayos guiados por la normatividad del Instituto Nacional de Vías (INVIAS): Se realizo ensayos de laboratorio a una muestra de tres metros cúbicos de agregado grueso donados por la cantera Balastrera Palermo. Es importante resaltar que dicho material fue extraído del Stock por lo cual se permitió la recolección de información y establecer de manera directa un encuentro con la percepción de la realidad desde la experiencia en relación con los resultados arrojados.

Así mismo, los cálculos realizados se basaron en formulas numéricas ya estipuladas por el instituto Nacional de Vías, de la misma manera, se logró programar una hoja de cálculo en el software Excel, facilitando los resultados matemáticos.

Posteriormente se procedió a realizar la respectiva caracterización designando “Cumple” o “No cumple” según los resultados obtenidos y la comparación de los mismos.

Fase preliminar

La fase preliminar se enfocó en los insumos bibliográficos como tesis, libros artículos científicos y de investigación a fines, de donde se pudo recopilar información.

Fase de campo e identificación

Muestreo de agregados para la construcción de carreteras.

Con el objetivo de analizar y estudiar el material grueso extraído por la cantera *Balastrera Palermo*, ubicada en Mocoa, Putumayo. se solicitó a la misma que se nos suministre la cantidad necesaria para que se puedan realizar todos los estudios y ensayos de laboratorio de forma exitosa.

Es importante mencionar que la muestra para tal fin es del tamaño de ¾” y fue obtenida del stock de la cantera anteriormente mencionada; de la pila del material almacenado se obtuvo 7 muestras de entre 5 y 8 kg obteniendo así el material de 3 partes de la pila que son la superior, intermedia y baja, se realizó la combinación de estas 3 partes y se continuo con el cuarteo manual, siguiendo los pasos de la norma INVIAS - 201 Método B

A continuación, se puede evidenciar en las **figuras 1, 2, 3 y 4** el proceso mencionado.

Figura 1

Pila de material ubicada en la balastrera.



Nota. La figura indica el lugar de donde fue extraída la muestra para ser llevada a laboratorio y proceder a realizar sus respectivos ensayos. Fuente Propia.

Figura 2

Mezclado del material extraído de la pila.



Nota. La figura indica el proceso de división que se debe llevar a cabo para realizar el cuarteo. Fuente Propia.

Figura 3

Material cuarteado.



Nota. La figura indica el material ya realizado el cuarteo para ser empacado y llevado al laboratorio. Fuente Propia.

Figura 4

Material para llevar al laboratorio.



Nota. La figura indica el material que va a ser llevado al laboratorio. Fuente Propia.

Contenido de agua evaporable de los agregados por secado

Este ensayo fue realizado para determinar el contenido de humedad que se encuentra en la muestra aplicando los lineamientos de la Norma INVIAS – 216.

A continuación, se puede evidenciar en la **figura 5** el proceso mencionado.

Figura 5 .

Material ingresado al horno.



Nota. La figura indica el ingreso de la muestra en estado natural al horno para proceder con el secado. Fuente Propia.

Análisis granulométrico de los agregados gruesos

Es importante mencionar que, aunque el material a estudiado fue de tamaño ¾” que es el que fue suministrado por la balastrera, se optó por clasificar el material utilizando los tamices donde se obtuvo una clasificación después de realizar dicho proceso.

Determinación de terrenos de arcilla y partículas deslenables en los agregados

Este estudio se realizó con el fin de determinar la cantidad aproximada de los terrones de arcilla que están presentes en el material estudiado siguiendo los lineamientos descritos en la norma INVIAS – 211.

Figura 6

Lavado del material.



Nota. La figura indica el proceso del lavado que se debe realizar después de ser retirada del horno con el fin de eliminar partículas de arcilla presentes en la muestra. Fuente Propia.

Figura 7

Material limpio



Nota. La figura indica el resultado del proceso mencionado anteriormente para ser llevada al laboratorio para seguir con el secado y finiquitar su estudio. Fuente Propia.

Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso

Este estudio es realizado con el fin de determinar la cantidad aproximada de partículas con caras fracturadas que están presentes en el material estudiado siguiendo los lineamientos descritos en la norma INVIAS-227. A continuación, se puede evidenciar en las **figuras 8, 9, 10 y 11** el proceso mencionado.

Figura 8

Muestra de ensayo Caras fracturadas.



Nota. La figura indica el resultado de las partículas que no presentan caras fracturadas. Fuente Propia.

Figura 9

Muestra de ensayo Caras fracturadas.



Nota. La figura indica el resultado de las partículas que presentan una (1) cara fracturada. Fuente Propia.

Figura 10

Muestra de ensayo Caras fracturadas.



Nota. La figura indica el resultado de las partículas que presentan al menos dos (2) caras fracturadas. Fuente Propia.

Figura 11

Muestra de ensayo Caras fracturadas.



Nota. La figura indica el resultado de 3 muestras estudiadas dentro de las cuales hay partículas que no presentan caras fracturadas, que presentan una (1) cara fracturada y que presentan al menos dos (2) caras fracturadas. Fuente Propia.

Índice de alargamiento de los agregados para carreteras

Este estudio se realizó con el fin de determinar el índice de alargamiento que está presente en el material estudiado siguiendo los lineamientos descritos en la norma INVIAS-230.

Índice de aplanamiento de los agregados para carreteras

Este estudio se realizó con el fin de determinar índice de aplanamiento que está presente en el material estudiado siguiendo los lineamientos descritos en la norma INVIAS-230

Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm por medio de la máquina de los ángeles.

Este estudio se realizó con el fin de determinar la resistencia a la degradación del material estudiado siguiendo los lineamientos descritos en la norma INVIAS-218. A continuación, se puede evidenciar en las **figuras 12 a 17** el proceso mencionado.

Figura 12

Máquina de los ángeles



Nota. La figura indica el equipo utilizado en el ensayo de la resistencia a la degradación de los agregados. Fuente Propia.

Figura 13

Parte interna de la máquina de los ángeles con la muestra y las esferas.



Nota. La figura indica el interior del tambor de la máquina de los ángeles con la cantidad solicitada en la norma en cuanto a cantidad de muestra como en cantidad de carga abrasiva antes de dar inicio con los giros. Fuente Propia.

Figura 14

Control de mando de la máquina de los ángeles.



Nota. La figura indica control de mando de la máquina de los ángeles donde se configuran los 500 giros que se deben cumplir en este ensayo. Fuente Propia.

Figura 15

Muestra salida de la máquina de los ángeles.



Nota. La figura indica como termina la muestra después de cumplir los 500 giros. Fuente Propia.

Figura 16

Muestra lista para proceder al lavado.



Nota. La figura indica cinco (5) muestras que fueron pasadas por la máquina de los ángeles y fueron sometidas al lavado sobre el tamiz No. 12. Fuente Propia.

Figura 17

Muestra lavada.



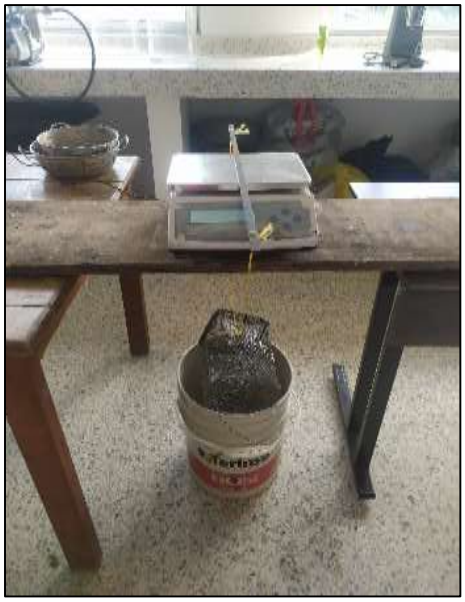
Nota. La figura indica cinco (5) muestras que fueron lavadas sobre el tamiz No. 12 para ser llevadas nuevamente al laboratorio y finiquitar este ensayo con su secado. Fuente Propia.

Densidad, Densidad relativa (Gravedad especifica) y absorción del agregado grueso.

Este estudio se realizó con el fin de determinar la densidad, densidad relativa, gravedad específica y el índice de absorción del material estudiado siguiendo los lineamientos descritos en la norma INVIAS-223. A continuación, se puede evidenciar en las **figuras 18 a 21** el proceso mencionado.

Figura 18

Equipo realizado por los investigadores.



Nota. La figura indica el equipo que fue creado por los investigadores para ejecutar el estudio de densidad, densidad relativa y absorción. Fuente Propia.

Figura 19

Medición de la Temperatura del Agua.



Nota. La figura indica el paso de la medición de la temperatura del agua antes de proceder a realizar los estudios para garantizar la exigida en la norma. Fuente Propia.

Figura 20

Secado parcial de la Muestra.



Nota. La figura indica el paso del secado parcial que se debe llevar a cabo después de haber estado sumergida durante 24 horas. Fuente Propia.

Figura 21 .

Muestra parcialmente seca.



Nota. La figura indica la muestra parcialmente seca para proceder a calcular su peso sumergido. Fuente Propia.

Fase de caracterización

Para la fase de caracterización se realizó los ensayos de muestreo de agregados para la construcción de carreteras, contenido total de agua evaporable de los agregados por secado, análisis granulométrico de los agregados gruesos, determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados, porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso, índice de alargamiento de los agregados para carreteras, índice de aplanamiento de los agregados para carreteras, resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm por medio de la máquina de los ángeles, densidad, densidad relativa (gravedad especifica) y absorción del agregado grueso.

De cada ensayo adquirido se puede evidenciar las posibles variaciones que puede tener el material.

Elaboración de las vigas para comparación en el ensayo a flexión

Se pidió a la empresa concreinsa un diseño de mezcla ya empleado en pavimento, el cual fue facilitado, y de donde se guio esta comparación, el diseño de mezcla contiene las cantidades en volumen de agua, agregado grueso, arena y cemento estructural, posterior a su elaboración y trascurridos los primeros 7 días, se transportó al laboratorio de Suelos y concretos, del profesional Harold David Torres, especialista en geotecnia y estabilidad de taludes, para proceder a realizar el ensayo a flexión de las vigas. A continuación, se evidencia en las **Imágenes 1 a 11** el proceso de elaboración de vigas y el ensayo a flexión elaborada por el especialista.

Imagen 1

Mezclado de los materiales



Nota. La figura indica el mezclado de los materiales que componen el concreto los cuales son la arena, triturado, cemento y agua para la elaboración de las vigas. Fuente Propia.

Imagen 2

Ensayo de cono de Slump



Nota. La figura indica el asentamiento de 10 cm que fue el que resultado que adquirieron el diseño de mezcla a comparar para garantizar la igualdad en las muestras. Fuente Propia.

Imagen 3

Elaboración de Vigas.



Nota. La figura indica el concreto elaborado ya ubicado en los moldes de vigueta para prueba de concreto. Fuente Propia.

Imagen 4

Desencofrado de vigas



Nota. La figura indica el proceso de desencofrado de las muestras de concreto de sus moldes. Fuente Propia.

Imagen 5

Ensayo a flexión de viga cuya edad es de siete (7) días



Nota. La figura indica la muestra ingresada a la máquina universal para realizar la falla de la viga a los siete (7) días de edad. Fuente Propia.

Imagen 6

Resultado suministrado por la máquina universal



Nota. La figura indica la carga soportada por la viga en la maquina universal de 26 kN a los siete (7) días de edad. Fuente Propia.

Imagen 7

Resultado fractura de viga



Nota. La figura indica la fractura que sufrió la viga en la maquina universal flexionada a los siete (7) días de edad. Fuente Propia.

Imagen 8

Ensayo a flexión de viga cuya edad es de catorce (14) días.



Nota. La figura indica la muestra ingresada a la máquina universal para realizar la falla de la viga a los catorce (14) días de edad. Fuente Propia.

Imagen 9

Ensayo a flexión de viga cuya edad es de veintiocho (28) días



Nota. La figura indica la fractura que sufrió la viga en la máquina universal flexionada a los veintiocho (28) días de edad. Fuente Propia.

Imagen 10

Resultado suministrado por la maquina universal



Nota. La figura indica la carga alcanzada por la viga en la máquina universal de 32.50 kN a los veintiocho (28) días de edad. Fuente Propia.

Imagen 11

Resultado fractura de viga a los 28 días de edad.



Nota. La figura indica la fractura que sufrió la viga en la maquina universal flexionada a los veintiocho (28) días de edad. Fuente Propia.

Fase de elaboración del documento final

El documento final cuenta con toda la investigación realizada por los autores, con su debido procedimiento según lo estipulado por la norma INVIAS, además de los resultados de cada uno. Así, este documento contiene la fase de recopilación de información literaria, metodología del trabajo, análisis de resultados y conclusiones.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Muestreo de agregados para construcción de carreteras

El muestro de partículas de ¾” fue adquirido del stock de la cantera y suministrado por la misma, realizando el debido proceso según la norma INVIAS-201. Una vez seleccionado el material a analizar, se pesaron las 8 muestra cómo se adjunta en la **tabla 1.**

Tabla 1

Peso de las muestras analizadas.

Muestra	Peso (gr)
Muestra 1	7896,32
Muestra 2	8273,42
Muestra 3	6950
Muestra 4	7480
Muestra 5	5675,8
Muestra 6	6373
Muestra 7	5928,3
Muestra 8	5692,5

Nota. La Tabla indica los pesos de cada muestra que va a ser estudiada en el laboratorio. Fuente Propia.

Contenido total de agua evaporable de los agregados por secado

Una vez hecho el proceso estipulado según la norma INVIAS-216, se hizo el pesaje de su peso natural y peso seco así calculando el contenido de humedad con la siguiente formula, adicionalmente se evidencia su cálculo en la **tabla 2** y se observan sus resultados en la **gráfica 1.**

$$W_{P=}\frac{W-D}{D}*100$$

Donde:

Wp= Humedad evaporable de la muestra, %

W= Masa original de la muestra. g.

D= Masa de la muestra secada, g.

Tabla 2

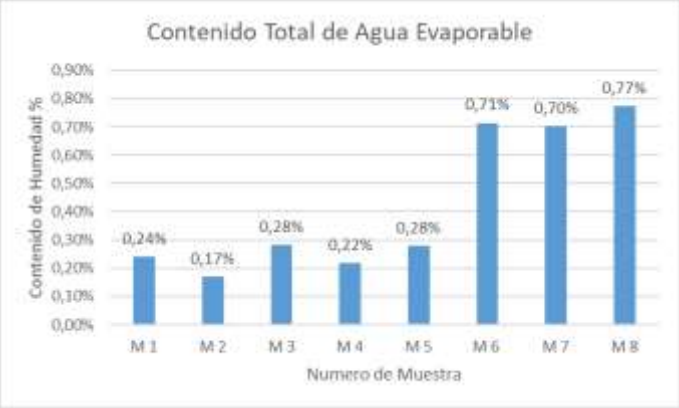
Contenido total de agua evaporable

Contenido Total de Agua Evaporable								
Muestras	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8
Peso Natural (g)	7896,32	8273,42	6950	7480	5675,8	6373	5928,3	5692,5
Peso Seco (g)	7877,42	8259,47	6930,4	7463,7	5659,9	6327,5	5886,6	5648,5
CH (%)	**0,24%**	**0,17%**	**0,28%**	**0,22%**	**0,28%**	**0,71%**	**0,70%**	**0,77%**

Nota. La Tabla indica los resultados arrojados por los investigadores después de realizar el estudio y cálculos de contenido total de agua evaporable. Fuente Propia.

Grafica 1 *Contenido total de agua evaporable*

Contenido total de agua evaporable



Nota. La Grafica indica los resultados obtenidos después de aplicar las fórmulas de Contenido Total de agua evaporable. Fuente Propia.

Análisis granulométrico de los agregados gruesos

Una vez tamizadas las muestras se procedió a pesar el material retenido en cada uno de los tamices y posteriormente se realizó una suma de cada uno se de ellos como se muestra en **la tabla 3.**

Tabla 3

Granulometría

Granulometria								
Muestra	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8
Tamiz 1"	82,46	152,09	181,90	173,29	77,00	65,93	122,00	332,20
Tamiz 3/4"	3480,00	4020,00	2698,40	3199,90	1528,77	2544,20	3177,80	3362,90
Tamiz 1/2"	3880,00	3640,00	3508,00	3901,20	3278,00	3400,10	2318,00	1659,80
Tamiz 3/8"	110,00	151,10	174,24	128,43	277,46	22,28	9,60	3,30
Tamiz #4	27,31	28,94	109,78	47,99	164,04	8,25	0,00	0,00
GR (g)	**7579,77**	**7992,13**	**6672,32**	**7450,81**	**5325,27**	**6040,76**	**5627,40**	**5358,20**

Nota. La Tabla indica el material retenido en cada tamiz clasificando así los diferentes tamaños con los cuales cuenta cada muestra. Fuente Propia.

Determinación de los terrones de arcilla y partículas deleznables en los agregados

Se uso el material retenido en los tamices 3/8 y ¾ con su peso natural y seco respectivamente, y se procedió a calcular las partículas deleznables con la siguiente formula; además se puede evidenciar los cálculos en la **tabla 4**, así mismo se puede observar los resultados matemáticos en **la gráfica 2.**

$$P = \frac{M - R}{M} * 100$$

Donde:

P: Porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznables.

M: Masa de la muestra de ensayo. Para los agregados finos, corresponde a la masa de la porción as gruesa que el tamiz 1.18 mm(N°16).

R: Masa de las partículas retenidas sobre el tamiz designad para remover el residuo.

Tabla 4

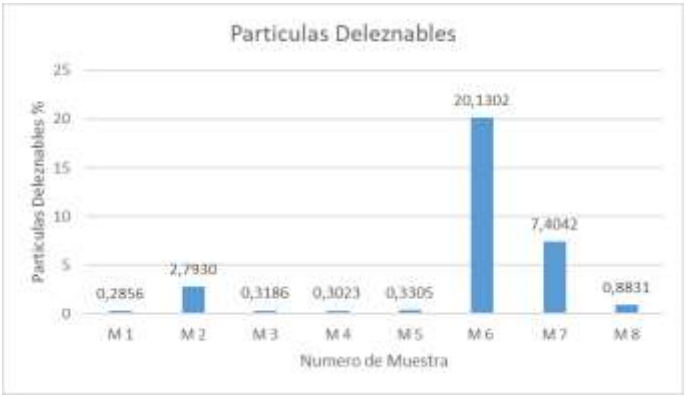
Partículas Deleznables

Particulas Deleznables								
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8
Retenido 3/8 Natural (g)	2485,8	2295	2353,9	2447,6	2208,6	2772,3	2227,1	1075,8
Retenido 3/4 Natural (g)	3414,5	3337,5	3293,8	3201,9	2652,25	2845,2	2233,4	3058,5
Retenido 3/8 Seco (g)	2478,7	2230,9	2346,4	2440,2	2201,3	2214,23	2062,2	1066,3
Retenido 3/4 Seco (g)	3405,7	3264,5	3270,6	3193,5	2642,95	2216,04	2038,86	3046,7
PD (%)	**0,2856**	**2,7930**	**0,3186**	**0,3023**	**0,3305**	**20,1302**	**7,4042**	**0,8831**

Nota. La Tabla indican los valores obtenidos después de realizar los cálculos pertinentes del estudio de partículas deleznables. Fuente Propia.

Grafica 2

Partículas Deleznables.



Nota. La Grafica indica los resultados obtenidos después de aplicar las fórmulas de Partículas deleznables. Fuente Propia.

Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso

Con las muestras determinadas para este ensayo, se hizo el debido proceso como lo dice la muestra, usando los tamices 3/8", ½" y ¾", se procedió a calcular el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso con la siguiente formula; además se puede evidenciar los cálculos en la tabla 5, así mismo se puede observar los resultados matemáticos en la **gráfica 3 y 4**.

$$\boldsymbol{P = \frac{F}{F + N} * 100}$$

Donde:

P: Porcentaje de partículas con el numero especifico de caras fracturadas

F: Masa o número de partículas fracturadas con al menos el número de caras fracturadas especificado.

N: Masa o número de partículas en la categoría de no fracturadas que no cumplen el criterio de partículas fracturadas

Tabla 5

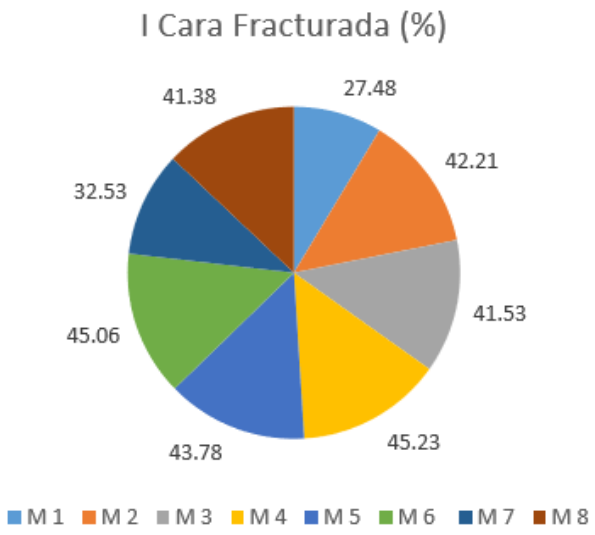
Porcentaje de partículas fracturadas

	Caras Fracturadas							
Muestra	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8
Peso Muestra 3/8 (g).	148,7	129,4	192	142,6	264,6	66,3	53,2	28,7
Peso Muestra 1/2 (g)	656,4	595,8	592,3	601,3	621,6	653	646	615,7
Peso Muestra 3/4 (g)	1644,4	1893	1791,7	1722,33	1600,3	1644,4	1777,6	1518,5
Sin caras 3/4 (g)	205,6	469,6	387,1	394,6	310,9	306,3	318,3	120,5
Con 1 Cara 3/4 (g)	39,1	302,2	235,1	296,7	277,5	253,3	127	126,7
Con 2 o mas Caras 3/4 (g)	1399,7	1120,8	1168,9	1026,5	1021,4	1084,3	1320,6	1267
Sin caras 1/2 (g)	206,8	109,6	96,9	103,55	140,3	112,2	113,1	96,5
Con 1 Cara 1/2 (g)	96,8	100,9	108,1	111,5	92,8	90,1	77	30,2
Con 2 o mas Caras 1/2 (g)	352,8	385,2	382,4	384,7	388,8	450,2	458,1	488,7
Sin caras 3/8 (g)	35,2	21,3	48,4	29,92	58,7	11,8	6,8	10,8
Con 1 Cara 3/8 (g)	33,7	35,5	34,9	27,89	26,8	9,5	7,3	3,9
Con 2 o mas Caras 3/8 (g)	79,8	72,6	104,4	84,75	179,7	44,9	37,2	13,9
ICFR (%)	**27,48**	**42,21**	**41,53**	**45,23**	**43,78**	**45,06**	**32,53**	**41,38**
IICFR (%)	**80,37**	**72,44**	**75,67**	**73,91**	**75,72**	**78,59**	**80,56**	**88,60**

Nota. La Tabla indican los valores obtenidos después de realizar los cálculos pertinentes del estudio de porcentaje de partículas fracturadas. Fuente Propia.

Grafica 3 .

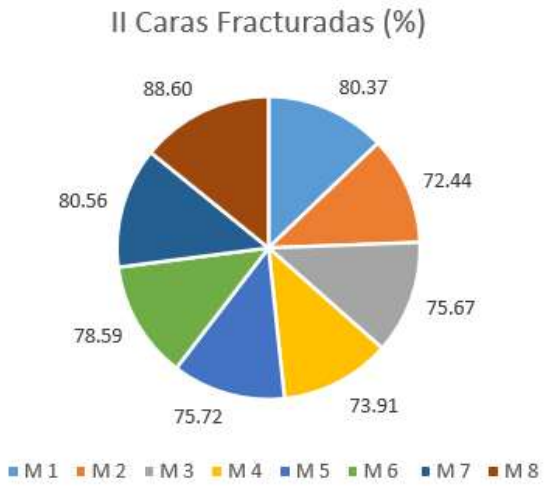
Partículas con una (1) cara Fracturada.



Nota. La Grafica indica los resultados obtenidos después de aplicar las fórmulas para obtener el resultado de las partículas que presentan una (1) cara fracturada. Fuente Propia.

Grafica 4

Partículas con dos (2) o más caras Fracturadas.



Nota. La Grafica indica los resultados obtenidos después de aplicar las fórmulas para obtener el resultado de las partículas que presentan dos (2) o más caras fracturadas. Fuente Propia.

Índice de alargamiento de los agregados para carreteras

Una vez hecho el procedimiento de pasar las partículas por el calibrador de longitudes como lo estipula la norma se procedió a pesar el material pasante, continuo a esto, se calcula el índice de alargamiento (IA) del agregado grueso con la siguiente formula; además se puede evidenciar los cálculos en la **tabla 6**, así mismo se puede observar los resultados matemáticos en la **gráfica 5**.

$$IL_i = \frac{n_i}{R_i} * 100$$

Donde:

R: Masa de la fracción d/D

m: Masa de las partículas alargadas de la fracción d/D

Índice de alargamiento global, IL

$$I\mathrm{L} = \frac{\mathrm{M}_{13}}{\mathrm{M}_{11}\ \mathrm{o}\ \mathrm{M}_{12}} * 100$$

Donde:

M11 o M12: Masa total de la muestra empleada en la determinación del índice de alargamiento.

M13: Masa de todas las partículas que quedaron retenidas en las barras del calibrador de alargamiento.

Tabla 6

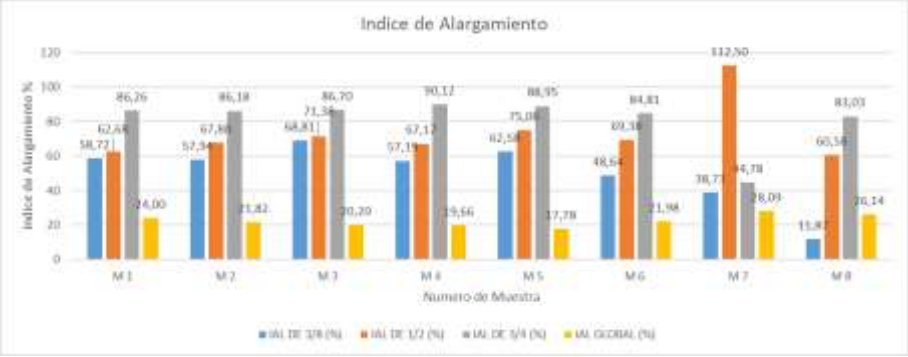
Índice de Alargamiento

Indice de Alargmaiento								
Muestra	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8
Peso Muestra 3/8 (g)	149	129,1	188,19	142,5	263,5	66	51,9	27,8
Peso Muestra 1/2 (g)	2267,2	2176,9	2154,9	2204,5	2156,5	2331,6	2330,5	2043,4
Peso Muestra 3/4 (g)	3194,7	3150,1	3415,1	3080,9	3244,2	3224,1	3174,2	3102,6
Peso Pasa Muestra 3/4 (g)	2755,8	2714,7	2960,9	2776,4	2885,6	2734,2	1421,3	2576,1
Peso Pasa Muestra 1/2 (g)	1421,1	1475,9	1538,1	1480,8	1618,7	1617,6	2621,8	1237,8
Peso Pasa Muestra 3/8 (g)	87,5	74,8	129,5	81,5	164,9	32,1	20,1	3,3
Peso No Pasa Muestra 3/4 (g)	436,5	435,9	487,4	290,1	358,4	489,4	977,2	526
Peso No Pasa Muestra 1/2 (g)	846,2	700,7	616,4	716,7	549,9	712,9	552,1	801,8
Peso No Pasa Muestra 3/8 (g)	63,7	54,1	59,3	60,5	98,9	33,5	31,6	24,6
IAL DE 3/8 (%)	**58,72**	**57,94**	**68,81**	**57,19**	**62,58**	**48,64**	**38,73**	**11,87**
IAL DE 1/2 (%)	**62,68**	**67,80**	**71,38**	**67,17**	**75,06**	**69,38**	**112,50**	**60,58**
IAL DE 3/4 (%)	**86,26**	**86,18**	**86,70**	**90,12**	**88,95**	**84,81**	**44,78**	**83,03**
IAL GLOBAL (%)	**24,00**	**21,82**	**20,20**	**19,66**	**17,78**	**21,98**	**28,09**	**26,14**

Nota. La Tabla indican los valores obtenidos después de realizar los cálculos pertinentes del estudio de índice de alargamiento. Fuente Propia.

Grafica 5

Índice de Alargamiento



Nota. La Grafica indica los resultados obtenidos después de aplicar las fórmulas para obtener el resultado del índice de alargamiento de las muestras estudiadas. Fuente Propia.

Índice de aplanamiento de los agregados gruesos para carreteras

Una vez obtenido el material del retenido en los tamices 3/8", ½" y ¾", se procedió a pasar las partículas por el calibrador de espesores, posteriormente se pesó los pasantes y los no

pasantes, para finalmente calcular el índice de aplanamiento (IA) con la siguiente formula, además se evidencia el resultado matemático en la **tabla 7** y en la **gráfica 6.**

$$IA = \frac{m_i}{R_i} * 100$$

Donde:

Ri: Masa de fracción d/D, g

mi: masa de partículas planas de la fracción d/D, g

Índice de aplanamiento global

$$IA = \frac{M_3}{M_1 \; o \; M_2} * 100$$

Donde:

M1 o M2: Masa total de la muestra empleada en la determinación del índice e aplanamiento

M3: Masa de todas las partículas que pasaron las barras de los tamices o las ranuras del calibrador de aplanamiento.

Tabla 7

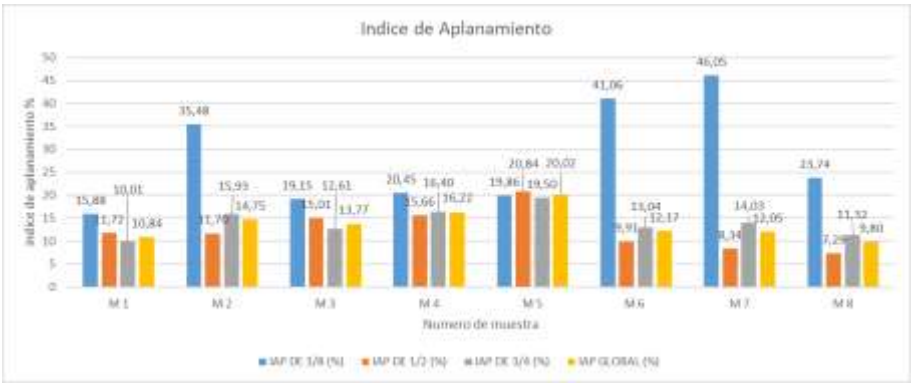
Índice de Aplanamiento

Indice de Aplanamiento								
Muestra	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8
Peso Muestra 3/8 (g)	150,5	129,1	189	142,3	263,8	66	51,9	27,8
Peso Muestra 1/2 (g)	2102,9	2091,9	2242,4	2141,5	2080,1	2055,5	2188,7	2043,4
Peso Muestra 3/4 (g)	3136,7	3131,4	3265	3151,8	3243,8	3165,1	3201,6	3102,6
Peso Pasa Muestra 3/8 (g)	23,9	45,8	36,2	29,1	52,4	27,1	23,9	6,6
Peso Pasa Muestra 1/2 (g)	246,5	244,7	336,5	335,3	433,4	203,6	182,6	149
Peso Pasa Muestra 3/4 (g)	313,9	498,8	411,6	517	632,7	412,7	449,1	351,2
Peso No Pasa Muestra 3/8 (g)	126,6	84	151,2	113,1	211,2	39,1	27,8	21,4
Peso No Pasa Muestra 1/2 (g)	1856,6	1847,2	1962,7	1806	1655,3	1831,1	1995,8	1882
Peso No Pasa Muestra 3/4 (g)	2822,8	2632,3	2853,3	2653,1	2594,3	2752	2751,6	2736,9
IAP DE 3/8 (%)	**15,880**	**35,476**	**19,153**	**20,450**	**19,864**	**41,061**	**46,050**	**23,741**
IAP DE 1/2 (%)	**11,722**	**11,697**	**15,006**	**15,657**	**20,836**	**9,905**	**8,343**	**7,292**
IAP DE 3/4 (%)	**10,007**	**15,929**	**12,606**	**16,403**	**19,505**	**13,039**	**14,027**	**11,320**
IAP GLOBAL (%)	**10,840**	**14,747**	**13,768**	**16,215**	**20,017**	**12,170**	**12,047**	**9,796**

Nota. La Tabla indican los valores obtenidos después de realizar los cálculos pertinentes del estudio de índice de aplanamiento. Fuente Propia.

Grafica 6

Índice de Aplanamiento



Nota. La Grafica indica los resultados obtenidos después de aplicar las fórmulas para obtener el resultado del índice de aplanamiento de las muestras estudiadas. Fuente Propia.

Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm por medio de la máquina de los ángeles

Una vez introducido el material y las esferas en la máquina de los ángeles, dando la cantidad de vueltas necesarias, se procedió a lavar la muestra sobre el tamiz N°12, así eliminando las partículas desgastadas por la máquina, seguido a este procedimiento, se calcula el desgaste de los agregados, según la siguiente formula, además se evidencia el cálculo en la **Tabla 8** y así mismo se observan los resultados matemáticos en la **gráfica 7.**

$$\%\, Perdidas = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

P1: Masa de la muestra seca antes del ensayo

P2: Masa de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz N°12

Tabla 8

Resistencia a la degradación

Resistencia a la Degradacion								
Muestra	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8
Peso antes de ingresar (g)	5004,4	4990,9	4996,3	5002,4	4997,2	4994,9	5000,7	4991,7
Peso despues de ingresar (g)	4979,6	4242,4	4265,5	4268,4	4216	4147,5	4191,7	4237,7
ABR %	**0,4956**	**14,9973**	**14,6268**	**14,6730**	**15,6328**	**16,9653**	**16,1777**	**15,1051**

Nota. La Tabla indican los valores obtenidos después de realizar los cálculos pertinentes del estudio de índice del índice de degradación por medio de la máquina de los ángeles. Fuente Propia.

Grafica 7

Resistencia a la degradación



Nota. La Grafica indica los resultados obtenidos después de aplicar las fórmulas para obtener el resultado del índice de degradación por medio de la máquina de los ángeles. Fuente Propia.

Densidad, densidad relativa (gravedad especifica) y absorción del agregado grueso

Después de realizar el procedimiento de este ensayo y una vez obtenidos los resultados, se procedió a calcular la densidad, densidad relativa (gravedad especifica) y absorción del agregado grueso, con la siguiente formula, además se evidencia los cálculos en la tabla 9, así mismo los resultados matemáticos se pueden observar en la **gráfica 8, 9 y 10.**

Tabla 9

Resultados de Densidad, Densidad Relativa y Absorción

Muestra	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8
Peso seco (g)	3253,6	3403,6	3156,4	3689,3	3294,3	3571	3446,8	3311,6
Peso Sumergido (g)	3271,8	3426,3	3174,5	3699,3	3310,6	3590,2	3467,6	3327,8
Peso Sumergido (g)	2016,7	2336,2	2173,6	2291,7	2267,8	2437,5	2360,4	2275,6
Peso seco (g)	3242,8	3385,6	3143,5	3670,1	3275	3556	3429,7	3293,7
DR SH	**2,5923**	**3,1223**	**3,1536**	**2,6210**	**3,1591**	**3,0979**	**3,1131**	**3,1473**
DR SSS	**2,6068**	**3,1431**	**3,1716**	**2,6281**	**3,1747**	**3,1146**	**3,1319**	**3,1627**
DR APARENTE	**2,6304**	**3,1887**	**3,2116**	**2,6397**	**3,2093**	**3,1504**	**3,1727**	**3,1965**
D SH Kg/m3	**2585,8**	**3114,5**	**3145,7**	**2614,4**	**3151,2**	**3090,2**	**3105,3**	**3139,4**
D SSS Kg/m3	**2600,3**	**3135,2**	**3163,7**	**2621,5**	**3166,8**	**3106,8**	**3124,0**	**3154,8**
D APARENTE Kg/m3	**2623,9**	**3180,7**	**3203,6**	**2633,1**	**3201,2**	**3142,5**	**3164,7**	**3188,5**
ABS %	**0,559**	**0,667**	**0,573**	**0,271**	**0,495**	**0,538**	**0,603**	**0,489**

Nota. La Tabla indican los valores obtenidos después de realizar los cálculos pertinentes del estudio de densidad, densidad relativa y absorción. Fuente Propia.

Para un mayor entendimiento, a continuación, en la tabla 10, se puede observar el resumen de las abreviaciones que se encuentran en la tabla 9

Tabla 10

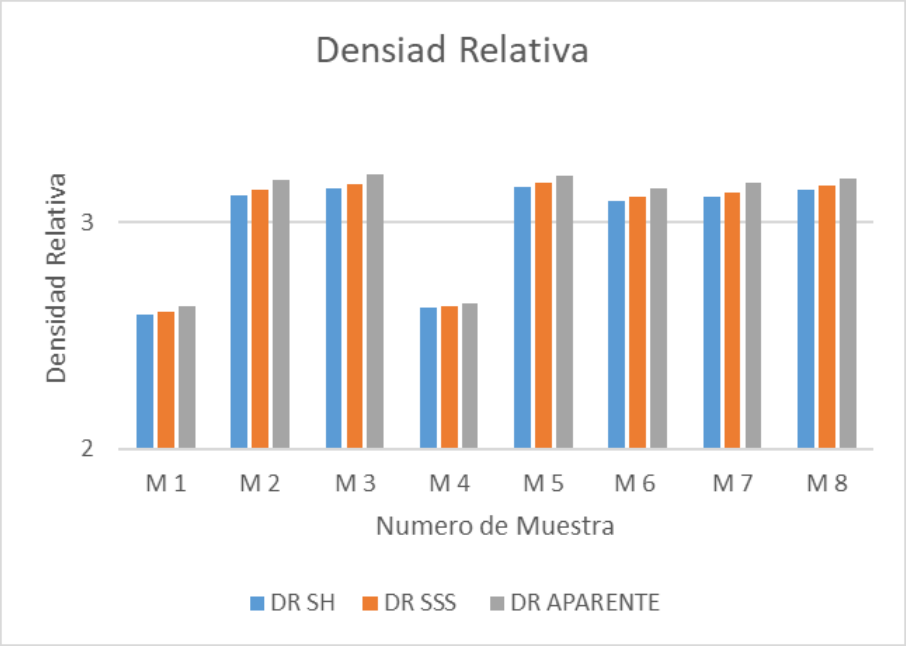
Resumen de abreviaciones

NOMBRE	**ABREVIACION**
CONTENIDO DE HUMEDAD	CH
GRANULOMETRIA	GR
PARTICULAS DESLESNABLES	PD
CON 1 CARA FRACTURADA	ICFR
CON 2 O MAS CARAS FRACTURADAS	IICFR
PARTIULAS ALARGADAS	IAL
PARTICULAS APLANADAS	IAP
ABRASION	ABR
DENSIDAD RELATIVA SH	DRSH
DENSIDAD RELATIVA SSS	DRSSS
DENSIDAD RELATIVA APARENTE	DRA
DENSIDAD SH	DSH
DENSIDAD SSS	DSSS
DENSIDAD APARENTE	DA
ABSORCION	ABS

Nota. La Tabla indican las abreviaciones que se usaron para cada estudio, con esta tabla se logra dar un mayor entendimiento al lector. Fuente Propia.

Grafica 8

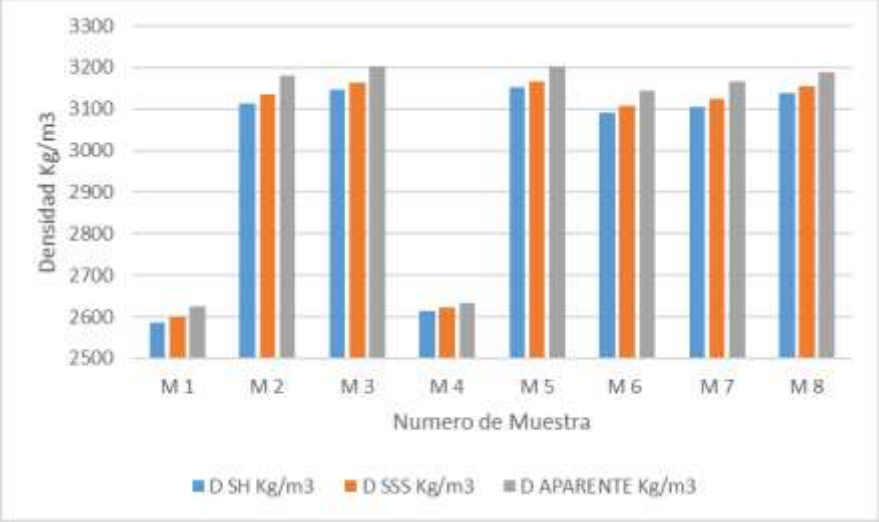
Densidad Relativa



Nota. La Grafica indica los resultados obtenidos después de aplicar las fórmulas para obtener el resultado de densidad relativa. Fuente Propia.

Grafica 9

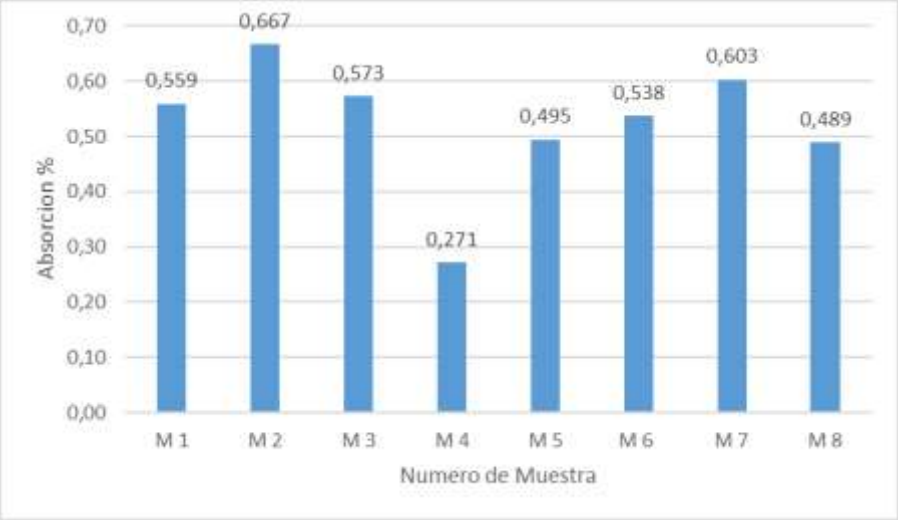
Densidad



Nota. La Grafica indica los resultados obtenidos después de aplicar las fórmulas para obtener el resultado de densidad. Fuente Propia.

Grafica 10

Absorción



Nota. La Grafica indica los resultados obtenidos después de aplicar las fórmulas para obtener el resultado de absorcion. Fuente Propia.

Caracterización de los agregados gruesos de ¾" de la cantera balastera Palermo

Para realizar esta caracterización se recolectaron 8 muestras de un peso aproximado de entre 5 y 8 kg de diferentes partes del Stock. Para determinar este número de muestras fue necesario emplear la Estimación Muestral por Formula Infinita que se visualiza a continuación.

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

n: Numero de repeticiones por ensayo

Z: Nivel de confiabilidad

p y q: Probabilidad de que ocurra

e: Error tolerable

Según cálculos realizados con las formula expuesta anteriormente y para el presente documento arrojo un resultado de n de 129.96. Por lo anterior, es importante mencionar que se realizaron un total de 8 ensayos de propiedades físicas y mecánicas, por lo tanto, se divide el valor de n sobre la cantidad de ensayos realizados para un total de 16 repeticiones.

Se debe aclarar que, para la tesis en cuestión, se realizó 8 repeticiones por cada propiedad estudiada a criterio de los investigadores, consultando personal experto en el tema estadístico.

Se utilizó el Software Infostat, para determinar los valores estadísticos de los diferentes resultados. A continuación, se puede evidenciar en la **imagen 12** resultados como la media, desviación estándar, el error estándar, coeficiente de variación, el valor mínimo, el valor máximo y la mediana, coeficiente de variación. Se resalta que los datos presentados se usó la media para la respectiva caracterización.

Imagen 12

Resultados estadísticos Infostat

Nueva tabla : 18/03/2024 - 11:13:27 a. m. - [Versión : 30/04/2020]

Medidas resumen

Variable	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana
CH	8	0,42	0,26	0,09	61,12	0,17	0,77	0,28
PD	8	1,86	2,47	0,87	132,78	0,29	7,40	0,61
ICFR	8	39,90	6,42	2,27	16,10	27,48	45,23	41,87
IAL	8	22,46	3,44	1,22	15,34	17,78	28,09	21,90
IICFR	8	78,23	5,11	1,81	6,53	72,44	88,60	77,15
IAP	8	13,70	3,29	1,16	24,02	9,80	20,02	12,97
ABR	8	13,58	5,35	1,89	39,37	0,50	16,97	15,05
DRSH	8	3,00	0,24	0,09	8,14	2,59	3,16	3,12
DRSSS	8	3,02	0,25	0,09	8,20	2,61	3,18	3,14
DRA	8	3,05	0,26	0,09	8,42	2,63	3,21	3,18
DSH	8	2993,32	243,69	86,16	8,14	2585,82	3151,19	3109,89
DSSS	8	3009,15	246,70	87,22	8,20	2600,29	3166,79	3129,64
DA	8	3042,30	256,17	90,57	8,42	2623,87	3203,61	3172,73
ABS	8	0,52	0,12	0,04	22,40	0,27	0,67	0,55

Nota. La Imagen indica los resultados obtenidos después de introducir los valores en el programa estadístico Infostat. Fuente Propia.

Para la comparación de resistencias se usó un diseño de mezcla facilitado por la empresa Concreinsa, el diseño de Mezcla se puede visualizar en la **Imagen 13**, así mismo se encuentra en los anexos en formato PDF.

Imagen 13

Diseño de mezcla

DISEÑO DE MEZCLA MR 40

CANTIDADES EN PESO

CEMENTO	1	CEMEX ESTRUCTURAL
AGREGADO FINO	2,1	AGREGADO FINO ALUVIAL PARA CONCRETOS COLOR GRIS VERDOSO CON
AGREGADO GRUESO	2,3	TRITURADO 3/4"

ESTRUCTURA: LOSA PAVIMENTO

RESISTENCIA DE DISEÑO: 40 MR

Resistencia esperada a Flexión: **4,0** Mpa

Ref.	fecha	fecha	Edad	DISTANCIA	ancho	alto	Carga		Modulo Rotura	
N°	fundicion	rotura	dias	APOYOS	b	d	KN	N	Mpa	kg/cm²
1	14-may	21-may	7	45,0	15,5	15,4	18,4	18400,0	3,4	34,5
2	14-may	11-jun	28	45,0	15,3	15,5	21,9	21900,0	4,0	41,1
3	14-may	11-jun	28	45,0	15,4	15,3	22,1	22100,0	4,1	42,2

OBSERVACIONES:

LA MEZCLA EN VOLUMEN

1,0	CEMEX ESTRUCTURAL
2,0	AGREGADO FINO ALUVIAL PARA CONCRETOS COLOR GRIS VERDOSO CON PRESENCIA DE GRAVAS
2,0	TRITURADO 3/4"

CEMENTO 404 kg/m³

RESISTENCIA DESEADA 40 MR

Nota. La Imagen indica el diseño de mezcla con el cual se va a realizar la comparación en cuanto a resistencias reemplazando el triturado del diseño por el estudiado en esta investigación. Fuente Propia.

Resultados de vigas a flexión en laboratorio

A continuación, se evidencia los resultados del laboratorio de vigas a flexión realizado por el especialista en geotecnia y estabilidad de taludes. Es importante mencionar que este documento se encuentra en los anexos firmado por el profesional.

Imagen 14

Diseño de mezcla

HAROLD DAVID TORRES VALLEJO
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y ESTABILIDAD DE TALUDES
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

ENSAYO RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO

Proyecto: CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y MECÁNICA DEL AGREGADO PÉTREO DE LA CANTERA BALASTERA PALERMO DEL MUNICIPIO DE MOCOA

Norma: I.N.V. E- 414 - 13

Fecha: 28/02/2024

Cliente: Investigadores:
Sebastian Cruz Ordóñez
Anlly Paola Otaya Chaves

Estructura (donde se tomo la muestra)	F. Fundicion	N° Muestra	N° Dias Curado	F. Rotura	Carga (kN)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Resistencia a la flexion (MPa)	Resistencia a la flexion (Kg/cm2)	Resistencia de diseño (Kg/cm2)	% Resistencia
VIGAS EN CONCRETO	16/01/2024	1	7	23/01/2024	26,00	157	157	3,02	30,83	40	77,07%
	16/01/2024	2	7	23/01/2024	28,15	157	157	3,27	33,38	40	83,45%
	16/01/2024	3	14	30/01/2024	30,39	157	157	3,53	36,04	40	90,09%
	16/01/2024	4	28	13/02/2024	31,21	157	157	3,63	37,01	40	92,52%
	16/01/2024	5	28	13/02/2024	32,50	157	157	3,78	38,54	40	96,34%
	16/01/2024	6	36	21/02/2024	38,59	157	157	4,49	45,76	40	114,40%

Caracteristicas muestras:	
Defectos:	Ninguno
Segregacion:	Sin segregacion
Fractura arido:	Alrededor
Acabado superficial:	Bueno

Observaciones:
* La muestra fue suministrada por el cliente, asi como la fecha de toma y los dias de curado. Nuestro laboratorio realizo unicamente la rotura de las muestras.
* Las letras en color rojo, indican que las muestras aun no han cumplido con la edad para su respectiva rotura.

Realizo: **Cristian Navarro**
Laboratorista

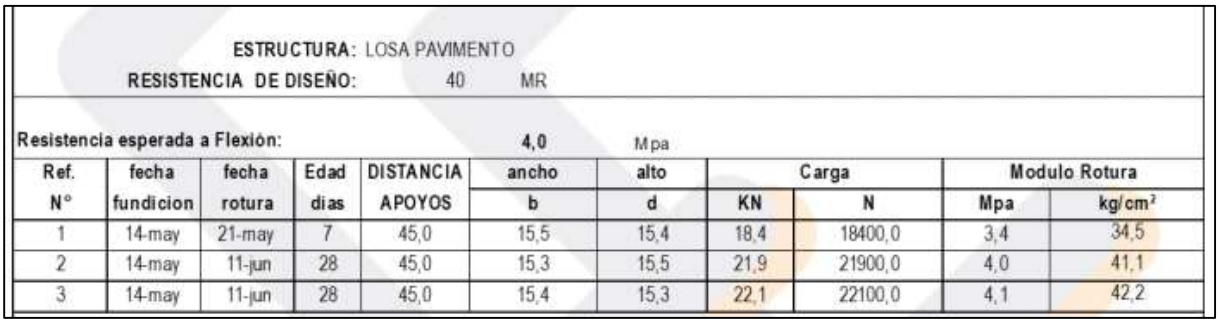
Reviso y aprobo: **Harold David Torres Vallejo**
Ingeniero Civil - MP 54202-386771 NTS
Esp. En Geotecnia y Estabilidad de Taludes

Nota. La Imagen indica los resultados del ensayo a flexión de las vigas elaboradas por los investigadores. Fuente Propia.

A continuación, se puede observar los resultados de laboratorio de vigas a flexión realizadas por Concreinsa, con el cual se hará la comparación, cabe resaltar que el documento del diseño de mezcla usado se encontrará en los anexos.

Imagen 15

Resultados de laboratorio vigas Concreinsa



ESTRUCTURA: LOSA PAVIMENTO
RESISTENCIA DE DISEÑO: 40 MR

Resistencia esperada a Flexión: 4,0 Mpa

Ref. N°	fecha fundicion	fecha rotura	Edad dias	DISTANCIA APOYOS	ancho b	alto d	Carga KN	Carga N	Modulo Rotura Mpa	Modulo Rotura kg/cm²
1	14-may	21-may	7	45,0	15,5	15,4	18,4	18400,0	3,4	34,5
2	14-may	11-jun	28	45,0	15,3	15,5	21,9	21900,0	4,0	41,1
3	14-may	11-jun	28	45,0	15,4	15,3	22,1	22100,0	4,1	42,2

Nota. La Imagen indica los resultados del ensayo a flexión de las vigas elaboradas por la empresa Concreinsa. Fuente Propia.

Tabla 11

Comparación de Resistencias

COMPARACION DE RESISTENCIAS (Kg/cm2)		
DIAS	**CONCREINSA**	**AUTORES**
7	34.5	30.83
14		37.01
28	42.2	38.54
36		45.76

Nota. En la tabla se evidencia la comparación que se deseó realizar entre los resultados de las vigas que realizo la empresa Concreinsa y las vigas que fueron elaboradas por los investigadores. Fuente Propia.

Por lo anterior, se puede decir que, a lo sietes días el resultado está muy cerca de la resistencia esperada, sin embargo, a los 28 días no alcanza a resistencia del diseño de mezcla que es de 4.0

Kg/cm2, alcanzando un MR de 38.54 Kg/cm2; finalmente se realiza el ensayo a flexión del testigo a los 36 días, el cual obtuvo una resistencia de 45.76 Kg/cm2.

Tabla 12

Caracterización de la muestra estudiada.

ENSAYO	METODO	TI	VALOR INFOSTAT	CUMPLE / NO CUMPLE
Resistencia al Desgaste en la Maquina de los Ángeles	INV.E-218,219	35% Máximo	13.58%	Cumple con los requerimientos
Terrones de Arcilla y Particulas Deleznables	INV.E-211	0.25% Máximo	1.86%	No cumple con los requerimientos
Caras Fracturadas 1 Cara	INV.E-227	75% Mínimo	39.90%	No cumple con los requerimientos
Caras Fracturadas 2 Cara	INV.E-227	50% Mínimo	78.23%	No cumple con los requerimientos
Índice de Aplastamiento	INV.E-240	10% Mínimo	13.70%	No cumple con los requerimientos
Índice de Alargamiento	INV.E-240	10% Máximo	22.46%	No cumple con los requerimientos

Nota. En la tabla se evidencia la caracterización del agregado grueso ¾" suministrado por la cantera balastrera Palermo. Fuente Propia.

Es importante resaltar que la **Tabla 12** con la cual se hizo la caracterización fue tomada del Libro Pavimentos, Materiales Construcción y Diseño, II edición. Según resolución 1424 del seis (06) de mayo del año 2022 y resolución 010910 del 2019.

CONCLUSIONES

- ✓ Una vez realizado el laboratorio de resistencia a desgaste en la máquina de los ángeles se obtuvo como resultado **FAVORABLE** ya que arrojó un valor por debajo del máximo permitido, por lo cual se puede decir que el material grueso de ¾ de la cantera *Balastrera Palermo* es altamente resistente.
- ✓ Analizado el estudio de 2 caras fracturadas donde se obtuvo un resultado de 78.24% siendo un valor que supera el mínimo permitido, por lo tanto, se puede afirmar que el concreto elaborado con este agregado de ¾" genera una mejor adherencia entre sus componentes.
- ✓ El material de ¾" proveniente de la cantera *Balastrera Palermo*, en el ensayo de laboratorio de partícula planas y alargadas alcanzo un porcentaje superior a lo exigido en la norma por lo cual se puede concluir que un concreto empleando este agregado será poco fluido y menos trabajable.
- ✓ En el ensayo de vigas a flexión se obtuvo una resistencia final de 45.76 Kg//cm2, alcanzando un 114.40% de la resistencia esperada que era de 40 kg/cm2. Por lo anterior se puede decir que una mezcla empleando la grava de ¾" proveniente de la cantera Balastrera Palermo **CUMPLE** con la resistencia deseada.
- ✓ Esta investigación se realizó para cumplir el objetivo de suministrarle a la cantera las propiedades físicas y mecánicas para su conocimiento y mejoramiento de la calidad del material extraído de la cuenca del rio Caliyaco.

RECOMENDACIONES

- ✓ Las propiedades mecánicas estudiadas en el material grueso de ¾” proveniente de la Cantera Balastrera Palermo, arrojaron resultados que no cumplen con lo mínimo o máximo requerido, por lo tanto, se recomienda a la Cantera Balastrera Palermo realizar revisiones periódicas a su maquinaria ya que el mal estado de la maquina puede incidir directamente en su proceso mecánico.
- ✓ El estudio de partículas deleznables cuyo resultado no cumple con el máximo requerido, se recomiendo hacer un estudio detallado por parte de la Cantera Balastrera Palermo, de la fuente de extracción para determinar un punto más estratégico con el fin de que las partículas no se vean contaminadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gonzales de Vallejo, L (2002). Ingeniería geológica, Pearson Educación, Madrid, 2002.

Mendoza, V. (2008) Evaluación de la calidad de agregados para concreto, en el Departamento de Totonicapán, México, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.

Vidal A. (2011). Ingeniería de alta calidad canteras Ltda. Triturados técnicas – agregados, Universidad ICESI, Facultas de Ciencias Administrativas, 2011.

Gonzales, A – Villa, E. (2012) Caracterización de agregados pétreos de la cantera Tritupisvar para su uso en la elaboración de concreto, Santa Marta, Colombia, Universidad Industrial de Santander, 2012.

Bracamonte, A – **Vetel, M – Cepeda, J. (2013)** Caracterización físico-mecánica de agregados pétreos de la formación geológica Toluviejo (Sucre) para producción de concreto, Universidad Tecnológica de Pereira, 2013.

Navarrete, M – Alonso, E. (2013). Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura. Revista ALCONPAT, 2013.

García, J – Giraldo, D. (2013). Caracterización de las canteras productoras de agregados pétreos en Cali y yumbo, Universidad de San Buenaventura Cali, Facultad de Ciencias Económicas, 2013.

Ferreira, D – Torres, K. (2014) Caracterización física de agregados pétreos para concretos casos: vista hermosa (Mosquera) y mina Cemex (Apulo), Universidad Católica de Colombia, 2014.

Navarro, L – Gonzales, J -Grandas, D. (2014) Caracterización del material de arrastre del rio Guayuriba a la altura del puente el palmar en la vía que conduce al Municipio de San Carlos de Guaroa – Departamento del Meta, Universidad Cooperativa de Colombia, 2014.

Vásquez Rojas, C. R. (2015). Universidad Nacional de San Martín, Argentina. *Tecnología de materiales*, 19.

Mamani, L - Salinas, R. (2015). Módulo estático de elasticidad del concreto en base a su resistencia a la compresión Fc=280 Kg/cm2, realizado con agregados de la cantera Arunta. Tacna.

Arangurí, G. **(2015**) La importancia del uso de agregados provenientes de canteras de calidad, Universidad Católica de los Ángeles de Chimbote, 2015.

López, J – Gómez, C – Jiménez, A. (2016) Caracterización de suelos granulares gruesos. El caso de la Grava de Lima, Perú, 2016.

Araujo, A – **Rodríguez, C – Ruano, D. (2017)** Análisis mineralógico, químico y porosimétrico de los agregados pétreos de una cantera perteneciente a la formación geológica de la

Sabána en el municipio de Soacha – Cundinamarca, Universidad Católica de Colombia, 2017.

Álzate, A. (2018). Caracterización físico-mecánica de los agregados pétreos (materiales de arrastre y canteras) del municipio de Dosquebradas, Universidad Libre Seccional Pereira, Facultad de Ingeniería, 2018.

Reategui, A – Zavaleta, J. (2020) Informe de tesis caracterización de los agregados de las principales canteras de la provincia de Tacna para optimizar su uso en obras de construcción 2018, Universidad Privada de Tacna, Facultad de ingeniería, 2020.

Rondón, H – Reyes, F. (S.F) Libro pavimentos, materiales construcción y diseño, II edición. Según resolución 1424 del 066 de mayo 2022 y resolución 010910 del 2019.

ANEXOS

Se anexa la memoria de cálculo realizada en el software Excel, el documento de diseño de mezcla de concreinsa, y el documento del ensayo a flexión elaborado para la comparación, así mismo se anexa el certificado de calibración de la maquina con la cual se realizo el ensayo a flexión.