

**ESTADO DEL ARTE SOBRE EL USO DE LOS AGREGADOS EN SANTANDER PARA  
LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS.**

**CARLOS EDUARDO HERNÁNDEZ CAPACHO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2019**

**ESTADO DEL ARTE SOBRE EL USO DE LOS AGREGADOS EN SANTANDER PARA  
LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS.**

**CARLOS EDUARDO HERNÁNDEZ CAPACHO**

**Proyecto de grado como requisito para optar por el título de Ingeniero Civil**

**Director (a):**

**LUZ MARINA TORRADO  
Ingeniera Civil**

VISTO BUENO DIRECTOR 

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2019**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

---

**Bucaramanga, Julio de 2019**

## **DEDICATORIAS**

Este trabajo quiero dedicarlo primordialmente a mi padre celestial, quien me permitió tener la vida y la capacidad para desarrollarlo, a mi familia que durante todo este proceso me acompañaron de manera incondicional, a mi prometida que en cada momento difícil me ayudó, sin duda cada situación y adversidad presentada para la culminación de la misma pudo superarse con el apoyo de todos. También quiero dedicar este trabajo a mi directora de proyecto, la ingeniera Luz Marina Torrado quien con paciencia y sabiduría me dirigió hasta la finalización del mismo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Jesús por su favor y gracia en cada paso de este proyecto y al Espíritu Santo por ser mi guía en cada parte de esta investigación. A mis padres, hermanos y futura esposa, por la comprensión y ayuda durante todo este proceso. A mis compañeros de carrera que por los muchos años que estuve fueron muchos de grandes aportes y enseñanzas.

A mis profesores quienes me impartieron sus conocimientos y formación para la vida profesional y para el desarrollo de este proyecto, así como a los trabajadores administrativos, ejecutivos, de servicios generales y demás, quienes a través de su servicio a la comunidad de la universidad hicieron posible llegar de la mejor manera a este punto. A la Universidad Pontificia Bolivariana por su dedicación para ir cada vez más en busca de la excelencia humana y profesional de sus egresados.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.1 DESCRIPCION DE LA SITUACIÓN PROBLEMA .....	2
3. OBJETIVOS.....	3
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
4. JUSTIFICACIÓN.....	4
5. ALCANCE.....	5
6. DISEÑO METODOLÓGICO .....	6
5.1. Fase Heurística: .....	6
6.2 Fase de Hermenéutica:.....	7
6 MARCO REFERENCIAL.....	9
6.1 ANTECEDENTES.....	9
7. MARCO CONCEPTUAL .....	12
8. MARCO TEÓRICO .....	13
9. RESULTADOS DOCUMENTALES RELEVANTES.....	37
Estudio 1.....	38
Estudio 2.....	41
Estudio 3.....	46
Estudio 4.....	51
Estudio 5.....	52
Estudio 6.....	54
Estudio 7.....	55
Estudio 8.....	59
Estudio 9.....	61
Estudio 10.....	64
Estudio 11 .....	65
Estudio 12.....	68

10. FICHA BIBLIOGRAFICA RELACIONADA .....	71
11. RESEÑA CONSTRUCTIVA .....	104
12. CONCLUSIONES.....	113
13. RECOMENDACIONES .....	114
14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	117

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1.....	20
Tabla 2.....	24
Tabla 3.....	25
Tabla 4.....	26
Tabla 5.....	27
Tabla 6 .....	29
Tabla 7.....	31
Tabla 8.....	40
Tabla 9.....	41
Tabla 10.....	42
Tabla 11.....	44
Tabla 12.....	45
Tabla 13.....	58
Tabla 14.....	60
Tabla 15.....	62
Tabla 16.....	63
Tabla 17.....	71
Tabla 18.....	104



## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. <i>Diseño metodológico de investigación</i> .....	9
Ilustración 2. Ricas ígneas, rocas sedimentarias, rocas metamórficas. [14] .....	15
Ilustración 3. Territorial No. 22 Santander .....	37
Ilustración 4. Fuente de materiales .....	48
Ilustración 5. Metodología propuesta para la caracterización de mezclas asfálticas con bloques pulidos mediante el software motic 2.0 .....	66
Ilustración 6. Calificación INVIAS 2016 .....	68

**RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** ESTADO DEL ARTE SOBRE EL USO DE AGREGADOS EN SANTANDER PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

**AUTOR(ES):** CARLOS EDUARDO HERNANDEZ CAPACHO

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** LUZ MARINA TORRADO

**RESUMEN**

Mediante un análisis documental de estudios existentes acerca del uso de los agregados para la construcción de pavimentos, se realizó una reseña constructiva a fin de obtener una evaluación crítica que permitiera identificar las necesidades relacionadas por medio de la metodología establecida, la cual consiste en el diseño y construcción de un estado del arte, mediante fases que comprenden la iniciación, explicación, análisis descriptivo, formulación, recolección y selección de información. La interpretación y construcción teórica constituyeron la fase final de la investigación en donde se dieron a conocer los resultados basados en la ficha bibliográfica relacionada, lo cual permitió identificar las tendencias de investigación que se desarrollan en la actualidad, esto es un insumo para las futuras investigaciones y la base para el direccionamiento metodológico de las mismas. El estudio destaca atributos tales como forma, color, reacción de sustancias de agregados, lo cual permite realizar una comparación de los utilizados en la actualidad teniendo en cuenta sus características y así mismo se identificaron las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. El alcance del presente trabajo fue el análisis detallado de investigaciones de aquellos lugares cuyas características climáticas, atmosféricas, geográficas, culturales y geológicas contribuyen al hallazgo exitoso de material óptimo para la fabricación de asfalto vial.

**PALABRAS CLAVE:**

Asfalto vial, Estado del arte, construcción de pavimentos, análisis descriptivo.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



**GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** STATE OF THE ART ON THE USE OF AGGREGATES IN SANTANDER FOR THE CONSTRUCTION OF PAVEMENTS

**AUTHOR(S):** CARLOS EDUARDO HERNANDEZ CAPACHO

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** LUZ MARINA TORRADO

**ABSTRACT**

Through a documentary analysis of existing studies concerning the use of aggregates for the construction of pavements, a constructive review was performed in order to obtain a critical assessment identifying needs by means of the established methodology, which involves the design and construction of a State of the art, through phases comprising the introduction, explanation, descriptive analysis, formulation, collection and selection of information. Interpretation and theoretical construction constituted the final stage of research where were announced results based on the bibliographical card related, which allowed us to identify the trends of research carried aun in Theo Today, this is an input for future research and the basis for the methodological addressing them. Study stake attributes such as shape, color, reaction of substances among others, which allows a comparison between aggregates used currently taking into account it's Characteristics and also the advantages are identified and disadvantages of each of them. The scope of the present work was the detailed analysis of investigations of those places whose climatic, atmospheric, geographic, cultural and geological features contribute to the successful finding of optimal material for the manufacture of asphalt vial.

**KEYWORDS:**

Asphalt road, State of the art, pavement construction, descriptive analysis.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK



## 1. INTRODUCCION

Es necesario realizar un estado del arte sobre los agregados para la construcción de pavimentos del departamento de Santander Colombia, el cual tiene por objeto recopilar la información.

Destacada del tema en desarrollo con el fin de darle gestión al conocimiento de los diferentes usos y finalidades que se les dan a los agregados y establecer una postura crítica frente a lo que se ha hecho y lo que hace falta por conocer en el departamento. Este proyecto investigativo resume y organiza avances de materiales extraídos de diferentes canteras ubicadas en la región mencionada, donde se identifican cualidades mediante ensayos, análisis y seguimientos de laboratorio, las cuales al ser puestas a prueba exponen su calidad y resistencia con valores medibles. Al tener datos cuantitativos de diferentes materiales, con diferentes resultados, se desglosa de manera individual resaltando lugares de extracción, materiales, procedimientos, resultados y conclusiones. A través de la búsqueda, selección y disposición de fuentes informativas de la dimensión hermenéutica se construye un proceso de comprensión que inicia en la lectura, descomposición y compilación de las conclusiones del comportamiento y capacidad de uso de los agregados de canteras o residuos producidos en el departamento de Santander expuestos en cada una de las investigaciones observadas.

Mediante la recopilación de la ficha bibliográfica seleccionada se identificaron en cada una de las investigaciones tema, tesis, propósito, ideas centrales, palabras claves y conclusiones, para de esta forma establecer una reseña constructiva mediante el análisis e interpretación del texto y la evaluación crítica de los mismos, lo que permite realizar una exploración documentada

de la literatura en la que se evidencie las prácticas y usos de los agregados para la construcción de pavimentos en el departamento.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1 DESCRIPCION DE LA SITUACIÓN PROBLEMA**

El presente trabajo se basa en la construcción de un estado del arte de los agregados utilizados en Santander para la construcción de pavimentos, obteniendo un análisis detallado de la evolución, prácticas actuales y tendencias a fin de identificar futuras oportunidades de investigación sobre el tema.

Mediante la contextualización del uso de agregados de la construcción de pavimentos en Santander, una exploración documentada sobre las prácticas y uso de los agregados, se espera generar nuevas interpretaciones que aporten al tema de investigación y de esta forma identificar las necesidades existentes en el uso de agregados en Santander.

La Ejecución de las investigaciones de los agregados, permite mejorar la calidad del concreto por medio de su caracterización, mediante el conocimiento del estado deseable teniendo en cuenta sus propiedades pese a los cambios de temperatura o humedad, resistentes a la acción de la intemperie sin descomponerse.

Investigaciones realizadas en este tema determinan que la subjetividad del operario al realizar esta práctica repercute en la calidad del mismo, dependiendo la función geométrica y las variaciones en la gravedad específica de los agregados a lo largo del tiempo. [1]

Por lo anterior, se considera necesario llevar a cabo procedimientos de explotación de los agregados que se rijan por la normatividad ambiental colombiana para este tipo de actividad.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Construir un estado del arte sobre los agregados utilizados en Santander para la construcción de pavimentos, obteniendo un análisis detallado de la evolución, prácticas actuales y tendencias a fin de identificar futuras oportunidades de investigación sobre el tema.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Plantear la contextualización temática del uso de agregados en Santander para la construcción de pavimentos.
- Realizar una exploración documentada de la literatura en la que se evidencie las prácticas y usos de los agregados para la construcción de pavimentos en el departamento de Santander.
- Describir el análisis obtenido de la exploración, clasificando y relacionando información que permita estructurar conceptos, validar hipótesis, extraer conclusiones y generar nuevas interpretaciones que aporten al tema de investigación.
- Identificar necesidades relacionadas con la producción documental existente sobre el uso de agregados en Santander para la construcción de pavimentos.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

El estudio del uso de los agregados en Santander, es de gran importancia para la construcción de pavimentos, para lo cual es importante realizar un análisis para recibir información de las investigaciones adelantadas hasta el momento, la cual sea base para futuras investigaciones.

Un concreto óptimo se debe a una estructura de agregados con la forma y secuencia de tamaños adecuados, para que se acomoden lo más densamente posible, lo cual indica que los agregados influyen en las características del concreto endurecido y por lo tanto se debe estudiar cómo lograr la correcta adherencia. [2]

Teniendo en cuenta que los agregados influyen en las características del concreto endurecido, según su resistencia, cantidad y tamaño de las partículas conocer que investigaciones se adelantan en el momento en cuanto a componente dinámico dentro de las mezclas podrán facilitar el estudio en cuanto a los cambios generados en la explotación, manejo y transporte.

Al conocer la resistencia y durabilidad relacionada a las propiedades físicas y químicas de los agregados en el detalle es posible determinar mejoras en la calidad del concreto ya que estudios realizados determinan que un problema al emplear el concreto es la poca verificación de las características de los agregados pétreos que utilizan, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados. [3]

Es necesario conocer las características geométricas de los agregados y los diferentes métodos que se adelantan al momento tales como el acomodamiento de partículas vertidas por flujo libre, inspección visual y la medición de dimensiones mediante el uso de planillas y calibradores para conocer el avance científico para lo cual es necesaria la investigación sobre la recopilación de muestras de materiales.

Diferentes investigaciones adelantadas han demostrado variaciones en la calidad de los agregados disponibles para la producción de concreto en Bucaramanga, por lo cual se espera conocer más a fondo las practicas utilizadas en la actualidad para la construcción de pavimentos en Santander. [4]

## 5. ALCANCE

El presente proyecto abarca la exploración sobre información documentada y estudiada previamente referente al uso de los agregados como la materia prima en la construcción pavimentos en el departamento de Santander, es decir, los municipios centrales y fronterizos, destacando primordialmente aquellos lugares cuyas características climáticas, atmosféricas, geográficas, culturales y geológicas contribuyen al hallazgo exitoso de material óptimo para la fabricación de asfalto vial.

La investigación se platea para una duración dieciséis semanas trabajo, tiempo prudencial en el que se busca consolidar información difusa y poco conocida sobre el tema, a fin de interpretar las tendencias actuales, pronosticar futuras e identificar posibles oportunidades de hallazgo.

De esta manera, la investigación cualitativa de tipo descriptiva, establece atributos como la forma, la reacción frente a diferentes sustancias, color, entre otras, y características numéricas, que requieren ser medidas, tales como sus dimensiones, variaciones y/o grados de dureza y resistencia, en los diferentes agregados utilizados, permitiendo construir un paralelo comparativo enfatizando ventajas y desventajas.

Así mismo, el conjunto de hipótesis que surjan a partir de ello permite definir el conjunto de prácticas actuales para el tratamiento de agregados, extraer conclusiones relevantes sobre



dichas prácticas, identificar fallas y falencias, para finalmente generar estrategias de mejora y/o nuevas posibilidades que puedan ser aplicables en el campo de la construcción, siguiendo las normas técnicas de construcción, leyes físicas, naturales y del país.

## **6. DISEÑO METODOLÓGICO**

La propuesta metodológica para el presente trabajo, consiste en el diseño y construcción de un estado del arte en el que se conglomeren la información existente y actual sobre el uso y tratamiento de los agregados para la construcción de vías, en el departamento de Santander.

Dicha reunión de información parte de la exploración organización y descripción del conjunto de evidencias y datos significativos existentes sobre el tema, por ende, se considera una investigación cualitativa de tipo no experimental, cuya información principal abarca atributos sobre las propiedades de los materiales que comúnmente son hallados y usados en Santander para la construcción de vías. Finalmente, el estudio presenta de forma ordenada el análisis evolutivo de los hallazgos sobre prácticas actuales y proyecta posibles tendencias en el campo.

El estudio en cuestión, se desarrolla con la ejecución de cada una de las siguientes fases y sub-fases de trabajo propuestas en el texto “Guía para construir estados del arte”, [5] acopladas al proyecto y explicadas a continuación:

### **5.1. Fase Heurística:**

Consiste en la búsqueda de información en fuentes confiables a fin de compilar la necesaria para elaborar y organizar las ideas. Esta primera fase requiere del desarrollo de seis pasos continuos, contemplados así:

**1. Iniciación:** Abarca la contextualización y objeto principal de estudio, es decir, identificación y manipulación de los agregados usados en la fabricación de concretos para la construcción de vías en el departamento de Santander.

**2. Exploración:** Constituye la indagación de la información en bases de datos, tesis, trabajos investigativos previos, artículos, noticias, reportajes, libros, entre otros, así como, entrevistas y preguntas a expertos con amplio bagaje en el área de la construcción.

**3. Análisis descriptivo:** Consiste en la extracción de las ideas principales, de los referentes históricos, conceptuales, contextuales, teóricos y legales, priorizando información referente a los lugares, fechas, autores, tipos de agregados, características físicas, propiedades químicas, metodologías investigativas, conclusiones, entre otras.

**4. Formulación:** Partiendo del análisis, se extraen conclusiones primarias, y se formulan hipótesis de investigación.

**5. Recolección:** Conforman la compilación de la información previamente seleccionada, por medio de la elaboración y registro de fichas bibliográficas que facilitan la organización de datos y/o evidencias, así como la identificación de la fuente y el orden cronológico.

**6. Selección:** Consiste en el filtro final o verificación de la información seleccionada, a fin de identificar suficiencia, saturación o insuficiencia de la misma, para así realizar.

## **6.2 Fase de Hermenéutica:**

Consiste en la fase palpable de la investigación, en la que se concreta la interpretación previa, lo indispensable de esta fase es pasar de la fragmentación, síntesis de textos, a la reflexión crítica frente al tema, es decir, en él se evidencia el aporte argumentativo del autor con una visión inherentemente subjetiva sobre los hallazgos. Esta fase se despliega en tres sub-fases sustanciales y sucesivas:

**1. Interpretación:** Abarca el análisis documental por áreas temáticas, de modo que se puedan integrar o relacionar entre sí, ampliando el horizonte hacia nuevas oportunidades de posibles hallazgos, en esta sub-fase se genera un aporte crítico sobre la información relevante;

**2. Construcción teórica:** Integra el conjunto de interpretaciones de modo escrito sobre los textos y núcleos temáticos, dando lugar a la construcción del estado del arte.

**3. Publicación o Exposición:** Constituye la fase final de la investigación, la cual trata dar a conocer los resultados del proyecto, a fin de ser aprobados, valorados por expertos y posteriormente utilizados para propiciar nuevas investigaciones.

La siguiente figura muestra gráficamente el diseño metodológico propuesto para el desarrollo del proyecto.



**Ilustración 1.** *Diseño metodológico de investigación.*

Fuente: Autor del proyecto

## 6 MARCO REFERENCIAL

### 6.1 ANTECEDENTES

Investigaciones realizadas en Santander han logrado identificar que la calidad depende directamente de los agregados existentes en él, tales como variaciones en la gravedad específica de los agregados a lo largo del tiempo y el comportamiento de la gravedad específica de los agregados en el tiempo.

Además, la diferencia encontrada en los diferentes concretos de la región permite concluir que la causa de las variaciones de resistencia a la compresión se da en el suministro de

los agregados, por lo cual la presente investigación explora estudios acreditados sobre el tema de los agregados en el departamento de Santander.

En el transcurso de los años en estas investigaciones se ha determinado que se realizan ensayos de los agregados como granulometría, límites de plasticidad, equivalente de arena, contenido de materia orgánica, peso específico y absorción de agregados, terrones de arcilla y el índice de aplanamiento y alargamiento, entre otras; en donde se ha determinado que al utilizar el material de estéril de la misma zona se ahorran gastos de transporte de material seleccionado como el recebo que es utilizado normalmente con este fin, encontrando beneficios en el ahorro de la extracción de los agregados para afirmar las canteras y disminución de la contaminación en los sectores de construcción, lo cual se considera un punto de investigación significativa y valiosa para lo que precede en investigaciones en esta materia.

El uso de los agregados en el concreto tiene como objetivo reducir los costos en la producción de la mezcla, en el relleno adecuado para la mezcla, reduciendo el contenido de pasta de cemento por metro cúbico, ayudar a controlar los cambios volumétricos y aportar a la resistencia final del material. [6]

La forma y textura superficial de las partículas individuales de cualquier tipo de agregado tienen una influencia importante en la manejabilidad del concreto en su estado fresco y en otras características físicas de su estado sólido.

Trabajos de investigación elaborados por estudiantes que han hecho proyectos sobre la utilización de los estériles del carbón, como materiales pétreos o agregados para bases y subbases y como material cementante, como adiciones en concretos hidráulicos.

Según la investigación realizada en el departamento de Santander, se ha determinado que la arena aplicada como un agregado más a determinada mezcla y no como reemplazo al 1 de

granzón, parece darle mayor resistencia a la vía como ocurrió en el municipio de Labranzagrande. El contenido de bitumen en las vías no depende tanto del tiempo de aplicación sino de cómo se mezcle en el patio con los demás agregados. [7]

Dicha exploración aporta al presente estado del arte, el modo de explotación de la mina por ser a cielo abierto es admitido, pero el modo de mezcla en el patio debe ser más tecnificada para que la arena asfáltica junto con otros componentes forme una mezcla más homogénea. Se recomienda hacer más estudios sobre otros tipos de diseño al material. Uno de ellos puede someter el asfalto puro sin agregados a altas temperaturas y así determinar si ésta es más adherente a los otros componentes de la mezcla.

Según un estudio realizado por la Universidad Industrial de Santander, sobre crudos pesados y asfaltos naturales, la construcción de vías secundarias y terciarias genera desarrollo social y económico. Éstas requieren de materiales de bajo costo, alta disponibilidad, propiedades que garanticen larga vida de servicio y un costo mínimo de mantenimiento.

Estos materiales son de relativa abundancia y que para su procesamiento requiera tecnología limpia tradicional con el mínimo impacto ambiental. El objetivo es desarrollar una metodología y con ello una norma a nivel nacional que oriente las actividades de aplicación y manejo de los crudos pesados y asfaltos naturales, en su uso como gigante asfáltico, para la construcción de vías de segundo y tercer orden.

Investigaciones han estudiado que las actividades humanas han provocado un deterioro de las características físicas de los suelos, debido a la necesidad de alimentos y bienestar para la sociedad, lo cual se ve reflejado en el aumento de áreas dedicadas a la actividad agrícola. La estabilidad de agregados del suelo en los cuatro agro ecosistemas más representativos del departamento Norte de Santander y comparar los valores obtenidos de la estabilidad de

agregados con la humedad, textura, compactación, densidad aparente, densidad real y Porosidad total del suelo. [8]

## 7. MARCO CONCEPTUAL

**Fraguado:** Proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón producido por la desecación y re-cristalización de los hidróxidos metálicos, por lo general se realiza en un horno de calentamiento y moldeado. [9]

**Juntas:** Las juntas de construcción se utilizan para controlar deformaciones y reducir los incrementos en los materiales por la dilatación térmica, las más comunes se encuentran en las losas de pavimentos o pisos de concreto y en los muros de los edificios. Se clasifican en tres tipos: juntas de contracción (cuyo propósito la determinación previa de las grietas, con fines estéticos y de funcionamiento), juntas de expansión (aquellas que permiten la separación estructural del piso de concreto con otros elementos fijos, fin de ocasionar movimientos diferenciales horizontales y verticales) y juntas de construcción (consiste en espacio instalado cuando ha terminado la jornada de trabajo siguiendo un plan de determinado, es decir, por lo general son programadas, sin embargo también se pueden presentar por causas fortuitas como daños en los equipos de colocación, lluvia o interrupción del suministro de concreto) [10]

**Resina epóxica o poli-epóxido:** consiste en un polímero termoestable que endurece al ser mezclado con un agente catalizador, por lo que es considerado un fuerte adhesivo termoplástico, entre los más comunes se encuentran la reacción entre la epíclorohidrina y el bisfenol-a, caracteriza por ser más resistente que el hormigón, es impermeable y no presenta fisuras, para la

construcción es empleado para la reparación, protección y sellado de juntas de hormigón, impermeabilización de estructuras y unión de elementos estructurales. [11]

## 8. MARCO TEÓRICO

### AGREGADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

Los agregados son componentes inertes derivados de la trituración natural o artificial de diversas piedras de granulometría variable, que al ser mezclados con agua y cemento conforman el trio de ingredientes necesarios para la fabricación de concreto. [12]

A nivel nacional, existen normas tales como la NTC del Instituto Colombiano de Normas Técnicas e INVE del Instituto Nacional del Vías (INVIAS), las cuales contienen los requisitos técnicos relacionados con conceptos, características y procedimientos aplicados a la valoración de las propiedades de los agregados para la construcción de pavimentos, de las cuales se destacan:

- **NTC 174: “CONCRETOS, ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETOS”.** Establece los requisitos de granulación y calidad de los agregados finos y gruesos (exceptuando livianos y pesados) para la construcción de pavimentos.

**Agregado fino:** compuesto por arena natural, triturada o su combinación; su granulometría se mide pasado el material por tamices de 150  $\mu$ m hasta 9.5 mm, debe cumplir con los requisitos especificados en los numerales 5 (características generales), 6 (gradación), 7 (sustancias dañinas) y 8 (sanidad) establecidas por la norma.



**Agregado grueso:** compuesto por grava, grava triturada, escoria de alto horno enfriada al aire, roca triturada, concreto triturado con cemento hidráulico o una combinación de ellos; debe cumplir con los requisitos de granulación del numeral 10, el cual establece un rango bastante amplio a fin de cobijar las condiciones variables de todo el país, estas fueron compiladas en la tabla 2. Propuesta por la norma, también debe cumplir con los requisitos de sustancias dañinas incluidas en el numeral 11 de la misma. [13]

Aunque la anterior constituye la clasificación básica, este tipo de materiales también se pueden clasificar según su origen, modo de fragmentación, peso específico y los reciclados.

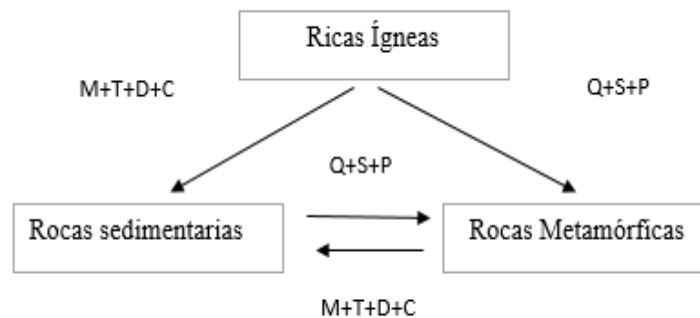
**Clasificación según su origen.** De acuerdo con la procedencia de las rocas y los procesos físico-químicos de su formación, de esta manera pueden ser:

**Agregados ígneos:** Provenientes de rocas ígneas, o aquellas que son formadas por el enfriamiento y solidificación de materia rocosa fundida (magma). Sus principales usos en la Ingeniería Civil son para la construcción de muros de contención, pisos ornamentales, rompeolas, como parte de agregado grueso.

**Agregados sedimentados:** Provenientes de rocas sedimentarias, las cuales son las más abundantes en la superficie terrestre, estas rocas se forman de fragmentos de rocas ígneas, metamórficas u otras sedimentarias, se originan por descomposición o desintegración química.

**Agregados metamórficos:** Provenientes de rocas metamórficas, a su vez derivadas de ígneas y sedimentarias, experimentan temperaturas elevadas, grandes presiones y emanación de gases del magma; estas rocas pueden ser derivadas de metamorfismo de contacto (intrusión de magma y calor aportado) o metamorfismo dinámico (grandes extensiones y

profundidad en condiciones de altas presiones de confinamiento junto con reacciones químicas)



M: Meteorización

D: depósito

O: Calor

P: Presión

T: Transporte

C: Cementación

S: Solución

**Ilustración 2.** Rocas ígneas, rocas sedimentarias, rocas metamórficas. [14]

Fuente: [http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/5/9589322824\\_Parte1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/5/9589322824_Parte1.pdf)

**Clasificación por tipo de fragmentación.** Estos pueden ser:

**Agregados naturales:** aquellos que son fraccionados por medios naturales como la erosión.

**Agregados manufacturados:** todos los agregados fragmentados con procesos mecánicos.

**Clasificación por peso específico.** Determinado a través del peso unitario de los agregados y pueden ser:

**Agregados ligeros**

### **Agregados normales**

### **Agregados pesados**

**Agregados Recicladados:** Tienen su origen principal las demoliciones y varían de pendiendo de la estructura de la que provengan y de factores como la función para la cual fue diseñada la estructura original, edad, zona, entre otros. Estos a su vez pueden ser limpios, es decir, compuestos por un solo elemento (95%) y un porcentaje bajo de impurezas (5%), y sucio, que son aquellos agregados que tienen valores fuera de los rangos establecidos.

El uso de los agregados en el concreto tiene como objetivo reducir los costos de producción de mezcla, contribuir a controlar los cambios volumétricos y aportar resistencia al final del material. Dicho componente tiene una participación del 65%, hasta el 70% del total de la mezcla de concreto. La forma y textura superficial de las partículas individuales de cualquier agregado influyen en la manejabilidad del concreto en su estado fresco, y en algunas características físicas en su estado sólido, por ende existe un límite en el contenido de agregado grueso, dado por la trabajabilidad del concreto, ya que si se excede, ocurre el fenómeno de la segregación; así mismo, la cantidad de agregado fino debe ser dosificado para que le brinde su adecuada uso y cohesión a la mezcla, de otra manera puede perjudicar la misma resistencia del concreto final. [15]

## PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

**Propiedades Químicas.** Por lo general los agregados conservan la composición mineralógica de la roca origen, sin embargo, en los últimos tiempos se han observado una serie de reacciones químicas de algunos de ellos con el cemento, cuando estos se emplean en concretos.

- **Reacción Álcali-Agregado:** cuando reaccionan con el álcali del cemento, los más comunes son los agregados silicios (álcali-sílice) y los agregados carbonatados (álcali-carbonato), este último en menor proporción. La reactividad potencial se mide mediante ensayos químicos descritos en la norma NTC N°.175, los cuales consisten en determinar las reacciones entre el agregado después de triturado y una solución de hidróxido de sodio.

Existen otras pruebas que determinan la afinidad del sílice del agregado y el álcali del cemento, contenida en la norma ASTM-C227, con la prueba de mortero, midiendo la expansión en pequeñas barras de agregado fino y grueso que son almacenadas bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad, durante un periodo de tres a seis meses; esta prueba es altamente confiable, al igual que aquella que determina la reacción álcali-carbonato, contenida en la norma ASTM-C586, conocida como la prueba del cilindro roca.

La reacción esperada para que el agregado sea químicamente favorable, recibe el nombre de Epitaxia, la cual corresponde que existe una mejor adherencia de los agregados calizos al cemento, con el pasar del tiempo.

### **Propiedades Físicas.**

- **Granulometría:** se refiere el tamaño de las partículas y su porcentaje en una masa de agregado, se mide por medio del proceso de tamizaje, utilizando una serie de tamices

standards organizados de mayor a menor, esta operación se realiza según la norma NTC.

Nº.77.

- **Curvas granulométricas:** Para una mejor visualización de la distribución del agregado, los resultados del análisis granulométrico se representan gráficamente mediante una curva granulométrica, la cual permite interpretar si un material tiene una gradación adecuada, si la curva resulta de forma horizontal indica una gradación densa o cerrada, sin excesos ni defectos, y si resulta una curva horizontal indica una gradación abierta, en la que existen espacios vacíos entre partículas.
- **Análisis granulométrico:** Existen otros tipos de valores extraíbles del análisis granulométrico que permite determinar otros parámetros en los diseños como factores de calidad del agregado, tales como: el *tamaño máximo nominal* (tamaño promedio del material grande particulado retenido en el tamiz superior, que suele ser del 15%), *módulo de finura* (mide el grosor de un material, clasificado el material de acuerdo a rangos determinados), y *porcentaje de finos* (corresponde al % que pasa por el tamiz ICONTEC Nº. 200-0.074 m.m).
- **Formas de las partículas:** para determinar su forma se debe definir: *la redondez* (si la partícula tiene aristas definidas –angular- o desgastadas –redondeadas-), *esfericidad* (relaciona área superficial y volumen, pueden ser-esféricas, *cubicas*, tetraédricas, laminares y alargadas-), *partícula alargada* (aquella cuya relación entre longitud y anchura es de 1.5:  $\frac{L(\text{longitud})}{b(\text{ancho})} > 1.5$ ), y *partícula plana* (aquella cuya relación entre espesor y ancho es de 0.5:  $\frac{d(\text{espesor})}{b(\text{ancho})} > 0.5$ ).
- **Textura:** Corresponde a la adherencia del agregado y su fluidez con las mezclas de concreto.
- **Densidad:** debido a su composición de minerales y poros, densidad puede ser *densidad*

- *absoluta* ( $DA = \frac{Ps(\text{peso material seco})}{V_m(\text{volumen masa}) - V_v(\text{volumen vacíos})}$ )
- *densidad nominal* ( $DN = \frac{Ps(\text{peso material seco})}{V_m(\text{volumen muestra}) - V_{vs}(\text{volumen poros saturables})}$ )
- *densidad aparente* ( $D_{Ap} = \frac{Ps(\text{peso material seco})}{V_m(\text{volumen masa})}$ )
- Las normas NTC N°. 237 y NTC N°.176, indican el procedimiento para calcular la densidad de agregado fino y grueso, respectivamente.
- **Porosidad y absorción:** la porosidad es la cualidad más importante del agregado, puesto que se relaciona directamente con la adherencia y la resistencia a la compresión y flexión de las partículas, está igualmente asociada a la capacidad de absorción de líquido del agregado, dependiendo el número de poros, sus tamaños y su continuidad, los agregados pueden estar en : secado total, parcialmente húmedo, saturado y superficialmente seco, o humedad total, para su determinación, en agregados finos y gruesos, se deben seguir las estipulaciones de la NTC 237 Y 176, respectivamente, usando la formula
- ( $\% \text{ absorción} = \frac{P_{sss}(\text{peso saturado y superficialmente seco}) - P_s(\text{peso seco})}{P_s(\text{peso seco})} * 100$ ).
- **Masa unitaria:** relación entre el peso de una muestra de agregado compuesto de varias partículas y el volumen de estas agrupadas en un recipiente de volumen conocido, existen dos tipos de masa unitaria: *peso compactado* (peso del material compactado dividido entre el volumen que ocupa, se halla según la NTC N°.92, se usa para determinar el volumen absoluto de agregado grueso en mezclas de concreto), y *peso suelto* (relación del peso de agregado en estado en reposo y el volumen que ocupa, este suele ser menor que el peso compactado)
- **Expansión y abultamiento:** o hinchamiento de la arena, consiste en el aumento de volumen debido a la presión ejercida por el agua libre entre las partículas de arena, si el agua libre

aumenta de un 5 a 8%, el abultamiento puede llegar hasta un 20 o 30%, la expansión puede llegar a un máximo de 40% en arenas finas y 20% en arenas gruesas, si el contenido de agua libre aumenta, la expansión disminuye y si la arena está inundada no existe hinchamiento.

### Propiedades mecánicas.

- **Resistencia:** propiedad que depende de la estructura de los granos de la partícula, existen pruebas que miden el comportamiento de estas frente a procesos de compresión y elasticidad, las cuales permiten pronosticar el comportamiento del agregado en el concreto, según la resistencia la roca se puede clasificar así:

Tabla 1.

#### Resistencia.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia muy alta	>2250
Resistencia alta	1120 – 2250
Resistencia media	560 – 1120
Resistencia baja	280 – 560
Resistencia muy baja	<280

Fuente: [http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/5/9589322824\\_Parte1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/5/9589322824_Parte1.pdf) [14]

- **Tenacidad:** consiste en la resistencia del agregado al impacto, esta propiedad es fundamental, dado a que, si son agregados débiles al impacto, alteran su granulometría y por ende la calidad final de la obra.
- **Adherencia:** Esta es una característica importante, pues del poder aglutinante del agregado depende de la resistencia y durabilidad de estos concretos, esta a su vez está dada por la

forma, textura y tamaño de las partículas. No existe una forma de medir la adherencia al cemento, pero sí al asfalto, utilizando de guía la norma británica.

- **Dureza:** es el tipo de resistencia del agregado frente al roce y el desgaste diario, los agregados utilizados en carreteras y pisos deben ser especialmente resistentes al desgaste. Para determinar esta propiedad se realiza el ensayo en la máquina de los Ángeles, siguiendo las pautas descritas en la NTC 90 y 98, según los pesos y tamaños de las muestras se obtiene un porcentaje de desgaste que se compara con el valor especificado por la norma.
- **Sanidad:** consiste en la capacidad para soportar cambios excesivos de volumen por acción del intemperismo, se determina mediante pruebas estipuladas por la norma ICONTEC 126, ensayos que mediante la simulación acelerada de procesos de calentamiento, humedecimiento, secado, congelamiento y deshielo, identifican y clasifican a los agregados como de baja o alta resistencia al intemperismo, señalando la durabilidad futura de la estructura por aspectos superficiales (descaramiento) y por estabilidad (agrietamientos internos).

**Presencia de sustancias perjudiciales.** Los limos, arcilla y polvos procedentes de la trituración de rocas con tamaños menores 0.074 mm de diámetro son perjudiciales si se encuentran en un alto porcentaje en los agregados, ya que intervienen en la adherencia de este al cemento. Algunos tipos de estos materiales pueden producir expansión o encogimiento, que generan presiones internas, agrietando la estructura; el procedimiento para determinar el porcentaje de este material perjudicial consiste en un análisis de granulometría descrito en la NTC 78, y para detectar si se trata de limo o arcilla se emplean equivalencias con la arena o los límites de Atterberg.



**Contenido de materia orgánica.** Abarca todo material en descomposición de vegetales y sustancias carbonosas, cuya composición química es humus, la presencia alta de este, se impide total o parcialmente el fraguado del cemento. Para determinar el contenido de este material en las arenas, se realiza un ensayo cuantitativo descrito en la NTC 127, comparando la coloración producida al añadir una solución de hidróxido de sodio al 3% resultante con los rangos estipulados en la tabla de referencia en la NTC 174. [14]

## PAVIMENTOS

### Influencia de los agregados y en obras civiles

El pavimento es la superestructura de cualquier obra vial, la cual posibilita el tránsito de los vehículos con comodidad, seguridad y economía, los agregados que se utilizan para la construcción de estos deben ser de mejor calidad en la medida que se acerque a la superficie, dado a que el esfuerzo vehicular es mayor en la capa de rodadura que en la sub-base. Los pavimentos pueden ser:

**-flexibles,** es decir, los formados por sub-base, base y capa de rodadura, en los que contienen agregados pétreos, se denominan así porque admiten algunos grados de deformación.

**-rígidos, compuesto** por sub-base y losa de concreto que debe absorber los esfuerzos de flexión vehicular por lo que debe descansar sobre una superficie completamente uniforme, generalmente de material granular.

En la actualidad, se reconocen dos tipos de pavimentos, pavimento de asfalto y pavimento de concreto, cuya principal diferencia radica en la forma en que le son transmitidas las cargas vehiculares; comparativamente, el pavimento de concreto, posee algunas ventajas frente

al pavimento de asfalto, tales como: mejor transmisión de la carga generada por el tránsito, menor deteriora a lo largo del tiempo, más seguro, y por ende, más económico, por su naturaleza rígida (absorbe más carga), por lo que su estructura (base granular y capa de rodadura) es menor.

Para la construcción de pavimento asfáltico se utiliza *cemento asfáltico*, el cual es un subproducto del proceso de refinación del petróleo, derivado de la extracción de gasolinas, aceites livianos y pesados, suele ser un proceso de bajo costo, sin embargo, el resultado tiende a sufrir baches en poco tiempo y favorece el encharcamiento, hoy por hoy, sigue predominando vías construidas con este material, dado a que fue el material pionero. [16]

Por otro lado, el pavimento hidráulico es fabricado con *cemento hidráulico*, el cual es un producto fabricado mediante un proceso industrial a partir de la caliza y arcilla, llamado concreto, este tiene la capacidad de absorber el esfuerzo y distribuirlo como si fueran losetas, este tipo de vías puede llegar a registrar una buena de vida hasta los 30 años después de su instalación, por tal motivo, su costo de inversión es mayor, sin embargo, además de durabilidad ofrece mejor resistencia y evita la formación de encharcamientos. [17]

Según un estudio publicado en el 2005 por el “centre d’information sur le cemento et ses applications” de Francia, en el que se comparan los impactos ambientales durante su ciclo de vida (construcción, mantenimiento y reconstrucción) de 1 km de carretera de cuatro carriles, con pavimento de concreto hidráulico y de concreto asfáltico, se reportaron los resultados, resaltando que existe una reducción de 2.5% de la energía primaria consumida, de la misma manera en el consumo de materia prima agotable se registró un 7.5% en el pavimento de concreto, señalando varios puntos a favor de este tipo de material para la construcción de vías;

sumado a que el costo del cemento asfáltico se encuentra estrechamente ligado al precio internacional del crudo, lo que es inestable y variable en comparación con el precio del cemento hidráulico.

**Tabla 2.**

*Comparativo entre pavimento de asfalto y pavimento de concreto.*

	Asfalto: “5 años de vida promedio”	Concreto: “30 años de vida promedio”
<b>Construcción</b>	Necesita mayor cantidad de material granular, lo cual es muy difícil de controlar.	Requiere 50% menos de material granular en las bases.
<b>Construcción</b>	Avances menores o iguales a los del pavimento de concreto.	Considera avances de construcción: un carril por día.
<b>Mantenimiento</b>	Se debe mantener desde los 2 a 5 años, por lo menos.	Se mantiene recién cada 10 años.
<b>Mantenimiento</b>	Se realiza en mayor tiempo: 1 Km. En 7 días.	Se realiza en menos días: 1 Km, en 3 días.
<b>Mantenimiento</b>		Costo de hasta 45% menos que asfalto.
<b>Mantenimiento</b>	Mayor costo social: congestión vehicular, mayor consumo de combustible, contaminación sonora.	Menos costo social: menor congestión vehicular, mayor ahorro de combustible, no contaminación sonora.
<b>Resistencia</b>		Aumenta su resistencia en el tiempo. Resiste derrames de gasolina y diésel.
<b>Rehabilitación</b>	Mantenimiento constante, nunca termina.	Después de su vida útil: 30 años
<b>Durabilidad</b>	Menor durabilidad: se mantiene cada 2 años.	Mayor durabilidad: se mantiene después de 10 años de vida (excede su esperanza de vida)

Fuente: <http://www.unicon.com.pe/repositorioaps/0/0/jer/pavitipopv/TIPOS%20DE%20PAVIMENTO.pdf>

El Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), estipula una serie de requisitos mediante la caracterización de estos dos materiales utilizados en la construcción de vías, denominados: *Especificación Particular Mezcla Asfáltica Natural, Art.442P-17 y Pavimento de Concreto*

*Hidráulico, Art.500-13*, en los que describe los insumos, maquinas, herramientas y procedimientos, que intervienen en la producción de estos materiales, exigiendo que se desarrollen bajo ciertos criterios o estándares de calidad, a continuación se relaciona la información más relevante en cuanto a los insumos necesarios para su formación.

**Mezcla Asfáltica Natural, Art.442P-17.** Las capas asfálticas en función de su posición se clasifican en: Rodadura, Intermedia y Base.

**Tabla 3.**

*Denominación de las capas asfálticas.*

<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Rodadura</b>	Capa superior
<b>Intermedia</b>	Capa subyacente a la rodadura, en estructuras con 2 o más capas asfálticas.
<b>Base</b>	Capa o capas subyacentes a la intermedia, en estructuras con 3 o más capas asfálticas.

Fuente: INVÍAS 2013.

La mezcla Asfáltica Natural es compuesta fundamentalmente por arenas finas y conglomerado impregnado de asfalto, siendo este el parámetro común para los depósitos en el territorio colombiano, los agregados pétreos utilizados en la mezcla deben ser exentos de materia orgánica o material perjudicial y además deben satisfacer totalmente los requerimientos granulométricos establecidos en el numeral 4000.3.1 del artículo 4000-13 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías, versión 2013. El constructor responsable del proyecto debe realizar los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados a utilizar, la siguiente tabla recopila los requisitos que debe cumplir los agregados pétreos para ser utilizados en la mezcla asfáltica natural.

En caso de ser necesario se podrá adicionar una emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, de los tipos CRL-1 o CRL-1h, estas emulsiones son conocidas como *ligantes asfálticos*, las cuales para efectuar su función deben ser compatibles con los agregados pétreos empleados además de cumplir con los requisitos de calidad establecidos en el art. 411-13. Las características que deben cumplir estas emulsiones son:

**Tabla 4.**

*Características de las emulsiones asfálticas catónicas de rotura lenta.*

ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN	NORMA DE ENSAYO INV	ROTURA LENTA			
		CRL-1		CRL-1h	
		Min.	Max.	Min.	Max.
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, S	E-763-13	20	200	20	100
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C, S		-	-	-	-
Contenido de agua, %	E-761-13	-	43	-	43
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas), %	E-764-13	-	1	-	1
sedimentación a los 5 días, %			5		5
Destilación	E-762-13	57	-	57	-
Contenido asfalto residual, %		-		-	
Contenido de aceite, %					
Tamizado	E-765-13	-	0.10	-	0.10
Retenido tamiz No.20 (850um), %					
Demulsibilidad, %	E-766-13	-	-	-	-
Rotura en ensayo de mezcla con cemento, %	E-770-13	-	-	-	2.0
Carga de partícula	E-767-13	Positiva		Positiva	
pH	E-767-14	-	6	-	6
Cubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento	E-769-13	-	-	-	-
- Con agregado seco y acción del agua					
- Con agregado húmedo					
- Con agregado húmedo y acción del agua					
<b>Ensayos sobre el residuo de destilación</b>					
Penetración (25°C, 100 gr, 5s), 0.1 mm - ARD	E-706-13	60	100	60	100
- - ARB		100	250		
Ductibilidad (25°C, 5 cm/min), cm	E-702-13	40	-	40	-
solubilidad en tricloroetileno,%	E-713-13	97.5	-	97.5	-

Fuente: INVÍAS 2013.

Por último, a la mezcla se debe adicionar *agua*, la cual debe ser limpia y libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias perjudiciales, preferiblemente debe tratarse de agua potable, de otra manera, debe cumplir los requisitos de la siguiente tabla.

**Tabla 5.**

*Requisitos de agua no potable para la construcción de sub- base y base estabilizada con mezcla asfáltica natural.*

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO ASTM	REQUISITO
PH	D1293	5.5 – 8.0
Contenido de sulfatos, expresado como SO <sub>4</sub> , g/l máximo.	D516	1.0

Fuente: INVÍAS 2003.

Así mismo se estipulan en la norma los controles de calidad que se deben realizar sobre los insumos, el proceso de producción y producto final, contemplando también posibles correcciones y el proceso de reconstrucción de las diferentes capas en asfalto natural. [18]

**Pavimento de Concreto Hidráulico, Art.500-13.** La construcción de este pavimento consiste en la elaboración, transporte, colocación y vibrado de la mezcla de concreto en forma de losas con o sin refuerzo. Este producto requiere una serie de procesos y actividades necesarias para su correcta construcción, las cuales deber ir acordes a los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos del proyecto o debidamente ajustados por el interventor.

*El concreto* está formado por la mezcla homogénea de cemento con o sin adiciones, agua, agregado fino, agregado grueso y aditivos, los cuales deben cumplir los requisitos mencionados a continuación:

- El *cemento* utilizado será hidráulico de uso general, de marca aprobada oficialmente (Según lo indicado en el Art. 501): Portland tipo I (norma ASTM C150); tipo IS o IP (norma ASTM C595); o tipo GU (norma ASTM C1157), a menos que el proyecto en particular lo señale. Previo a su uso, el constructor debe presentar como parte del diseño de la mezcla, el resultado de todos los ensayos físicos y químicos relacionados con el cemento, dado a que si algún cemento se ha endurecido o contiene terrones endurecido no podrá ser utilizado, por lo que no se permite usar el cemento de bolsas usadas en jornadas anteriores.
- El *agua* debe cumplir con los requisitos mencionados en el numeral 630.2.3 del Art. 630.
- El *agregado fino*, o aquel que pasa el tamiz de 4.75 mm (Nº 4), provenientes de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderurgias u otro producto adecuado, sin embargo el porcentaje de arena no podrá exceder el 30% de la masa de agregado fino, y debe cumplir las siguientes características de granulometría.

**Tabla 6**

*Comparativo entre pavimento de asfalto y pavimento de concreto.*

	<b>TAMIZ (mm/U.S STANDARD)</b>						
<b>TIPO DE</b>	9,5	4.75	2.36	1.18	0.600	0.300	0.150
<b>GRADACIÓN</b>	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No. 50	No.100
	<b>%PASA</b>						
<b>UNICA</b>	100	95-100	80-100	80-85	25-60	10-30	2-10

Fuente: INVIAS 2008.

Siempre que el módulo de finura varíe en más de dos décimas (0.2), respecto a la gradación elegida, se deberá ajustar el diseño de la mezcla, además debe cumplir con los requisitos de calidad estipulados en la siguiente tabla.



Tabla 7

*Requisitos de agregado fino para pavimento de concreto hidráulico.*

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
<b>Durabilidad (O)</b>		
<b>Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)</b>		
-Sulfato de sodio	E-220	10
-Sulfato de magnesio		15
<b>Índice de plasticidad (%)</b>	E-125 y E-126	NP
<b>Equivalente de arena, mínimo (%)</b>	E-133	60
<b>Terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)</b>	E-211	3
<b>Partículas livianas, máximo (%)</b>	E-221	0.5
<b>Material que pasa el tamiz de 75um</b>	E-14	3
<b>Color más oscuro permisible</b>	E-212	Igual a muestra patrón
<b>Contenido de sulfatos, expresado como SO<sub>4</sub></b>	E-233	1.2
<b>Absorción (O)</b>		
<b>Absorción de agua, máximo (%)</b>	E-222	4

Fuente: INVIAS 2012.

En caso de incumplir con el requisito, se podrá aceptar solo si al ser ensayado en relación con el efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia del mortero, se obtiene una resistencia relativa a siete días no menor al 95%, según procedimiento estipulado en la norma de ensayo ASTM C 87.

- El *agregado grueso* corresponde a la porción retenida en el tamiz de 4.75 mm (Nº. 4), es procedente de la trituración de roca o grava o su combinación; sus fragmentos deben ser limpios, resistentes, durables y sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o des integrables, completamente exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias que alteren la calidad de la mezcla, no se permite el agregado grueso proveniente de escorias de alto horno. Debe ajustarse a los requisitos de gradación contenidos en la siguiente tabla.

**Tabla 7.**

*Granulometría para agregado grueso en pavimento de concreto hidráulico.*

TIPO DE GRADACIÓN		TAMIZ (mm/U.S Standard)								
		63.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36
		$\frac{2}{1/2}$ "	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8
		% PASA								
<b>AG 1</b>	Fracción 1: 2 1/2" a 1"	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-
	Fracción 2: 1 1/2" a No.4	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
<b>AG 2</b>	Fracción 1: 2" a 3/4"	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-
	Fracción 2: 1" a No.4	-	-	-	-	100	90-100	-	0-10	0-5
<b>AG 3</b>	Fracción 1: 1 1/2" a No.4	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5

Fuente: INVIAS 2012.

La curva granulométrica obtenida al mezclar agregado fino y grueso, debe ser continua y semejante a las teóricas obtenidas a partir de las fórmulas de Fuller o Bolomey

- La *reactividad* del agregado con los álcalis del cemento, determina la posibilidad de presencia de expansiones perjudiciales en el concreto, para evitar estos efectos se deben seguir los lineamientos de las normas ASTM C33 y NTC 174. La reactividad potencial se mide mediante la valoración comparativa de pavimentos de condiciones semejantes a las de la nueva estructura, y de acuerdo a los parámetros de las normas ASTM C295 y NTC 3773 relacionadas con el proceso de inspección petrográfica se determina la existencia de sustancias perjudicialmente reactivas dentro de la mezcla. Si la mezcla contiene arenas provenientes de escorias siderúrgicas, se debe comprobar que no contengan silicatos, ni compuestos ferrosos (normas ASTM C 227 y C 1260), del mismo modo, se debe evitar el uso de agregados que puedan producir reacciones perjudiciales álcali-carbonatos, de haber sospecha se deben realizar los ensayos estipulados en las normas ASTM C586 o ASTM C1105.
- El uso de *aditivos* de calidad comprobada, es indicado cuando las particularidades del nuevo proyecto señalen requerimientos específicos que precisen la modificación del concreto; para garantizar el efecto deseado se deben realizar una serie de ensayos con diferentes dosificaciones. Los aditivos comúnmente usados son: inclusores de aire (norma ASTM C260), reductores de agua, acelerantes de fraguado y retardantes de fraguado (norma ASTM C494).

Así mismo, dentro de los materiales fundamentales para la construcción del pavimento se encuentran el acero, productos de curado, membranas para la separación del pavimento, productos para las juntas y la resina epóxica [19]

## **INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO**

Existen características físicas y químicas de los agregados que son determinantes de calidad sobre el resultado o concreto obtenido, por ende, cabe mencionar las más relevantes que son identificadas en los dos estados de la mezcla, es decir, en el concreto fresco y en el concreto endurecido.

En el concreto fresco, se resalta como propiedad fundamental, la absorción, en otras palabras, se requiere la utilización de agregados que proporcionen absorción a la mezcla, ya que, esta permite mejor manejabilidad del material y mayor consistencia. Además de esta característica, se evalúa el posible efecto del agregado teniendo en cuenta la forma, que pueden ser: esférica, prismática, irregular y elíptica, esta determina la capacidad de compactación del concreto fresco; la granulometría o tamaño máximo, afecta sobre los requerimientos de agua y de cemento, por lo que exceder su valor puede ocasionar una mezcla rígida, difícil de trabajar, perjudicando aspectos económicos y de duración; y por último, la graduación de cantidad en agregados finos y gruesos, puesto que una cantidad excesiva de material fino puede producir una mezcla 'arenosa' y de difícil manejo.

En cuanto al concreto endurecido, la propiedad más importante es la resistencia, la cual para ser óptima debe contar con la suma de características particulares del agregado, como son: el tamaño máximo, que al ser menor proporciona menor resistencia; la cantidad adicionada, dado

a que se evidencia que los concretos con bajos contenidos de agregados, resisten altos esfuerzos y viceversa; la capacidad de absorción, ya que esta determina factores de permeabilidad y durabilidad que afectan la resistencia en una estructura de concreto. Otra de las propiedades que es de vital importancia para obtener un resultado final resistente, es la densidad, ya que al estar directamente relacionado con el peso volumétrico y la porosidad permiten la adhesión indicada.

Es importante aclarar que un para evitar problemas en la fabricación del concreto, es fundamental elegir materiales limpios o con un mínimo de porcentaje de materia orgánica, dado a que el efecto de inhibir la adecuada hidratación del cemento causa retraso en su endurecimiento y resistencia. [20]

### **ABUNDANCIA EN YACIMIENTOS MINERALES METÁLICOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.**

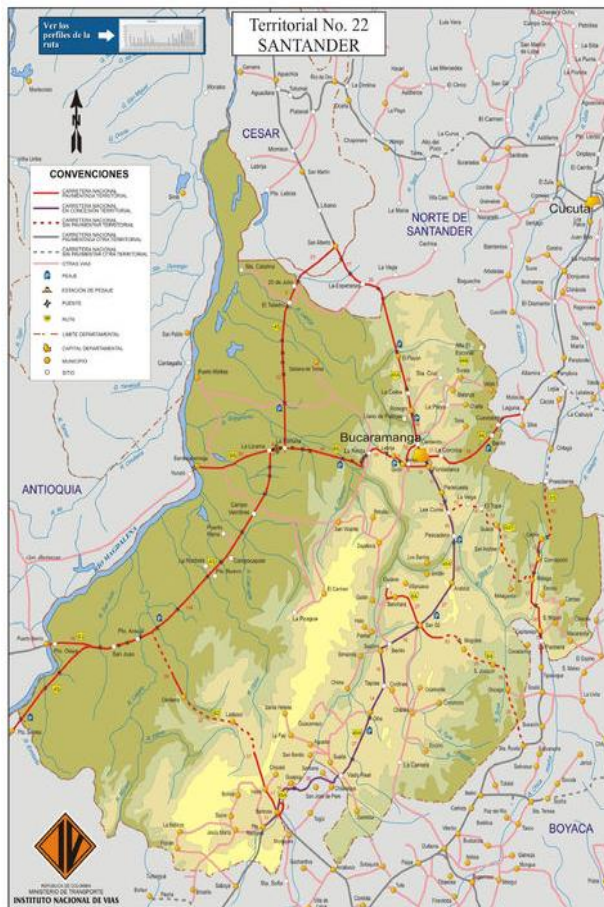
Es uno de los treinta y dos departamentos de la República de Colombia, ubicado (entre 05°42'34" y 08°07'58" de latitud norte, y 72°26' y 74°32' de longitud oeste) en la región andina, limitado al norte con Cesar y Norte de Santander, al este y sur con Boyacá, al oeste con Antioquia y al noroeste con Bolívar. Cuenta con una superficie de 30.537 Km<sup>2</sup> (2.7% del territorio Colombiano). Según el reporte del DANE del año 2015, tiene 2.061.079 habitantes y está conformado por 87 municipios, 2 corregimientos y 477 inspecciones de policía; los cuales

están agrupados en siete provincias: Comunera, García Rovira, Guantotá, Metropolitana, Yariguíes, Soto y Vélez.

La fisiografía del departamento se encuentra constituida principalmente por, una parte pequeña ubicada en el Valle Medio del Magdalena (ondulado suave, vegetación selvática y bosque Ecuatorial), y su mayor parte, por la cordillera Oriental (relieve quebrado, de fuertes pendientes, terrazas extensas de ambiente muy seco, escalonadas y muy erosionadas, también por páramos como Chontales, Cruz Colorada, Carcasí y Santurbán). En cuanto a su hidrografía se constituye de una red numerosa de ríos. Quebradas y corrientes menores tales como el río Magdalena, Lebrija, Opón, Sogamoso, Cáchira, Chucuri, Fonce, Guayabito, La Colorada, San Juan, Servitá, entre otros.

Las principales actividades económicas del departamento se concentran en el sector agrícola y pecuario con cultivos de palma de aceite, yuca, maíz, Plátano, fique, tabaco, cacao, piña, frijol, entre otros, explotación avícola, caprina y ganadera, con avances agroindustriales en productos lácteos y cárnicos. Adicionalmente, al ser un departamento abundante en yacimientos de minerales metálicos de origen ígneo-metamórfico, realiza explotación minera de materiales como el plomo, uranio, fósforo, yeso, caliza, cuarzo, mármol, carbón, oro, plata, cobre y principalmente el petróleo concentrado en el primer complejo petrolero de Colombia ubicado en Barrancabermeja. Los avances industriales y tecnológicos han permitido el desarrollo económico principalmente de su capital, Bucaramanga, y su área metropolitana, en sectores como: servicios, transporte y comunicaciones, además de otras industrias de: alimentación, textiles, cemento, calzado, productos derivados del petróleo y accesorios automotores. [21]

La infraestructura del departamento de Santander consta de una red de carreteras que interconectan la mayoría de los municipios, la red troncal conformada por 1.200 Km a cargo de la Nación, los cuales 800 km se encuentran pavimentados, 3.469 km de carreteras secundarias a cargo del departamento, de los cuales 436 km se encuentran pavimentadas y 6.181 km de red terciaria a cargo de los municipios, para un total de 10.850 km disponibles para atender las necesidades de la región, en el siguiente mapa del departamento se encuentran las principales vías departamentales, que son medios de interconexión vial de Santander con los departamentos frontera. [22]



**Ilustración 3** Territorial No. 22 Santander.

Fuente: INVÍAS 2003.

## 9. RESULTADOS DOCUMENTALES RELEVANTES

Para el desarrollo del proyecto se realizó una indagación mediante la técnica de búsqueda Booleana (usando los términos AND, OR, NOT), permitiendo obtener un conjunto de registros de investigaciones y/o publicaciones sobre los agregados utilizados para la fabricación de pavimentos en el departamento de Santander, o ideas relacionadas. A partir de este conjunto de elementos documentales se construye un listado estructurado plasmado a continuación.



Para dar mayor claridad sobre los hallazgos investigativos, se organizó la información de acuerdo a un orden jerárquico ascendente, y, de lo particular a lo general, es decir, partiendo de publicaciones realizadas en años anteriores, para terminar por las más recientes; así mismo, iniciando por los estudios de instituciones y entidades bumanguesas, continuando con las santandereanas, siguiendo con las realizadas a nivel nacional y por último las desarrolladas por organismos internacionales (en caso de existir).

**Estudio 1:** Aprovechamiento de escombros como agregados no convencionales en mezclas de concreto

Este trabajo se realizó teniendo como objetivo dar una alternativa medioambiental al utilizar los escombros para la producción de mezclas de concreto. Se realizó una técnica para el diseño de la mezcla basado en el uso proporcionado de agregados de porcentajes de vacíos bajos (de 28.3 a 31%), escombros gruesos ( $E_1$ ), con valores de finura parecidos a los agregados grueso, consiguiendo un TMN de 1" (25mm), escombros finos ( $E_2$ ) y muestras de ladrillos ( $E_3$ ), seleccionados de tal manera que su módulo de finura fueran de valores cercanos a los estipulados para agregados finos, obteniendo  $E_2 = 2.45$  y  $E_3 = 2.71$ , gruesos ( $E_4$ ), también con valores cercanos a los agregados gruesos, del que se obtuvo un TMN de  $1\frac{1}{2}$ " (38.1 mm), arena extraída del río Pescadero y triturado de la trituradora La Estrella. [23]

Se implementó un sistema de dosificación que emplea parcialmente por una técnica propuesta por Matallana en su libro publicado en 2006 sobre los Fundamentos de Concreto Aplicados a la Construcción (ICPC), preparando 4 tipos de mezclas (A, B, C y D) y mezcla "testigo" (E), con una serie de ensayos a lo largo de siete días, con una proyección de valoración al resultado final para medir su resistencia al cabo de 28 días.

Una vez realizado el proceso serial de ensayos se concluyó que para el concreto en estado fresco, se obtuvo una mezcla de óptima trazabilidad, con un rendimiento volumétrico del 99% hasta el 102%, muy bueno pese a las predicciones realizadas con el coeficiente de variación del sistema; una vez endurecido el concreto y pasados siete días, se observó que las mezclas que se prepararon con escombros gruesos ( $E_1$ ), presentaron mejor resultados en resistencia a la compresión, en comparación con los finos ( $E_2$ ), con valores promedios de  $156.30 \text{ Kg/cm}^2$  y  $123.99 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente; así mismo, se observó que los resultados de los ensayos realizados sobre escombros de ladrillo ( $E_3$ ) y los gruesos ( $E_4$ ), presentaron valores promedios de  $145.27 \text{ Kg/cm}^2$  y  $97.11 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente, lo que quiere decir que ( $E_3$ ) presenta mayor resistencia a la compresión, sin embargo, no se recomienda su uso hasta no realizar las respectivas pruebas de adherencia.

Se midió el valor de resistencia máxima sobre el concreto endurecido a los 7, 14 y 28 días, para distintas condiciones de la mezcla, de las cuales se destaca que frente a la mezcla testigo, la proporción de A4, presentó los mejores resultados, la tabla muestra el resumen de los resultados

**Tabla 8.**

*Resultados a compresión máxima de las mezclas que obtuvieron mejores resultados de resistencia.*

MEZCLAS	RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/cm <sup>2</sup> )		
	7 días	14 días	28 días
<b>D3 (Arena 30%: ag.Gruoso 60%lad. Gruoso 10%)</b>	108.23	126.43	169.92
<b>B7 ( Arena 20%: Ag. Gueso 70%: ESC grueso 10%)</b>	123.99	165.21	153.97
<b>C6 (Arena 30%: Ag. Gruoso 60%: lad. Fino 10%).</b>	130.8	179.05	190.12
<b>E4 (Arena 40% Ag. Gruoso 60%).</b>	150.83	177.66	200.68
<b>A4 (Arena 40% Ag. Gruoso 50% Esc. Gruoso 10%).</b>	156.6	173.47	223.56

Fuente: FERREIRA J. 2009.

El resultado final señala que la mezcla A4, fue la que presento los mayores resultados de resistencia a la compresión, reportando una resistencia de 223.56  $Kg/cm^2$  frente a 200.68  $Kg/cm^2$  de la mezcla testigo, después de haber cumplido 28 días de edad.

En cuanto a la propuesta de dar una mejor disposición a los escombros de construcción mediante su reciclado, puede ser viable en la medida que se le puedan atribuir un valor industrial de utilidad, mediante el diseño de una serie de prácticas y procedimientos para la gestión de

escombros que se basan en la selección y clasificación de estos a fin de obtener un concreto de calidad. Además de beneficios para legales, medioambientales y sociales, se observa que a nivel de costos se obtiene un beneficio económico, a continuación, se muestran las tablas comparativas de los precios de la mezcla para concreto elaborada con escombros con las producidas por empresas multinacionales Cemex y Holcim en octubre del año 2009.

**Tabla 9.**

*Comparación de precios para 1m<sup>3</sup> de concreto elaborado con escombros de los concretos comerciales.*

<b>Materiales para preparar 1m<sup>3</sup> de concreto</b>			
	m <sup>3</sup>	\$ + Transp	\$/m <sup>3</sup> concreto
<b>Triturado</b>	0.328	75000	24563
<b>Arena</b>	0.273	55000	14988
<b>agua</b>	0.183	67000	12261
<b>escombros</b>	0.068	28000	1890
<b>cemento</b>	11 Bultos	19000	209000
			\$262.701

Fuente: J.S. Ferreira, 2009.

**Estudio 2:** Estudio del comportamiento de la mezcla de agregados adicionados con el 3.5, 4.5 y 5.5% de limalla fina para mezclas de concreto.

El proyecto tiene el fin de aumentar la resistencia a la compresión en el concreto endurecido, mediante la incorporación de la cantidad óptima de limalla de hierro gris dentro de las mezclas, este nuevo ingrediente reemplazaría parcialmente la cantidad de agregado fino que se utiliza en la mezcla común, y a partir de ella se comienza una serie de pruebas para medir la calidad de las propiedades de la nueva mezcla. [24].

La limalla de hierro gris es el producto de la molienda industrial de varios tipos de metales, provenientes principalmente de vehículos chatarra, a cuál consiste en que posterior a la selección, el material pasa a un proceso de fundido, centrifugado y torneado, debiendo cumplir una serie de requisitos de control de calidad, por tal motivo, este componente es añadido a la mezcla como un agregado no convencional.

Para alcanzar los objetivos de investigación se plantea un proceso de dos etapas en las cuales el insumo estudiado suministrado por INDUSTRIAS LAVCO Ltda., transcurre por la etapa de pre-muestra en la que se miden a 120 prototipos de concreto, compuestas por 5 mezclas diferentes variando proporcionalmente las cantidades de agregado grueso y fino, para porcentajes de 0%, 3%, 4%, 8%, 12% y 20% de limalla de hierro gris, obteniendo como resultado mejor resistencia a la compresión un valor cercano al 4% de limalla fina; conociendo el valor porcentual óptimo se procede con la etapa de elaboración en la que se fabricaron 285 cilindros de concreto, con 4 mezclas de diferentes porcentajes de limalla de hierro gris (0%, 3.5%, 4.5% y 5.5%), y 5 muestras distintas para cada porcentaje, para un total de 20 mezclas diferentes, que fueron valoradas en término de calidad de resistencia al cabo de 7, 14 y 28 días, la siguiente tabla muestra la los porcentajes de distribución de las mezclas:

**Tabla 10.**

*Distribución de mezclas según porcentajes de insumos.*

<b>Limalla 3.5%</b>	<b>Material</b>	<b>Mezcla 1</b>	<b>Mezcla 2</b>	<b>Mezcla 3</b>	<b>Mezcla 4</b>	<b>Mezcla 5</b>
	Grueso	70%	65%	60%	55%	50%
	Fino	26.5%	31.5%	36.5%	41.5%	46.5%
	Limalla	3.5%	3.5%	3.5%	3.5%	3.5%
<b>Limalla 4.5%</b>	<b>Material</b>	<b>Mezcla 1</b>	<b>Mezcla 2</b>	<b>Mezcla 3</b>	<b>Mezcla 4</b>	<b>Mezcla 5</b>
	Grueso	70%	65%	60%	55%	50%
	Fino	25,50%	30,50%	35.5%	40.5%	45.5%
	Limalla	4.5%	4.5%	4.5%	4.5%	4.5%
<b>Limalla 5.5%</b>	<b>Material</b>	<b>Mezcla 1</b>	<b>Mezcla 2</b>	<b>Mezcla 3</b>	<b>Mezcla 4</b>	<b>Mezcla 5</b>
	Grueso	70%	65%	60%	55%	50%
	Fino	24.5%	29.5%	34.5%	39.5%	44.5%
	Limalla	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%
<b>Limalla 0%</b>	<b>Material</b>	<b>Mezcla 1</b>	<b>Mezcla 2</b>	<b>Mezcla 3</b>	<b>Mezcla 4</b>	<b>Mezcla 5</b>
	Grueso	70%	65%	60%	55%	50%
	Fino	30%	35%	40%	45%	50%
	Limalla	0%	0%	0%	0%	0%

Fuente: E Beltrán, V. Ortiz 2010.

El proceso se desarrolló bajo las especificaciones y parámetros exigidos por las normas del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), la Norma Técnica Colombiana (NTC) y la American Standard Test Material (ASTM), así como se le atribuye la autoría sobre el diseño de la fórmula de concreto. Durante un periodo de tiempo de 3 semanas se elaboran los cilindros de concreto,

con un tamaño relacional de 1:2 (diámetro: altura, respectivamente), y al cabo de 7, 14 y 28 días son sometidos a pruebas de resistencia a la compresión; así mismo se toma una muestra de 95 prototipos con 28 días de edad, de los cuales 55 de ellos permitieron calcular el módulo estático de elasticidad (13060.1016 Mapa), y los 40 restantes fueron llevados a rotura a fin de conocer la carga máxima.

Matemáticamente la mezcla fue diseñada en un inicio, para que resistiera una compresión máxima de 21 MPa (3000 PSI), dado a que es la resistencia promedio que soporta el concreto fabricado únicamente con agregados pétreos, al transcurrir 28 días, sin embargo con la experimentación, se pudo evidenciar, que todas las mezclas preparadas con limalla de hierro gris soportaron mayor resistencia a compresión, lo que verifica la hipótesis investigativa que afirma que la utilización de este agregado no convencional proporciona mayor resistencia a las estructuras de concreto. De los resultados obtenidos se concluye, que los porcentajes óptimos para la fabricación de la mezcla que permita lograr el comportamiento esperado, es de 3.5%, de limalla de hierro gris, 65% de agregado grueso y 31.5% de agregado fino, ya que, de todas las pruebas fue la que arrojó el mejor resultado de resistencia a la compresión, con un valor de 34.35 MPa.

Dentro del análisis realizado, se observa que la adición de este componente a la mezcla, no afecta sus propiedades en estado fresco, lo cual representa que existen buenas condiciones de fluidez y manejabilidad. Adicional a lo anterior, cabe resaltar que la utilización de limalla de hierro gris para la fabricación de concreto, trae consigo un beneficio económico, al disminuir su costo por reducción en los otros materiales, tal y como se muestra a continuación:

**Tabla 11.**

*Precio 1 m<sup>3</sup> de concreto adicionado con limalla fina de 31 MPA.*

<b>Material</b>	<b>Cantidad (m2)</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio/m3</b>
<b>Agregado Grueso</b>	0.449	\$55.000	\$ 24.707
<b>Agregado fino</b>	0.240	\$46.000	\$ 11.020
<b>Limalla Fina</b>	61.Kg	\$300	\$ 18.588
<b>Agua</b>	0.174	\$17.000	\$ 2.958
<b>Mano de Obra</b>	2 Hombres	\$7.500	\$ 15.000
<b>Cemento</b>	6.71 Bultos	\$19.500	\$ 130.853
			\$ 203.126

Fuente: .E Beltrán, V. Ortiz. 2010.

**Tabla 12.**

*Precio de 1 m<sup>3</sup> de concreto convencional de 31 MPA.*

<b>Material</b>	<b>Cantidad (m2)</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio/m3</b>
<b>Agregado Grueso</b>	0.411	\$55.000	\$ 22.605
<b>Agregado fino</b>	0.231	\$46.000	\$ 10.626
<b>Agua</b>	0.195	\$17.000	\$ 3.315
<b>Mano de Obra</b>	2 Hombres	\$7.500	\$ 15.000
<b>Cemento</b>	9.5 bultos	\$19.500	\$ 176.475
			\$ 203.126

Fuente: E Beltrán, 2010.



**Estudio 3:** Exploración de fuentes de materiales de construcción en el departamento de Santander.

El proyecto se realizó a fin de evaluar el potencial de los materiales pétreos hallados en diferentes unidades geológicas del departamento de Santander, las cuales fueron exploradas en visitas programadas y geo-referenciadas por parte del grupo investigador, en las que se identificaron fuentes activas y fuentes potenciales, la exploración consistió en tomar una muestra en los diferentes lugares para analizarlas y definir las propiedades petrográficas y geo mecánicas de los agregados extraídos, de esta manera, conociendo su índice de calidad se determina se es apto para ser usado en las industria de la construcción para la producción de concreto. [25]

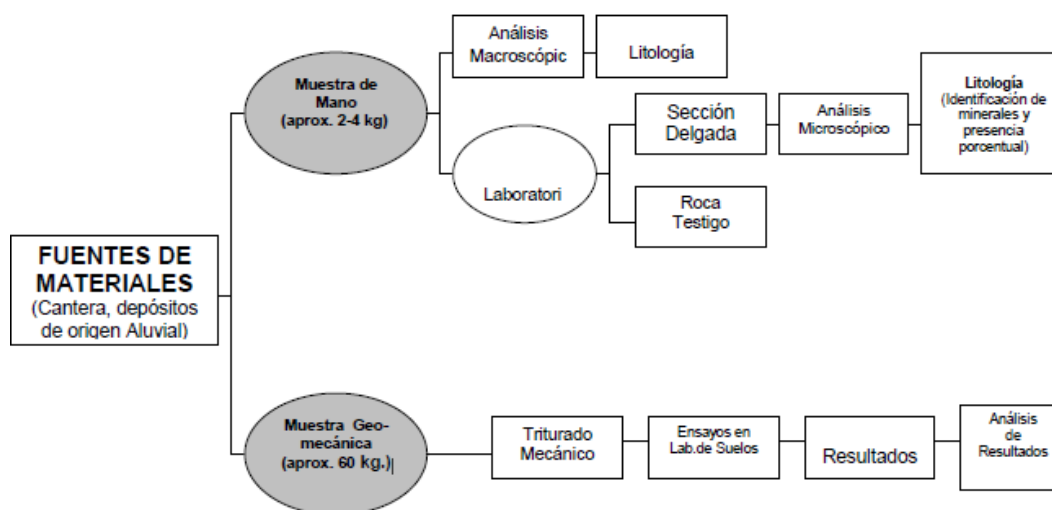
El informe presenta una descripción generalizada de cada una de las unidades geológicas sondeadas en el departamento de Santander, el cual es apoyado por información de estudios previos y apreciaciones precisas de carácter litográfico realizadas por expertos durante el trabajo de campo.

Las unidades geológicas muestreadas fueron 14, denominadas así: Complejo Bucaramanga (rocas de grado medio y alto metamorfismo, halladas al nororiente de Bucaramanga; migmatitas de composición cuarzo-feldespática en el tramo vial Bucaramanga-Matanza), formación Silgará (rocas clásticas metamorfizadas, con buena consolidación y durabilidad, localizadas en los tramos viales San Gil- Tierradentro y Bucaramanga – Berlín), Granito Rosado (conocido como granito de Pescadero, caracterizado por ser de coloración rosa a naranja, equi-granular y de grano medio, ubicado en el tramo vial Piedecuesta-Pescadero y Bucaramanga-San Gil), Cuarzomonsonita Rosada (Conformado por cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y biotita, rosado e inequigranular, ubicado en el tramo vial San Joaquín-Mogotes), Cuarzomonsonita Gris de la Corcova (compuesto por cuarzo, plagioclasas, biotita y moscovita, con oxidaciones de hierro, hallado en el tramo vial de Bucaramanga-Berlín),

Formación Montebel (consta de fósiles negros, con limolitas gris-verdosas, arcillolitas negras, limolitas ocreas a rojizas con intercalaciones areniscas arcillosas multicolores, encontradas en el tramo vial Bucaramanga-Matanza), Formación La Rusia (compuesto de areniscas conglomeráticas blancas y verdes, areniscas verdes, blancas y rojas, de grano fino, arenisca cuarzosa gris-verdoso, hallada en el tramo vial Los Santos-Piedecuesta), Formación Cumbre (areniscas grises de grano fino y silíceas, limolitas y arcillolitas, localizadas en Cumbre en la vía Arcabuco-Moniquirá, y en el tramo vial Bucaramanga-Matanza se recogió muestra de arenisca cuarzosa gris), Formación Rosablanca (compuesta por caliza y yeso, areniscas y lodolitas calcáreas, encontrada en la amplia distribución del departamento), Formación Paja (formada por areniscas grises de grano fino con lutitas fosilíferas y pequeñas calizas, distribuidas de sur a norte a lo largo del departamento, el muestreo se realizó al sur del departamento, vía Puente Nacional-Vélez, al centro en los Santos-Vereda San Francisco y en la vía San Gil-Pescadero), Formación Simití (calizas arcillosas y fosilíferas, en capas de calcáreos y areniscas, en la vereda Lisboa), Formación Lisama (lutitas abigarradas con areniscas grises, verdosas y pardas, de grano fino a medio, localizadas en la vía Bucaramanga-Barrancabermeja), Meseta de Bucaramanga (depósitos de limolitas, calizas y areniscas poco consolidadas, de origen fluvial sobre las vías de Bucaramanga a Barrancabermeja y Rio Negro), y Depósitos Aluviales (muestreo localizado en la quebrada Aguablanca y en los ríos Suarez, Huertas, Taquiza y Mogoticos).

Se aplica una metodología exploratoria, de tipo descriptiva, basada en el análisis cuantitativo las mediciones realizadas; este proceso parte de una fase preparatoria en la que se traza un plan de trabajo y se capacita al equipo, siguiendo con la recopilación de información, en la que se indaga sobre hallazgos históricos trascendentales y estudios geológicos previos que son tomados como base en la toma y procesamiento de datos.

El trabajo de campo se llevó a cabo de acuerdo a una serie de fases, en las que, primeramente, se determina el procedimiento de muestreo, se diseña y elaboran los formatos de registro de la información, se continua con la selección de la unidad geológica, la exploración de dichas fuentes materiales, envío de muestras al laboratorio, realización del análisis petrográfico y análisis geo-mecánico, tal y como lo señala el siguiente diagrama:



**Ilustración 4.** Fuente de materiales.

Fuente: López Jaime, 2011.

El análisis de las muestras tomadas engloba la valoración de un conjunto de propiedades índice escogidas, Peso Unitario, Peso específico, Índices de forma, Solidez, Desgaste el Maquina de los Ángeles, Reactividad Álcalis-Sílice, Adherencia, Deslizamiento-Durabilidad y Caras Fracturadas.

La evaluación sobre la información obtenida en el proceso de exploración fue orientada a la determinación del uso potencial de las diferentes unidades geológicas. Con base en los resultados de los ensayos y bajo las convenciones (**A**: Concreto Asfáltico, **H**: Concreto

Hidráulico, **B**: Base Granular, **S**: Sub-base, **M**: Mezcla, **P**: Piedraplen, **T**: Terraplén), se determinaron los usos para cada unidad geológica:

- **AHBSMPT**: amplia variedad de usos para pavimentos, provienen de formaciones geológicas de Rionegro, Simití, Tablazo, Los Santos y Rosablanca.
- **ABHMPS**: Del muestreo realizado es la única fuente que reúne todos usos, buena calidad para base y Sub-base estructural del pavimento.
- **BHMST**: uso exclusivo para la construcción de carreteras en las formaciones geológicas: Paja, Bocas y Cuarzo –Monzonita y en los ríos Sogamoso, Cascajales, Frio, Fonce, Magdalena, Manco-Umpalá, Taquiza y Chucurí.
- **PTSM**: usos del depósito aluvial La Rochela.
- **HSMT**: usos de materiales provenientes del ígneo Cuarzo-Monzonita de Santa Bárbara y Meseta San Rafael.
- **MT**: formación geológica Colorado y los ríos Sogamoso, El Playón, Río de Oro, Cuchiquirá, Manco y Magdalena, empleados para mezclas y terraplenes.

En relación a las fuentes materiales visitadas se obtuvo:

- Formación Simití (Lisboa, Km 34 vía Bucaramanga-Barrancabermeja) conformada por capas delgadas de calizas alternadas con arcillolitas pardas, meteorizadas de 5 a 15 cm de espesor, afectadas por el tectonismo del área, lo que facilita su explotación manual o mecánica.
- Las gravas observadas en los ríos Chicamocha, Táquiza y Mogoticos, corresponden a rocas de origen sedimentario e ígneo (en más del 90%), a lo largo del río Suarez se encontraron que predominan rocas sedimentarias (municipio de Suaita) entre calizas, areniscas cuarzosas

y rocas lodosas, también en el municipio de Zimacota, el 60% del material, se conforma de rocas ígneas y un 30% de rocas sedimentarias, entre limolitas, calizas y areniscas cuarzosas.

- Las unidades más antiguas como las rocas del complejo de Bucaramanga y la formación Silgará, tienen buena condición física y mecánica, por lo que son rocas con potencial para ser empleadas en la estructura de pavimentos con alto nivel de tránsito.
- Otras unidades como Montebel, La Rusia, Rosablanca, El Tablazo, Areniscas de Chiquinquirá y Los Santos, presentan la calidad requerida para ser empleadas en construcción de vías, con algunas limitaciones de durabilidad y resistencia.

También se encontró que las propiedades tanto físicas como mecánicas de los ríos y quebradas, estos relacionan además de la condición del agregado, con factores como historia geológica, distancia de recorrido, grado de pendiente del cauce, entre otros, por lo que estas características deben tenerse en cuenta para evaluar la calidad de las rocas.

Por último, sobre los resultados de los ensayos se pudo concluir del muestreo realizado en el departamento, existen 22 canteras y 8 fuentes aluviales; debido a la conveniente distribución geológica y espacial, de las formaciones Rosablanca y Paja, permitieron extraer el mayor número de muestras. Según el estudio de campo, las rocas más antiguas presentan mayor calidad mecánica, alta resistencia, mayor durabilidad y óptimo peso específico, estas fueron localizadas principalmente en el Complejo de Bucaramanga, la Formación Silgará, el granito de Pescadero, Formación Rosablanca, Formación Montebel y Formación La Rusia, así mismo, a las calizas de las Formaciones Simití y Paja se les identificó buena aptitud para usarse como material agregado en vías.

**Estudio 4:** Estado del arte sobre la elaboración de mezclas de concreto con agregados no convencionales en América para el periodo 2000 – 2010.

El documento constituye una herramienta de consulta en la que se reúne el conjunto de investigaciones desarrolladas en la primera década de los años 2.000, las cuales fueron orientadas a la indagación de materiales no convencionales utilizados en fabricación masiva de mezclas de concreto, a lo largo del continente americano; cuyo origen se fundamenta en la alta demanda e hiper-consumo de agregados naturales no renovables, y en la búsqueda de nuevas alternativas materiales suplentes. [26]

La investigación monográfica se realizó con el fin de ofrecer una herramienta de consulta acerca de la fabricación con tipos de agregados no convencionales que orienten nuevas investigaciones sobre el tema, mediante la elaboración de un análisis comparativo de las principales conclusiones de cada uno de los estudios consultados, así mismo, fueron identificadas y seleccionadas las investigación que estudiaron los agregados no convencionales más utilizados en la preparación de mezclas de concreto.

Dentro de los principales hallazgos se destaca un grupo de agregados no convencionales, tales como: fibras de polipropileno, viruta de acero, lechuguilla, estopa de coco, bagazo de caña, escoria de fundición, residuos como la limalla y los escombros, que al ser puestos a prueba brindaron beneficios significativos al concreto final, entre estos, mayor resistencia al impacto, a la compresión y a la flexión, mejor trabajabilidad, y reducción de costos de fabricación, los cuales serían materiales de calidad óptima para ser utilizados en industria de la construcción.

Existen numerosos avances investigativos sobre el tema en países como Estados Unidos, México y Brasil, sin embargo, se aprecia que, en Colombia este campo está aún sin explorar. Es

fundamental que los líderes en el área adopten, por medio del mejoramiento continuo, la mentalidad de sostenibilidad ambiental e indaguen sobre las diversas alternativas de agregados no convencionales que puedan ser utilizadas como insumos en la construcción de mezclas de concreto, reafirmando que estos métodos innovadores promueven el mantenimiento de un equilibrio medioambiental trascendental, el ahorro en costos de producción y reduce notoriamente las limitaciones de resistencia del concreto tradicional, prometiendo ambiciosamente el hallazgo del material alternativo cuya calidad permita prescindir de refuerzos periódicos.

**Estudio 5:** Comparación de la calidad de los agregados disponibles para concreto.

Inicialmente se determinó mediante los ensayos de análisis granulométrico para agregados gruesos y finos, entre otros. Este proyecto busca determinar las diferencias de los agregados utilizados para la construcción de concretos desde el punto de vista de geológico, mostrando las comparaciones por canteras de extracción disponibles en la región. [27]

La metodología usada fue la ubicación de las fuentes de muestreo, recolección de muestras, caracterización de los agregados y realización de ensayos. La recolección de muestras de agregado grueso fue muestras quincenales de 15000 g y 5000 g de agregado fino, teniendo en cuenta que los ensayos se realizaron por un periodo de 5 meses de manera quincenal.

Mediante los ensayos realizados se separaron las muestras teniendo en cuenta la normatividad, Pese a que el presente proyecto abarca materiales para pavimentos, se relaciona con esta investigación a la nuestra de estas mismas canteras disponemos material en Santander, región que cubre nuestra investigación, a continuación, esperamos concluir mediante la

metodología que usaron los investigadores aportes que determinen el objetivo de esta investigación.

Se inicia con el ensayo de “resistencia al desgaste mediante la máquina de los ángeles para tamaños menores a una pulgada y media”. Este ensayo consiste en generarle un desgaste a la muestra después de una serie de procesos completados con la máquina, para posteriormente se toma su peso y se compara con el inicial evidenciando su pérdida después de haber sido procesada.

Seguido a esto se calcula el índice alargamiento y aplanamiento mediante una fórmula numérica cuyas variables se obtienen de unos porcentajes retenidos en una malla especial para el ensayo.

Otro ensayo practicado es el de “caras fracturadas”, este ensayo se elabora con mucho criterio visual y determina un valor (índice) que posteriormente es tenido en cuenta para sus posibles usos.

El límite de plasticidad, como su nombre lo dice se busca saber el máximo de plasticidad alcanzado mediante los pasos específicos de la norma para una vez completamente seca la muestra se ingresen los valores a la fórmula matemática y obtengamos el valor solicitado. Como este ensayo también está el límite de líquido quien deriva del límite plástico. Todas estas prácticas fueron necesarias para acceder a analizar los factores que intervienen en la calidad del material.

Posteriormente se identificó el proceso que debe llevarse a cabo para obtener este material desde su extracción, transporte y trituración. Usando diferentes equipos y lugares para



cada operación. Uno de los más importantes es la selección ya que aquí se determina su tamaño y su clasificación para salir al mercado.

Mediante la investigación a los proveedores de selección de fuentes, fue posible la utilización de canteras, lo que permitió el análisis de resultados los cuales demostraron que el material de cada una de las fuentes cumple con lo esperado, el material de las fuentes ubicadas en surata y pescadero cumplen con los requisitos esperados por la norma, sin embargo es importante realizar un estudio sobre el arrastre del material de diferentes cambios del clima, para identificar la acumulación dependiendo del tiempo.

**Estudio 6:** Estudio de los índices de variabilidad en la calidad de los agregados pétreos, enfocado a pavimentos rígidos.

Este proyecto realizo un estudio sobre los índices de variabilidad presentes en los agregados pétreos obtenidos de las fuentes rio chicamocha y rio de oro, en donde por medio de la evaluación de la variación entre sus estándares de calidad se podrá determinar la eficiencia de la estructura de los mismos. [28]

Se obtiene como resultado que los materiales más utilizados y de quienes depende directamente la calidad del concreto son los agregados pétreos, los cuales definen la funcionalidad del mismo.

El material que más se encuentra presente en los agregados son los agregados pétreos, por lo cual es indispensable la realización de pruebas de calidad que garanticen que la estructura que formaran será la correcta, estos están en los índices de variabilidad.

Se evidencia la necesidad de evaluar la calidad de los agregados pétreos que provienen de la fuente de rio chicamocha y fuente de rio de oro para la utilización de pavimentos rígidos, con

base a la normatividad NTC e INVIAS, se cuantifica la variabilidad de resultados en el término de cinco (5) meses, evaluando con periodos de cada quincena.

La calidad de los agregados es de vital importancia ya que en algunos tipos de estructura requieren de un diseño y mantenimientos adecuados teniendo en cuenta que son materiales que en el tiempo y debido al clima pueden presentar deterioro.

El río Chicamocha y río de Oro, en cuanto al agregado fino y el agregado grueso, frente a las hipótesis nulas y alterna generan un comportamiento poblacional, encontrando que los resultados de los agregados procedentes del río Chicamocha son de mejor calidad y cumplen con los requisitos de las normas NTC e INVIAS que los de río de Oro.

La calidad de los agregados depende del clima, basándose en que en la presente investigación se realizaron en época de invierno y la arena, los terrones de arcilla y partículas deleznable no cumplen con los requisitos de especificaciones técnicas.

La fuente de Pescadero, permite identificar que tiene agregados que tienen calidad óptima y un buen comportamiento de este concreto para el pavimento rígido.

Es necesario en época de lluvias realizar el correspondiente tamizaje del agregado a fin de eliminar los sobre tamaños de la muestra para cumplir con las especificaciones, así como la realización de un control periódico permitirá la presión en dichas mediciones.

**Estudio 7:** Instalación, manejo y supervisión del laboratorio satélite de agregados en la ciudad de Bucaramanga con la implementación de ensayos básicos de caracterización en materiales para vías y agregados para concreto.

El documento describe el proceso práctico realizado en la multinacional CEMEX, por un estudiante de Ingeniería civil en último semestre, cuyo principal trabajo consistió en la construcción de un laboratorio satélite en la ciudad de Bucaramanga, con el propósito de efectuar ensayos básicos de caracterización como el Azul de metileno, Equivalente de arena, Granulometría, Límites de Atterberg y Proctor Modificado, en la planta de agregados, para así tener un control más eficiente sobre la calidad de los agregados. [29]

El laboratorio constituyó una ventaja competitiva debido a que el empleo de materiales con la calidad óptima, permite asegurar altos índices de calidad e innovación, para la captación y fidelización de clientes.

La metodología de construcción del laboratorio parte de la investigación y recopilación de datos con proveedores, así como la respectiva cotización y adquisición de equipos de laboratorio necesarios para los análisis de ensayos. De igual manera, se diseñó un plan de control de ensayos con mediciones diarias de: Granulometría, Materia Orgánica y pH, con el fin de identificar falencias de producción y defectos en los productos.

Para el análisis correspondiente, se recolectaron setenta muestras naturales a nivel global, las cuales representan toda la gama de agregados disponibles en Wisconsin; inicialmente fueron ensayadas para determinar la densidad y absorción, a partir de ellas fueron seleccionadas treinta agregados, para determinar el rango de valores de vacíos de saturación por gravedad al que pertenecía cada uno, y solo nueve de ellos fueron probados para la congelación y descongelación.

Los resultados de las pruebas se pueden resumir con respecto a la durabilidad de los agregados que: la absorción de un agregado es un indicador preliminar de durabilidad, y en caso

de obtener un valor menor al 2% no requiere la realización de pruebas para medir la pérdida de abrasión, pérdida de Micro-Deval, congelación, ni descongelación, sin embargo, si requiere examinar las partículas livianas. Los porcentajes máximos permitidos de sílex (material poroso y poco duradero) es de 5% en el hormigón normal y 2% en el concreto prefabricado, se debe evitar la existencia de este material en estructuras estéticas de hormigón. La prueba de abrasión tiene el potencial de estimar el rendimiento y evaluar la fuerza agregada. La prueba de micro-deval permite modelar con mayor precisión la degradación que se produce durante la manipulación y la mezcla. La prueba de solidez identificó correctamente dos de los siete agregados probados, la prueba es muy variable y depende del potencial del laboratorio. La congelación y descongelación no se correlacionan con la solidez en la prueba del sulfato de sodio, y debido a su variabilidad se recomienda utilizar un límite superior pérdida de 15%, así como se recomienda realizar esta última prueba a los agregados con hormigón congelado y descongelado a fin de identificar posibles resultados de desconchaduras, deterioro y agrietamientos.

Se validaron los productos a la grava de  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{3}{8}$ ", provenientes de Surata para ser utilizados en la elaboración de dos tipos de concretos, manejados por la compañía: 280 SIUF (grava  $\frac{3}{8}$ ") y 210 BC (grava  $\frac{3}{4}$ "); se trabajaron en paralelo con dos mezclas por cada tipo, diferenciando los diseños "testigos" o diseños avalados y los diseños de "prueba". Se inició con la evaluación de las gravas de prueba eran provenientes de Ingesan, Pacecol, La vega y Caliza, mezcladas con arena avalada y posteriormente fueron probadas las arenas provenientes de Ingesan, La vega, Pacecol, Chicamocha y Caliza, con las gravas avaladas. Los insumos anteriores fueron medidos a fin de identificar los índices de Manejabilidad (cono Slump), Determinación de la relación Agua / Cemento y Resistencia a la compresión. Los resultados

sobre el comportamiento de los agregados en mezclas de concreto de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  (3000 PSI), permitieron extraer las siguientes observaciones:

**Tabla 13.**

*Mezclas a realizar para avalar gravas de surata.*

<b>Concreto tipo</b>	<b>210 BC</b>	<b>280 SIUF</b>
<b>MEZCLA</b>	Arena avalada	Arena avalada
	Grava 3/4" Ingesan	Grava 3/8" Ingesan
<b>MEZCLA</b>	Arena avalada	Arena avalada
	Grava 3/4" Pacecol	Grava 3/8" Pacecol
<b>MEZCLA</b>	Arena avalada	Arena avalada
	Grava 3/4" La vega	Grava 3/8" La vega
<b>MEZCLA</b>	Arena avalada	Arena avalada
	Grava 3/4" Caliza	Grava 3/8" Caliza

Fuente: Sandoval. M 2003.

A fin de identificar proporciones optimas de arenas, según las condiciones exigidas por la norma, se realizó el análisis estadístico de las granulometrías ensayadas en arenas de proveedores diferentes.

Se crearon, así mismo, planes de ensayo en los que se prueba y valoran comparativamente, una serie de muestras para mezclas de concreto convencionales e industrializadas, determinando

si en el transcurso de 1, 3, 7, 14 y 28 días cumplen con los estándares de calidad (resistencia a la compresión, manejabilidad y consistencia -agua/cemento-) para ser comercializado.

Finalmente se proporcionó a la empresa Cemex una herramienta para el manejo de la calidad de agregados, constituida por un laboratorio dotado y funcional que permite la caracterización de los materiales y la identificación efectiva de falencias para añadirlos a los procesos de mejora. De esta manera, se persigue la excelencia en la innovación y perfeccionamiento del producto.

**Estudio 8:** Comparación de la mezcla flexible drenante y la mezcla de concreto poroso utilizando la fuente de agregados de pescadero.

Los autores de este proyecto compararon los diferentes comportamientos de las mezclas drenantes utilizadas en las estructuras de pavimento rígido y flexible, mediante la determinación de la capacidad drenante a modo de laboratorio de las dos mezclas, realizan una comparación entre el desgaste y rugosidad de la carpeta asfáltica y de concreto que conforman las estructuras de pavimentos. [30].

El pavimento rígido tiene mucha porosidad, por lo cual es usado en áreas de bajo tránsito y tiene la capacidad de evacuar el agua lluvia a través de su superficie porosa reduciendo el escurrimiento superficial.

El pavimento flexible cuenta con grandes estructuras y capacidad de drenaje; La empresa objetivo de investigación permite evaluar las fortalezas y debilidades de cada uno de los diferentes tipos de pavimentos, según la estructura que se considera necesaria en proporción al tráfico que la misma debe soportar.

Solucionar el problema generado por el agua retenida en las vías al momento de filtrarse en el mismo, por medio de la granulometría la cual se ajusta a las mezclas drenantes.

Según el análisis de resultados de caracterización se evidencian las siguientes pruebas de agregado de acuerdo a las características del agregado grueso:

Los resultados obtenidos de la clasificación de resultados y características del asfalto modificado elaborado son las siguientes:

**Tabla 14.**

*Características del asfalto modificado.*

<b>CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO MODIFICADO</b>		
<b>PRUEBAS REQUERIDAS</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN INV-400</b>
<b>Penetración 25°C, 5Seg,100g (INV-E706)</b>	55	55-70
<b>Pto. Ablandamiento (INV-E712)</b>	58.1	Min 58
<b>Recuperación elastica por Torsión (INV E727)</b>	47	Min 40

Fuente: Hanna, J. Camacho. 2014.

Adicional a esto se obtiene una evaluación económica de las mezclas en donde la mezcla de concreto es más costosa que la mezcla asfáltica debido a que contiene más cemento para lograr la contextura adecuada.

La granulometría diseñada, con las proporciones de 70% de grava TM 1/2", y 30% de Arena Triturada, proporcionó mezclas con porcentajes de vacíos mayores del 20%, cumpliendo el rango de 20% a 25%.

**Estudio 9:** Utilización de agregados pétreos sin trituración mecánica en concretos de baja resistencia.

Esta Investigación tuvo como fin tomar muestras de agregado del río Taquiza (Santander) para elaborar un diseño de mezcla equivalente a concreto de 2000 y 2500 psi teniendo en cuenta para realizar los ensayos la norma NTC 174 y las especificaciones técnicas del INVIAS artículo 630-07.

El diseño se hizo sin pasar el agregado por proceso de selección o trituración, con el fin de obtener resultados que comprueben que es posible y económica la obtención de este para darle diferentes usos donde no se requiere una resistencia superior a la anteriormente indicada.

Es importante resaltar que los proyectos a utilizar el concreto deben estar cerca al lugar de la extracción, los dos diseños presentados en este proyecto incluyen el costo de producción de los mismos.

Mediante los ensayos practicados a los agregados se demuestra la calidad de los mismos para cumplir con la resistencia requerida de cada concreto e implementarlo donde no se requiera resistencias superiores, optimizando recursos.

El objetivo general de este proyecto destaca el análisis de las propiedades de los agregados naturales sin trituración mecánica. También busca caracterizar los agregados pétreos extraídos de



fuente natural, evaluar el comportamiento de las mezclas preparadas con estos agregados y formular una propuesta técnica y económica de las mezclas utilizadas.

Con esta investigación se busca demostrar además de que es una mezcla de baja resistencia más económica, aportarles a las normas existentes las cuales rigen los índices de calidad, que se debe preparar las mezclas con el agregado mediante triturado mecánico para garantizar las resistencias, un nuevo concepto que permita cumplir con concretos de baja resistencia con agregados pétreos sin intervenir ni seleccionar.

Se debe considerar a la hora de elaborar mezclas asfálticas las propiedades geométricas, mecánicas, químicas, ausencia de impurezas, componentes minerales, porosidad, inalterabilidad y adhesividad.

**Tabla 15.**

*Para resistencia de diseño de 184 kg/ cm2.*

<b>Para resistencia de diseño 184 kg/cm2</b>			
<b>ingrediente</b>	peso	peso	volumen
	seco	especifico	absoluto
	kg/m3	g/cm3	l/m3
<b>cemento</b>	273	3,1	88
<b>agua</b>	172	1	172
<b>Cont. Aire</b>	----	----	0
<b>agregado</b>	1092	2,57	740

Fuente: E. Alexander, Sarmiento 2014.

**Tabla 16.**

*Para resistencia de diseño de 219 kg/ cm2.*

<b>Para resistencia de diseño 219 kg/cm2</b>			
<b>ingrediente</b>	peso	peso	volumen
	seco	especifico	absoluto
	kg/m3	g/cm3	l/m3
<b>cemento</b>	302	3,1	97
<b>agua</b>	172	1	172
<b>Cont. Aire</b>	----	----	0
<b>agregado</b>	1879	2,57	731

Fuente: E. Alexander, Sarmiento 2014.

Se presenta en las tablas las dosificaciones para la elaboración de concreto correspondientes a 2500 psi y 2000 psi según corresponden, teniendo en cuenta sus propiedades de peso seco, peso específico y volumen absoluto.

Mediante el análisis de trituración mecánica se define el concreto de 140 kg/cm2 o 2000 psi, respecto a las tarifas y el rendimiento de conceptos como la mezcladora de concreto, vibrador de concreto, herramienta menor, los materiales de obra, el agregado pétreo para concreto, la mano de obra y los costos indirectos, obteniendo el precio unitario total aproximado al peso.

De lo anterior se concluye que es posible implementar estas mezclas de concreto para proyectos en donde no se requiera mucha resistencia, teniendo en cuenta que el proyecto a desarrollar es sobre materiales de construcción para pavimentos.

Este no es tan influyente, pero si aplica introducirlo en el mismo ya que evidencia que los agregados sin procesos de trituración mecánica no sirven para cargas fuertes como los

pavimentos más si para alcanzar resistencias menores utilizadas en muchas otras partes de la construcción a un precio mucho más económico de lo que usualmente sale al procesarlo mecánicamente y clasificándolo.

**Estudio 10:** Construcción de las curvas maestras de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con ceniza, elaboradas en laboratorio, empleando agregados del río Sogamoso.

Este proyecto se desarrolló con el fin de elaborar las curvas maestras de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con ceniza, con agregados del río Sogamoso Santander en el año 2016, buscando determinar el rango dinámico empleando diferentes porcentajes de asfalto. Se elaboraron 9 mezclas en total, 3 de ellas con contenidos de asfalto convencional de 4.5%, 5.0% y 5.5%.

Las otras 6 mezclas con adición de ceniza al 5.0% y 10.0% y cada una de ellas con los 3 contenidos de asfalto. Para realizar las curvas se determinaron los módulos con la ecuación de William Landel Ferry.

Las mezclas contienen asfalto, agregados y aditivos, de este modo se caracterizan todos y se procede hallar el módulo dinámico, propiedad importante para el diseño y análisis de cualquier pavimento flexible, puesto que representa la rigidez evidenciando el comportamiento de los componentes de la mezcla.

Este proceso requiere de manera vital de la temperatura, por eso cada probeta es sometida a distintas temperaturas, teniendo en cuenta que dependiendo donde la carpeta de rodadura será construida influye la temperatura y el tiempo que esté sometida a ella en el comportamiento y en el tiempo de vida útil del pavimento. Una vez caracterizados los materiales se procede a separar

el material para obtener las cantidades deseadas para cada mezcla (MDC-19), luego se lleva a cabo la realización de la mezcla, luego se revisa el porcentaje de vacíos.

**Estudio 11:** Caracterización de concretos asfálticos y sus agregados con la aplicación de técnicas de análisis de imagen.

Se profundizo sobre las características del micro y macro estructura de las mezclas asfálticas mediante herramientas petrográficas y de análisis de imagen. Para lo cual se investigó mediante la fotografía a algunas secciones selecciones y mediante un programa determinado se logró identificar los componentes que traen aspectos desfavorables para la mezcla asfáltica concreta.

Se logró evaluar aspectos de segregación y problemas de interacción entre el agregado y asfalto evidenciados mediante la falta de cubrimiento y adherencia. Esto definiendo inicialmente criterios de medición y las fotografías más relevantes que pudieron aportar a la presente investigación.

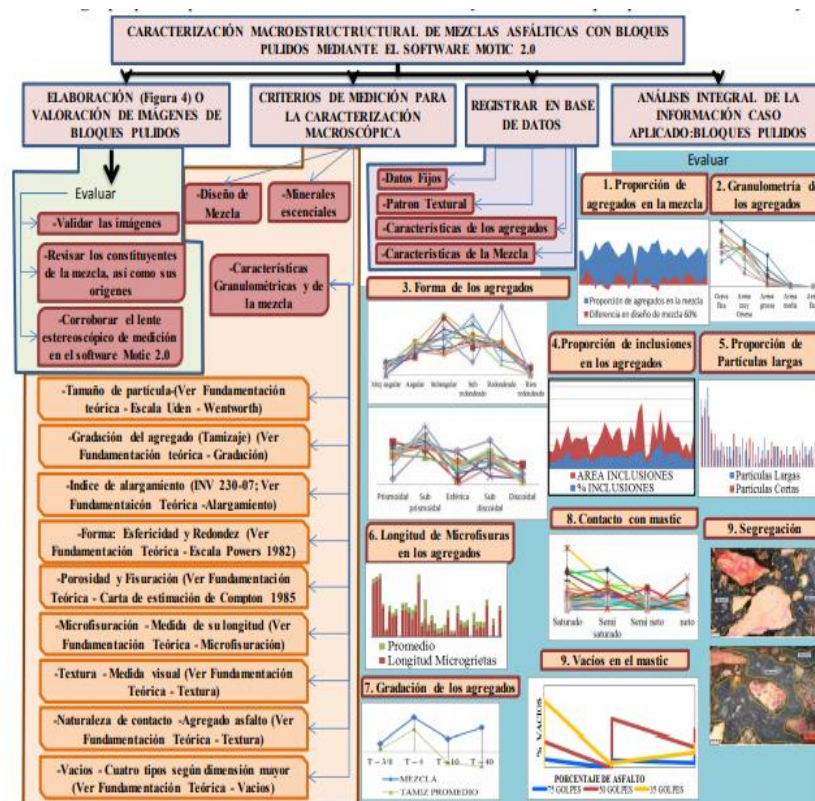
Como evidencia se obtiene que no es suficiente una fotografía de partes segmentadas, sino que es necesario que todas las microfotografías sean de una misma área.

Prendiendo encontrar los aspectos nocivos para un buen funcionamiento de la vida útil de estos concretos asfálticos en una obra vial, se realizó un método cuantitativo permitiendo encontrar una metodología que resume la realización de evaluaciones similares de concretos asfálticos y sus materiales constitutivos.

A fin de determinar el análisis de la estructura interna de mezclas asfálticas, mediante la utilización de las herramientas petrográficas y de análisis de imagen se logra la utilización de

estereomicroscopio y el software para análisis de imagen Motic 2.0 los cuales tienen acceso en la universidad nacional.

La metodología de la tabla citada a continuación, se propone seguir para análisis de aspectos micro y macro estructurales en mezclas asfálticas, teniendo en cuenta que fue desarrollada con imágenes de concretos asfálticos, condiciones controladas en laboratorio y es apta para otro tipo de investigaciones de proceso de investigación de mezclas, construcción u operaciones vías.



**Ilustración 5. Metodología propuesta para la caracterización de mezclas asfálticas con bloques pulidos mediante el software motic 2.0**

**Fuente: Diana, K. Rojas Dueñas, 2017.**

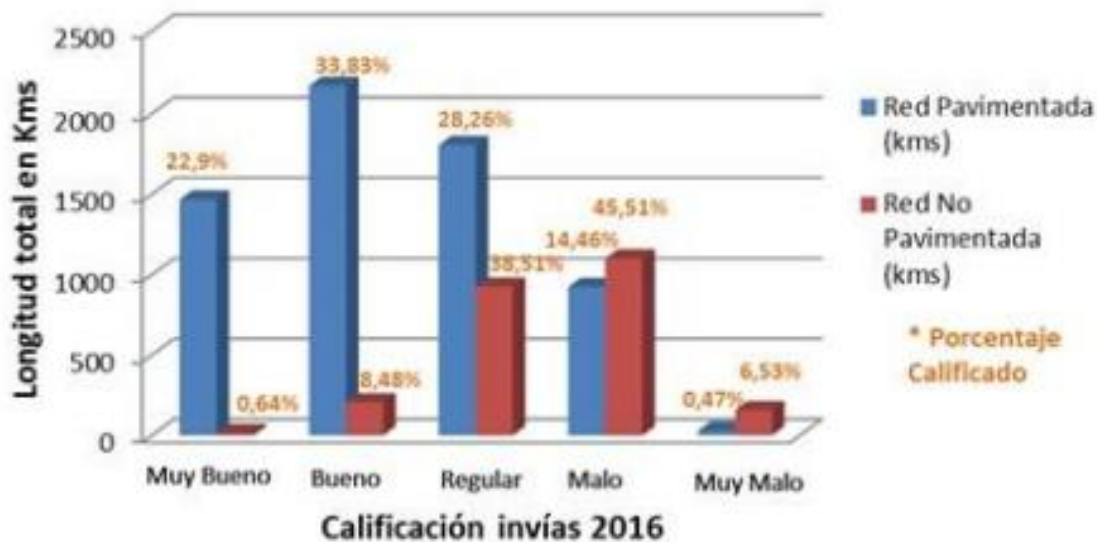
A diferencia de trabajos convencionales, este permitió evaluar aspectos de los concretos asfálticos después de procesos de producción y compactación de las mezclas, ya que

generalmente las características de los componentes y su interacción se evalúan antes de los procesos mencionados.

Se encontraron dichos patrones relacionados con el comportamiento de diferentes agregados de la mezcla, el tamaño que predomina en la granulometría es de grava fina, seguido por arena muy gruesa, un problema significativo es que se evalúa la gradación antes de mezclar y compactar.

Los agregados más redondos, son subangulares y subreangulares con porcentajes desde el 15 al 40%. El grado de esfericidad prima los agregados con forma subprismoidal en porcentajes que alcanzan hasta el 40%.

Como base de la presente investigación se tienen en cuenta datos relevantes según como lo comunica INVIAS (Instituto nacional de vías), para el año 2016, teniendo en cuenta el estado de la red vial primaria, ya que un 90% no se encuentra pavimentada.



**Ilustración 6.** Calificación INVIAS 2016.

Fuente: INVIAS 2016.

El trabajo debe ser optimizado mediante un estudio anterior del mismo, teniendo en cuenta que el papel de los concretos asfálticos es fundamental en la pavimentación y estos directamente relacionados con los costos y movilidad diaria.

### **Estudio 12:** Escoria para agregados concreto UIS.

Santander es un gran productor del sector metalmeccánico y metalúrgico, es por esto que la Universidad industrial de Santander y una empresa de ese sector, le dan usos alternativos a la escoria, en la fabricación de nuevos productos de concreto con bajo costo y propiedades novedosas.

El almacenaje de residuos genera gastos en su transporte, transformación, almacenaje, disposición final y un costo ambiental, teniendo en cuenta que la única forma de prevención en la actualidad es el almacenaje de los residuos en lugares lejanos.

La empresa LAVCO de Floridablanca, Santander genera en la producción de sus productos escoria, por lo cual lo ha utilizado como material para darle un buen uso, empleándola como material para estabilizar una vía de acceso. La escuela de ingeniería civil de la UIS junto con esta empresa, propuso la construcción de este tipo de materiales de bajo costo.

Se generó una oportunidad que ha permitido utilizarlos como insumo para la fabricación de nuevos productos desde agosto del 2012, con el proyecto “Uso de la escoria de procesos metalúrgicos, como agregado del concreto para la fabricación de elementos de construcción”.

Inicialmente se realizó una fase de caracterización del material, mediante la medición de cantidad y tipo de material, en segunda instancia se logró la propuesta de elementos de construcción como adoquines, tabletas, ladrillos. Esto se da mediante, la realización de pruebas y el desgaste del concreto con el material agregado.

El trabajo caracterizó las propiedades físico - mecánicas del concreto fabricado con escoria, se realizó la evaluación granulométrica en donde encontró su contenido de material de hierro, encontrando además que si se requiere un concreto más liviano se puede llegar a dosificar teniendo en cuenta si es un concreto acústico o concreto estructural.

El desarrollo social y cultural que genera este tipo de investigaciones es crucial también para el resto de empresas que lo requieren, con soporte de los laboratorios de Ing. Civil de la universidad UIS, teniendo en cuenta que el proceso es básico, se agranda, se procede a la realización del tamiz y utilizarlo como viene.



Una ventaja de este tipo de concreto es que no tiene limitación de tamaño, teniendo en cuenta la dosificación para que dure más y resista lo que se espera. Proteger el medio ambiente es una de las prioridades en el presente proyecto y el aseguramiento de la calidad de la construcción, así mismo el aporte de nivel investigativo ha sido alto debido a que ha sido resultado de la maestría de investigación, en donde se ha demostrado caracterizaciones de las propiedades de estos materiales.

## 10. FICHA BIBLIOGRAFICA RELACIONADA

Tabla 17.

*Ficha bibliográfica relacionada.*

Nº	Referencia del texto	Tema	Tesis	Propósito	Ideas Centrales	Palabras clave	Conclusiones
1	J.S. Ferreira, “Aprovechamiento de escombros como agregados convencionales mezclas concreto”, tesis profesional, Santander, Universidad Pontificia Bolivariana,	Agregados no convencionales para la elaboración de mezclas.	Existen intereses ecológicos, económicos técnicos de procesos aprovechamiento máximo de residuos construcción mediante reutilización de ser	intereses y optar de aprovechamiento de su de residuos construcción su solución a fin de ser más	Plantear el aprovechamiento de los residuos de construcción, originadas en Bucaramanga y su área metropolitana, como una solución potencial al desperdicio de recursos y la alta	• Existe una proliferación de malas prácticas para la disposición de residuos de construcción que generan contaminación, afectando la salud, el bienestar y la seguridad humano, animal y vegetal. • Las fuentes hídricas y el suelo se deterioran aceleradamente, perdiendo su biodiversidad y productividad. • Las inadecuadas disposiciones de escombros perjudican e invaden el espacio público y generan	Concreto, Escombros, Mezcla, Aprovechamiento, Construcción • La legislación ambiental colombiana rige la gestión integral de residuos y escombros, la cual debe ser acatada por cada proyecto de construcción. • Existen escombreras encargadas del acopio de residuos; se evidenció que la existente en Bucaramanga solo recoge y compacta el material,

---

Bucaramanga, 2009.	eficaces, participando del desarrollo sostenible del país.	contaminación del medioambiental.	obstrucciones en los sistemas de acueducto y alcantarillado.  • La continua intervención industrial del suelo, afecta sustancialmente sobre las propiedades físico-químicas y biológicas, convirtiéndolo en estéril.	carece de procesos de selección para el reciclado.  • Los escombros seleccionados presentaron una granulometría semejante a los agregados gruesos y a los agregados finos, lo que permitió concederles el mismo manejo.  • La mezcla de concreto en estado fresco resultó con un rendimiento volumétrico óptimo (99%-102%) y buena trabajabilidad.  • Las mezclas con escombros gruesos ( $E_1$ ) y
-----------------------	---	--------------------------------------	--	--

---

---

con escombros de ladrillos triturados manualmente ( $E_3$ ), fueron las que presentaron una mayor resistencia a la compresión en el concreto endurecido, con valores de  $156.30 \text{ Kg/cm}^2$  y  $145.27 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente.

- Las recuperaciones de escombros de construcción se pueden reutilizar como agregados no convencionales en nuevos proyectos, siempre y cuando se tomen las medidas necesarias para realizar un adecuado
-

---

								proceso de selección.
								<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se evidencia que adicional a la reutilización de un recurso, existe un ahorro en costo en la preparación de mezclas por este medio, en comparación con las mezclas que se consiguen en el mercado.</li> </ul>
2	E Beltrán, V. Ortiz.	Agregados	La continua búsqueda de mejorar productos y servicios que se ofrecen, requiere así mismo, innovar sobre el uso de los recursos destinados para la elaboración	Determinar la composición óptima de agregados adicionados, para obtener un aumento en la resistencia a la compresión del	la	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La propuesta busca que, mediante la adición de un agregado no convencional, se reemplace una proporción significativa de agregado fino procedente del suelo, permitiendo mejorar la propiedad de resistencia por compresión.</li> <li>• La fabricación del concreto convencional requiere de un gran</li> </ul>	Concreto, Mezclas, Limalla de hierro gris, Resistencia a la compresión, Diseño de mezcla, Aditivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La adición de limalla de hierro gris en cualquiera de los porcentajes estudiados, aumenta la resistencia a la compresión del concreto final.</li> <li>• La mezcla óptima para obtener la máxima resistencia (34.35 MPa),</li> </ul>

---

---

<p>para las mezclas de concreto”, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2010.</p>	<p>de estos elementos; por otro lado, los tiempos actuales exigen a las industrias la adopción del compromiso medioambiental para poder operar; la limalla de hierro gris se ha convertido en un subproducto con un alto potencial de reutilización industrial.</p>	<p>concreto, para una mezcla con adición de limalla fina probada bajo el 3.5%, 4.5% y 5.5%.</p> <p>potencial de recursos naturales no renovables.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La industria automotora al igual que la construcción ha sido uno de los gremios de mayor crecimiento y continua actualización en la sociedad actual, es necesario indagar sobre nuevas formas de disposición para los desechos que generan gran impacto a nivel ambiental.</li> <li>• Es necesario medir y comprobar que la adición de nuevos elementos a una mezcla para concreto, no altera sustancialmente las propiedades físico-químicas ocasionando comportamientos que perjudiquen el resultado final.</li> </ul>	<p>se compone de 65% de agregado grueso, 31.5% de agregado fino y 3.5% de limalla fina.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La adición de limalla de hierro gris no afecta las propiedades de la mezcla en estado fresco, lo que supone un beneficio de fluidez y manejabilidad del material.</li> <li>• De acuerdo a los resultados finales, para obtener un concreto más resistente, es recomendable elaborar mezclas con una distribución de peso de: agregado grueso: 70%-</li> </ul>
--	---	---	--

---

---

35%, agregado fino: 30% y 35%).

- La incorporación de limalla fina a las mezclas de concreto, reduce sustancialmente los múltiples impactos ambientales causados por la explotación y extracción de recursos naturales, debido a que este es un compuesto producido industrialmente con el aprovechamiento de metales reciclados.
  - La fabricación de concreto con limalla fina proporciona un beneficio económico, debido a que
-

									el precio unitario de este componente se encuentra significativamente por debajo al precio de agregado fino de origen rocoso.
3	J. López.	Fuentes de materiales de construcción en el departamento de Santander”, subdirección de recursos del subsuelo, Servicio Geológico Colombiano, Ministerio de Minas y Energía, Bogotá,	Para satisfacer la demanda de materiales pétreos requeridos para la construcción obras civiles en Santander, se debe contar con materiales que cumplan los lineamientos de calidad estipulados por la industria de	El propósito del proyecto es evaluar el potencial de los materiales pétreos de las diferentes unidades geológicas visitadas en el departamento de Santander, mediante el desarrollo de la	• La demanda relacionada con proyectos de construcción en Santander requiere ser atendida teniendo en cuenta la cantidad y la calidad de los materiales utilizados. • El informe abarca una descripción general de las unidades geológicas muestreadas, y evaluadas a partir de un trabajo de campo programado, las cuales apoyadas por investigaciones previas desarrolladas con el mismo fin. • El principal aporte de información	Exploración, Fuentes Materiales Pétreos, Santander, Unidades Geológicas Ensayos	• De las unidades ensayadas, las que reportan mayor cantidad de usos son: (A) Concreto Asfáltico, (H) Concreto Hidráulico, (B) Base, (SB) Sub-base Granular, (M) Mezclas, (P) Piedraplén y (T) Terraplenes, en conformaciones estructurales del departamento en		



---

<p>2011.</p>	<p>la construcción, respectiva fase de para ello su exploración conocimiento y geológica aplicación se deben programada, explorar las extraer muestras diferentes unidades para definir sus geológicas de la propiedades zona y someterlas a petrográficas y una serie de geo-mecánicas, a ensayos que fin de identificar permitan mediante su índice de el análisis calidad. cuantitativo la determinación de materiales óptimos de construcción con su respectiva ubicación.</p>	<p>secundaria fue extraído), de la investigación que recopila el inventario realizado por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), con un registro de 1.151 fuentes materiales entre canteras y fuentes aluviales, distribuidas en 26 distritos de carreteras.</p> <p>• Se tomaron fuentes bibliográficas referenciales como cursos de caracterización de pavimentos y concretos, guías para la toma de datos de fuentes materiales, manuales de petrografía y estudios adelantados por INGEOMINAS en los años 2009 y 2010. De la misma manera se recopiló información de interés mediante la visita a entidades oficiales y privadas sobre la demanda</p>	<p>formaciones geológicas (Rionegro, Simití, Paja, La Luna, El Tablazo, Los Santos y Rosablanca); Depósitos aluviales (Río Surata, Sogamoso, Guayabito, Onzaga y Servitá), las cuales presentan buena calidad física y mecánica para la industria de la construcción.</p> <p>• Las propiedades índices de los agregados muestreados en el depósito aluvial Río Negro es clasificado como la mayor fuente de material para concreto</p>
--------------	--	--	--

---

---

y ubicación de materiales pétreos requeridos en la construcción de obras civiles y desarrollo vial de la región.

- Los ensayos de calidad fueron efectuados mediante pruebas de desgaste en la Máquina de los Ángeles, C.B.R, solidez y Adherencia.
- Los agregados pétreos en Colombia se clasifican en 7 familias geotécnicas: Rocas Cristalinas, Rocas con Carbonato de Calcio, Rocas Laminadas, Rocas Cristalinas con Cuarzo, Sedimentaciones Silíceas y Rocas Arenáceas.

asfáltico e hidráulico.

- Las formaciones geológicas: Paja, Bocas, La Córcova y los depósitos aluviales: Sogamoso, Del Playón, Servitá, Cascajales, Frío, Fonce, Magdalena, Chucuri, Táquiza y Manco-Umpalá, constituyen unidades geológicas que pueden ser empleadas en la construcción de B. H. M, S y T.
  - Los agregados provenientes de Santa Bárbara, Girón, Grupo Real y la Meseta San
-

---

Rafael, así como de los ríos Cuchinero, Chicamocha, Huertas, Fonce y La Terraza, tienen propiedades óptimas para ser empleados en la construcción de H, S, M y T.

- Los ríos Magdalena, Manco, Cuchiquirá, Oro, Sogamoso, el Playón y la formación Colorado, por sus características físicas y mecánicas, presentan usos muy limitados para la industria de la construcción
  - Los resultados muestran
-

---

que no todo material proveniente de una fuente aluvial es apta para cualquier uso que se requiera en la construcción.

- La experiencia de campo señala que las rocas muestreadas de edades más antiguas, presentan mayor calidad mecánica y resistencia, por lo que son óptimas para la construcción de carreteras y otras obras civiles.
  - El río Huertas presenta una litología predominantemente
-



---

<p>mezclas de concreto con agregados no convencionales en américa para el periodo 2000 - 2010”, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2011.</p>	<p>de mezclas. de construcción, más utilizados en paralelo a esto, en la elaboración de concreto, en el periodo el campo de la construcción ha presentado importante un crecimiento, y ello un aumento en la demanda de estos materiales naturales, renovables, provocando daños irreversibles en estas fuentes de explotación. El conocimiento sobre los avances y</p>	<p>de construcción, más utilizados en la elaboración de concreto, en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2010; en el que se relacionan comparativamente cada uno de los estudios seleccionados.</p>	<p>•El desarrollo ha conducido al ser humano a re-direccionar su mentalidad hacia un pensamiento ambientalista y responsable, el que mediante el uso de la tecnología y otros sistemas constructivos se trabajen sobre iniciativas innovadoras que siendo auto-sostenibles aporten calidad y brinden mejoras a los procesos de obras civiles.</p> <p>•Existe una gran diversidad de materiales que pueden ser utilizados como agregados no convencionales, para la fabricación de mezclas de concreto, los cuales a su vez incrementan las cualidades del resultado final al brindar mayor, resistencia y trabajabilidad a un menor costo.</p>	<p>costos, materiales, agregados consultados sobresalen óptimos resultados en las fibras de polipropileno (mejoran un 100% la resistencia al impacto), viruta de acero (mejoran un 62% la resistencia a la compresión), la lechuguilla (mejora 20% la resistencia a la flexión), la estopa de coco (mejora un 1.5% la resistencia a la flexión), el bagazo de caña (mejoran un 100% la resistencia a la compresión), la escoria de fundición (presenta la misma resistencia que la</p>
--	---	--	--	--

---

---

estudios relativos al tema, permite visualizar los puntos de inicio de nuevos proyectos que permitan ampliar el campo de investigación y a futuro brinden una alternativa más productiva, sostenible y de mayor calidad.

- Los agregados actúan como material de relleno, haciendo más económica la fabricación del concreto; estos en combinación con pasta fraguada proporcionan una determinada resistencia a la compresión, por lo que su correcta y adecuada selección definen en gran medida la calidad del producto final.
- Dentro de los materiales no convencionales se destacan las fibras sintéticas orgánicas, fabricadas en acrílico, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno, calificadas por tener elevada resistencia a la tensión y baja elasticidad; así mismo, las fibras naturales, provenientes de fuentes no procesadas como el sisal, coco, caña

mezcla testigo), la escoria de cobre mejora la trabajabilidad de la mezcla y aumenta la resistencia, al igual que los residuos industriales: limalla y escombros.

- Claramente la elaboración de concretos con diferentes agregados no convencionales, proporcionan el mantenimiento de un equilibrio contributivo al medio ambiente, y a su vez contribuyen a la obtención de concretos de mayor calidad a menor costo.
-

---

de azúcar, bambú, yute, madera, entre otros, caracterizadas por ser de fácil obtención y a bajo costo, sin embargo presenta deficiencias en la durabilidad.

- Las escorias o residuos industriales como cenizas, humo de sílice, escoria siderúrgica de alto horno, es uno de los más utilizados en los últimos tiempos, ya que, presentan propiedades mecánicas favorables en el estado endurecido del concreto, además de su bajo costo y versatilidad.
- Se analizaron concretos elaborados con escombros y concreto reciclado de los cuales se identificó que, al agregar un porcentaje de residuo de construcción a la mezcla, aumenta el

- El mundo de hoy exige adoptar una mentalidad ambientalmente responsable, por lo que es necesario continuar ampliando este campo investigativo mediante propuestas que promuevan el uso de agregados no convencionales.
-



índice de resistencia, permitiendo reciclar y reducir la explotación de recursos naturales no renovables.

- Otro tipo de agregado no convencional que se analizó fue el papel molido, del cual, se comprobó que es apto para la construcción en lugares de condiciones de congelamiento y descongelamiento, dado a que posee propiedades favorables que permite detener las fisuras.

5	A.	Suarez, J. Malagón. Tesis de grado "Comparación de la calidad de las propiedades de los agregados	Calidad de los agregados disponibles para concreto.	La comparación de los agregados disponibles en la elaboración del concreto proporciona información más	Determinar las diferencias de los agregados utilizados para la construcción de concretos, mostrando las	Determinar la calidad entre las diferentes canteras de extracción disponibles en la región de materiales de agregados gruesos y finos para la construcción de concreto.	Análisis granulométrico, canteras de extracción, resistencia al desgaste, índice de	El comportamiento de las precipitaciones afecta la selección de los agregados grosso y fino por los materiales orgánicos que arrastran las mismas. Influyen en la calidad
---	----	---	---	--	---	---	---	---

---

<p>disponibles para concreto”, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2012.</p>	<p>detallada de la comparaciones calidad de los por canteras de materiales por extracción cantera y disponibles en la profundiza las región. cualidades que exige la normatividad en el cumplimiento mínimo de los estándares requeridos en un concreto.</p>	<p>· Realizar los ensayos alargamiento, pertinentes indicados por la caras norma para la obtención de resultados medibles.</p> <p>· Comparar resultados y establecer similitudes y diferencias de los materiales de cada cantera, teniendo en cuenta que se despreció el factor estado del tiempo el cual podría influir en la selección de la calidad del material.</p>	<p>de los materiales los procesos de extracción, transporte y trituración, como los equipos, sin embargo, su resistencia se encuentra entre los intervalos aprobados.</p> <p>· Al revisar detalladamente los datos estadísticos de cada uno de los ensayos se encontró que la desviación estándar en las pruebas no cumplidas fue mínima para el material de pescadero obteniendo porcentajes de 5,2% en alargamiento, 4,3% en aplanamiento y 2,3% en absorción, mientras que el</p>
---	--	--	--

---

---

material de Surata fueron de 10,9% de alargamiento, 6,37% en aplanamiento y 3,1% en absorción, lo que nos permite concluir que las dos fuentes cumplen con material apto para la construcción de concreto.

---

6	M. Lozada, M. Jaimes. Tesis de grado “Estudio de los índices de variabilidad en la calidad de los agregados pétreos, rígidos enfocado a pavimentos rígidos”, Facultad	Variación en la calidad de los agregados pétreos para pavimentos rígidos.	El estudio de los índices de variabilidad presentes en los agregados pétreos de las fuentes Chicamocha y Río de Oro será tenido en cuenta en la eficiencia de la	Estudiar los márgenes de variabilidad en la calidad de los agregados pétreos procedentes de Chicamocha y Río de Oro, enfocados en la	La calidad de los agregados la determinan los ensayos, los cuales deben cumplir con la normatividad establecida de los mismos. Cuantificar la variabilidad de los resultados en un periodo de 5 meses con muestras quincenales.	Indicis de variabilidad, pavimentos rígidos, agregados pétreos, periodicidad, porosidad.	Estadísticamente los márgenes de variabilidad en la calidad de los agregados pétreos de las dos fuentes estudiadas se hicieron mediante la formulación de una hipótesis la cual es válida y aplicable en los casos de investigaciones con campos muestrales prácticos
---	---	---	--	--	---	--	---

---

---

de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2012.	construcción de la estructura.	utilización en pavimentos rígidos.	variables.  · En base a los resultados se pudo determinar que los agregados precedentes del Río Chicamocha son de mejor calidad y cumplen los requisitos de las normas NTC e INVIAS que los de Río de Oro.  · En cuanto a la durabilidad de los agregados se puede afirmar que el agregado procedente de Río Chicamocha cumple con los requisitos debido a la densidad y baja porosidad del mismo mientras que el procedente de Río de Oro
---	-----------------------------------	--	--

---

---

presentó valores de desgaste muy altos y en algunas quincenas no cumplieron con los requisitos debido a la alta porosidad y contaminación del mismo.

- La periodicidad en el control de calidad de los agregados es de vital importancia ya que los cambios climáticos, los procesos de extracción y contaminantes presentes en las fuentes hacen que estos varíen.

---

7	M. Sandoval. Tesis de grado	Caracterización de los requerimientos de innovación y construcción	Se plantea la	• La pasantía profesional desarrollada en la empresa Cemex Colombia, Mezclas	Agregado, de	• Se realizó una labor estadística, mediante un
---	-----------------------------	--	---------------	--	--------------	---

---

---

“Instalación, manejo y supervisión del laboratorio satélite de agregados en la ciudad de Bucaramanga con la implementación de ensayos básicos de caracterización en materiales para vías y agregados para concreto”, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2013.

materiales para vías y agregados para concreto.

aseguramiento de la calidad de la multinacional Cemex Colombia, exigen la mejora continua y progresiva de procesos e insumos manejados en los productos, la creación de una herramienta de seguimiento y control de la calidad que permita identificar calidad de los materiales antes de ser utilizados en los

implementación de un laboratorio satélite de agregados, en la ciudad de Bucaramanga, en el que se ejecuten ensayos básicos de caracterización de materiales para vías y agregados de concreto, a fin de medir, verificar y controlar la calidad de producción de los agregados de la planta de Surata.

sede Bucaramanga, fue enfocada a la creación de una herramienta de control para los planes de ensayos básicos de calidad en los materiales a fin de aportar a los proyectos de mejora continua de la compañía.

concreto, ensayos de laboratorio, compresión, manejabilidad.

seguimiento diario a ensayos, con el fin de evaluar el comportamiento de los agregados en mezclas de concreto utilizadas en Bucaramanga.

- Los ensayos básicos consistieron en la medición de: granulometría, módulo de finura, materia orgánica y pH.
- La empresa Cemex cuenta con la mina Surata, de la cual se extrae piedra caliza, la cual es llevada a la planta para su trituración, continuadamente se sigue con la aplicación de los métodos de ensayo previamente investigados sobre la forma de calcular la resistencia de los agregados a largo plazo, dichos

- El proyecto logro caracterizar los materiales, así como el diseño una serie de ensayos y formatos de mediciones, para la gestión y control de la calidad.
- Se propuso mediante diagrama de flujo el proceso de ejecución, control y calidad del

---

---

productos, proporciona disminución de pérdidas y aumenta la confianza a los clientes por garantía de calidad.

- métodos incluyen la gradación, plasticidad, resistencia a la abrasión, solidez y resistencia a la congelación y descongelación.
- Los métodos experimentales se clasifican en físicos, que incluyen mediciones de desgaste de manipulación y construcción, degradación bajo cargas, degradación ambiental de congelamiento, descongelamiento, humectación, secado, expansión y contracción térmica; y químicos, en los que se evalúan las reacciones de óxidos reactivos (CaO y MgO) y sulfuros (sulfuro ferroso), reacción álcali.sílice, y reacción álcali-carbonato.
  - La metodología de ensayos

agregado para la planta de Surata

- De acuerdo a las gráficas de comportamiento de los agregados ensayados en comparación con el agregado testigo (Chicamocha), el proveedor con mayor resistencia a la compresión en la fabricación de mezcla de concreto de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  para la fórmula de cemento Clemencia fue Caliza, y para la fórmula de cemento Caracolito registro Ingesan.
  - En la evaluación de las
-

---

comienza con la evaluación del comportamiento de los agregados después de la trituración, siguiendo con la elaboración de dos tipos de concretos fabricados por la compañía, 280 SIUF (grava 3/8") y 210 BC (grava 3/4") modificando selectivamente los agregados de 20 mezclas preparadas con grava y arena de diferentes proveedores, y comparando los resultados con las mediciones de las pruebas realizadas a la mezcla testigo o avalada.

arenas probadas para la fabricación de concreto de  $210 \text{ Kg/cm}^2$ , se identificó que la arena de Pacecol presento mayor resistencia a la compresión y en cuanto a las otras mezclas de combinación de arenas calizas, la que presento un mejor comportamiento de resistencia a la compresión fue arena caliza – Chicamocha

- En cuanto al comportamiento de los agregados utilizados para la mezcla de  $280 \text{ Kg/cm}^2$ , el agregado
-



---

proveniente de la Vega presenta mayor resistencia a la compresión a los 28 días de curado.

- En la valoración de las arenas muestreadas, las combinaciones que presentan un mejor comportamiento frente a la compresión corresponden a Arena Chicamocha - Pacecol y Arena Caliza-Chicamocha, en las comparaciones con la arena testigo y arena caliza respectivamente.

---

8	Hanna, J. Camacho.	Comparar los	Las dosificaciones de mezclas tanto de	Pavimentos,	Las mezclas en concreto
	Tesis de grado Comportami	Mediante	concreto hidráulico como de concreto	mezclas	poroso tienen una mayor

---

---

“Comparación de la ento de las comparación de comportamientos asfáltico se ven reflejadas en el diseño capacidad de drenar el agua. mezcla flexible mezclas mezclas drenantes de las mezclas de pavimentos por lo cual se evalúa drenantes, La granulometría diseñada, drenante y la drenantes para pavimento drenantes cual técnica de construcción y diseño concreto con las proporciones de mezcla de concreto para rígido y flexible es utilizadas en se acomoda más según lo requerido. poroso. 70% de grava TM 1/2”, y poroso utilizando la pavimento posible determinar las estructuras 30% de Arena Triturada, fuente de agregados rígido y la capacidad de de pavimento de pescadero”, flexible. evacuar el agua de rígido y flexible, La diferencia entre el Facultad de lluvia atreves de la flexible, concreto convencional con Ingeniería Civil, superficie porosa, enfocándonos en la del concreto poroso, es Universidad para lo cual se la capacidad significativa, debido a que Pontifica diseña la drenante de el concreto convencional es Bolivariana, granulometría que desgaste y precio posible notarlo a simple Bucaramanga, se ajusta a lo de cada una de vista, en donde se 2014. requerido según el ellas. obtuvieron porcentajes de material extraído de la fuente de materiales del rio pescadero.

---

---

15% y 30% de vacíos respectivamente.

La mezcla de concreto poroso conto con mayor capacidad drenante ya que evacuó en mucho menos tiempo la misma cantidad de agua.

Mediante los ensayos de cántabro a la mezcla asfáltica drenante se obtuvo que el concreto poroso fuera la que tuvo mayor degradación en sus piezas, contrario al concreto poroso que obtuvo una pérdida total del material, mediante la prueba de rugosidad, por medio de dos moldes de

---

						azufre.	
9	E. Alexander, Sarmiento bueno. Tesis de grado, "Utilización de agregados pétreos sin trituración Mecánica en concretos de baja resistencia". Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2014.	Caracterización de un agregado obtenido del río taquiza según diseño de mezcla para resistencias de 2000 y 2500 PSI, el cual no tiene ningún proceso de selección o trituración.	Es necesario el uso de concretos de baja resistencia para lo cual se debe tener en cuenta durabilidad, limpieza, contenido de materia orgánica, absorción, dureza, forma y tamaño, debido a que influyen de manera directa las propiedades físicas del mismo.	Analizar las propiedades físicas mecánicas de los agregados naturales sin trituración mecánica, en la elaboración de mezclas de concreto mediante ensayos de laboratorio.	La reducción de costos en la elaboración de mezclas de baja resistencia, siendo base técnica para la cantera de donde se obtiene el agregado natural a caracterizar. Al fabricar especímenes de concreto elaborado con agregados obtenidos naturalmente y sin trituración, cumplen con la resistencia requerida, disminuyendo los costos y facilitando el transporte de dichos agregados.	Agregados Pétreos, Granulometría, Resistencia, trituración mecánica, concreto.	El agregado analizado cumple con los requerimientos de porcentajes de desgaste y contenidos de materia orgánica que permite en el campo de la ingeniería ser utilizados realizando análisis constantes los cuales consiguen granulometría constantemente. La cantera de la cual fue tomado el agregado presenta buena calidad debido a que hay corrientes de agua sin contaminación, debido al

---

tipo de terreno los contenidos de materia orgánica y arcilla son mínimos.

La forma de las partículas presenta una forma aplazada y alta, debido a que no es procesado mecánicamente, siendo de esta forma de baja resistencia.

El diseño de mezcla obtenido permite dejar precedente de la calidad de concretos que se pueden conseguir con la utilización de este agregado de bajo costo.

La investigación se centra en la utilización de

---

---

							agregados obtenidos cerca de las áreas de influencia en el municipio de charalala, Santander, teniendo en cuenta que una de las grandes influencias en el costo de los agregados es el transporte al igual que el procesamiento del mismo.
<b>10</b>	Geovanny, A. Blanco Melo. Tesis de grado “Construcción de las curvas maestras de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con ceniza es el principal	Construcción de las curvas maestras de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con ceniza es el principal	El objetivo del comportamiento del módulo dinámico de mezcla asfáltica convencional modificada con adición de ceniza es el principal	Elaborar las curvas de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con ceniza con muestras elaboradas en laboratorios,	Las empresas colombianas que realizan mezclas asfálticas, asumen un alto costo debido a que no cuentan con los equipos dinámicos necesarios. Para la estructura de pavimento, es esencial tener en cuenta las características de los materiales, y su resistencia a la aplicación de repeticiones de carga.	MDC-19, Mezclas, asfalto, Modulo dinámico, curva maestra, frecuencia.	Se evaluó el módulo dinámico de mezclas asfálticas MDC-19 empleando agregados pétreos del rio Sogamoso y cemento asfaltico de la refinería de Ecopetrol, Barrancabermeja, el agregado pétreo del rio

---

<p>ceniza, elaboradas con ceniza objetivo, para lo empleando En el proyecto se desarrollaron las en laboratorio, con cual se realizó un agregados del rio curvas maestras con los módulos empleando agregados diseño de mezcla Sogamoso del dinámicos de mezclas asfálticas agregados del rio del rio MDC-19 con base departamento de obtenidos en el laboratorio, para Sogamoso”, Sogamoso. a la principal Santander. mezclas convencionales y modificadas Facultad de comparación del con adición de ceniza. Ingeniería Civil, módulo dinámico Las bajas temperaturas en Universidad con ceniza, con los módulos dinámicos, Pontificia con agregado pétreo del dieron mejores resultados que las de altas Bolivariana, rio Sogamoso. temperaturas. Bucaramanga, 2016.</p>	<p>Mediante las microfotografías</p>	<p>Profundizar en el conocimiento de</p>	<p>Mediante unas fotografías</p>	<p>Existe un avance continuo en el desarrollo de nuevas</p>
<p><b>11</b> Diana, K. Rojas Dueñas, Tesis de</p>	<p>Identificar</p>	<p></p>	<p></p>	<p></p>

grado	aspectos	seleccionadas de	las características	seleccionadas	previamente	se	técnicas de análisis de
“Caracterización de	asociados	secciones delgadas	del micro y macro	profundiza la investigación de fallas,	Concretos	mezclas asfálticas, sin	embargo, se evidencia una
concretos asfálticos	con la	y bloques pulidos	estructura de	porosidades entre agregado y asfalto	asfálticos,	análisis de	carencia en el estudio a
y sus agregados con	estructura	de concretos	mezclas	ideas de evidencias de falta de	imagen,	nivel micro y macro	estructural en lo que
la aplicación de	interna que	asfálticos se	asfálticas,	cubrimiento en los mismos.	Software Motic	respecta a la utilización de	técnicas petrográficas y de
técnicas de análisis	puedan tener	identifica y estudia	utilizando	herramientas	2.0, partícula,	micro fisuras.	análisis de imagen.
de imagen”,	incidencia	temas de	petrográficas de	análisis de	La utilización de técnicas	petrográficas ha tomado	relevancia en la exploración
Universidad	desfavorable	segregación,	imagen.	Generar una	metodología que	se pueda utilizar	para la identificación de
Nacional	de en el	problemas de	Generar una	metodología que	se pueda utilizar	para la identificación de	problemas que afectan la
Colombia,	comportami	interacción entre	Generar una	metodología que	se pueda utilizar	para la identificación de	mezcla.
Universidad	ento a	agregado y asfalto	Generar una	metodología que	se pueda utilizar	para la identificación de	problemas que afectan la
nacional	de mediano y	además de	se pueda utilizar	para la	caracterización de	la estructura	interna de
Colombia, Bogotá,	largo plazo	evidencias de falta	para la	caracterización de	la estructura	interna de	concreto asfáltico
2017.	en mezclas	de cubrimiento y	caracterización de	la estructura	interna de	concreto asfáltico	y de sus
	asfálticas	adherencia, tamaño	la estructura	interna de	concreto asfáltico	y de sus	
	compactadas	distribución de	interna de	concreto asfáltico	y de sus		
	.	vacíos con aire	concreto asfáltico	y de sus			
		entre otros.	y de sus				



				agregados, basada en la utilización de estereomicroscopio y del software para análisis de imagen – Motic 2-0.			después de procesos de producción y compactación de las mezclas. La clasificación para los 400 agregados en cuanto a su granulometría, se tiene que el tamaño predominante de las imágenes es grava fina seguida por arena muy gruesa.
12	L. Pérez, «Escoria para agregados de concreto, una solución Solida.,» <i>Santander Innova, Maestría de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de</i>	Uso alternativo de la escoria para la fabricación de nuevos productos de concreto, de bajo costo y	Los sólidos de las industrias metalmecánica y metalúrgica, denominadas escoria, se convertirán en agregados	Caracterizar el material mediante las dosificaciones de la materia prima o de la mezcla para ver en que proporciones se deben utilizar los	La escoria tiene componentes como el hierro lo cual le proporciona propiedades especiales al concreto. Darle uso a la escoria utilizándola para producir elementos de construcción, es una oportunidad que permite usarlos como insumo teniendo en cuenta que genera bajo costo y además cumple con las exigencias de resistencia y	Solución sólida, degradación, escoria, resistencia, concreto liviano.	Se caracterizaron las propiedades físico-mecánicas del concreto con escoria de horno de cubilote para generar mezclas de 0,10%, 15% y 20%. Si se quiere un concreto liviano, se debe dosificar a tales proporciones, un

---

<p><i>Santander</i>, p. 6, 2012.</p>	<p>propiedades novedosas.</p> <p>mezclas concreto nuevas propiedades y otros usos, evitando así su degradación y el impacto en el medio ambiente.</p>	<p>de con caracterizar ese concreto que se obtuvo.</p> <p>Hacer la propuesta de elementos para construcción, así como las existentes: adoquines, tabletas, y ladrillos.</p>	<p>componentes o agregados y caracterizar ese concreto que se obtuvo.</p> <p>La escoria puede tener cualquier tamaño y podría utilizarse para pavimentar una vía.</p>	<p>durabilidad requeridas.</p> <p>concreto que se comporte acústicamente, tiene otras proporciones y si se busca un concreto estructural, se hace otra proporción.</p> <p>Es necesario extender a otras empresas este tipo de investigaciones para el mejoramiento de los procesos que realizan las empresas para solucionar problemas específicos.</p>
--------------------------------------	---	---	---	---

---

## 11. RESEÑA CONSTRUCTIVA

**Tabla 18.**

*Reseña Constructiva.*

RESEÑA CONSTRUCTIVA			
Nº	Título	Análisis e Interpretación del Texto	Evaluación Crítica
1	Aprovechamiento de escombros agregados convencionales en mezclas de concreto	de El proyecto surge de la necesidad ambiental de remplazar un recurso renovable (material pétreo), mediante el reciclado de escombros de construcción generados en Bucaramanga, para ser aprovechados en la elaboración de mezclas de concreto, proporcionando ventajas adicionales sobre el producto final, como lo es proveer mayor resistencia y duración.	La tesis de grado contribuyó al presente documento en el ámbito del desarrollo e innovación sobre materiales para la construcción, los cuales además de ser resultado del aprovechamiento de escombros, pueden ser de mejor calidad y aun menor costo de fabricación.
2	Estudio del comportamiento de la mezcla de agregados	del Este proyecto busca reemplazar una cantidad de material tradicional como el	Este proyecto aporta la identificación de material alternativo en la construcción de pavimentos rígidos

---

adicionados con el 3.5, 4.5 y 5.5% de limalla fina para mezclas de concreto	agregado fino por uno no convencional, por lo cual se busca que usando la limalla de hierro gris se obtenga la misma calidad de concreto o superior, además de esto se busca un uso alternativo de este derivado del hierro, aportándole al medio ambiente soluciones y a la ingeniería alternativas.	(concreto) aprovechando la limalla de hierro como un gran porcentaje de agregado fino, según el estudio se comprueba que la resistencia alcanzada es superior a la que se buscaba si se prepara la mezcla con los porcentajes 3,5% de limalla, 65% de agregado grueso y 31,5 de agregado fino que son los adecuados.
---	---	--

---

3 Exploración de fuentes de materiales de construcción en el departamento de Santander	La investigación nace debido a la escasez de información de las fuentes de los diversos materiales de construcción del departamento de Santander, mediante los ensayos practicados a las muestras extraídas bajo un equipo completo de campo y análisis geológico permite elaborar los resultados para su posterior análisis de calidad, a esto se le agrega que en el departamento	El aporte de este proyecto permite conocer la cantidad de canteras y fuentes aluviales, clasificar el uso y calidad por ubicación, temporada entre otras. Las clasificaciones de mayor interés son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>AHBSMPT:</b> amplia variedad de usos para pavimentos, provienen de formaciones geológicas de Rionegro, Simití, Tablazo, Los Santos y Rosablanca.</li> <li>• <b>ABHMPS:</b> Del muestreo realizado es la única fuente</li> </ul>
--	---	---

---

---

<p>existen 22 canteras y 8 fuentes aluviales.</p>	<p>que reúne todos usos, buena calidad para base y Sub-base estructural del pavimento.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>BHMST:</b> uso exclusivo para la construcción de carreteras en las formaciones geológicas: Paja, Bocas y Cuarzo – Monzonita y en los ríos Sogamoso, Cascajales, Frio, Fonce, Magdalena, Manco-Umpalá, Taquiza y Chucurí.</li> </ul>	

---

<p><b>4</b> Estado del arte sobre la elaboración de mezclas de concreto con agregados no convencionales en América para el periodo 2000 – 2010</p>	<p>Con el ánimo de recopilar toda la información posible del continente durante la década pasada, se investigó los materiales existentes para la elaboración de mezclas que no fueran tradicionales, la comunidad científica participe destaque los más representativos como fibras de polipropileno, viruta de acero, lechuguilla, estopa de</p>	<p>Materiales menos tradicionales en la elaboración de mezclas de concreto que expone el proyecto, evidencia que tales agregados aportan beneficios en diferentes esfuerzos de la estructura como flexión, compresión y torsión. La falta de investigación de los mismos a nivel nacional a separado la oportunidad de profundizar en alternativas más eficientes, responsables con el medio ambiente, de mejor calidad y precio.</p>
--	---	---

---

---

	<p>coco, bagazo de caña, escoria de fundición, residuos como la limalla y los escombros. Concluyendo que países como Estados Unidos, México y Brasil son los más desarrollados en el tema, mientras que Colombia aún está sin explotar el aprovechamiento de los mismos.</p>	<p>La calidad encontrada en ocasiones plantea no tener que realizar reparaciones con el paso del tiempo, lo que hace que la investigación contenga información importante para cualquier estado del arte sobre el tema.</p>
<p>5 Comparación de la calidad de los agregados disponibles para concreto</p>	<p>Se busca cuantificar la calidad de los materiales que se usan para la preparación de mezclas de concreto. Al disponer de unidades medibles en el ámbito de calidad permite diseñar con eficiencia las mezclas y extraer la mejor calidad de cada agregado, la comparación de los materiales en el comportamiento visto al ser sometido a diferentes pruebas más los análisis</p>	<p>Los ensayos que indica la normatividad vigente en la fecha de elaboración del proyecto, dan pauta para comparar y explotar la mayor virtud de cada material usado en la elaboración de mezclas de concreto. Al revisar resultados también manifiesta las debilidades de los agregados, de modo que al recopilar la información da acceso a preparar mezclas con variación de porcentajes que permitan cumplir la función principal con las cuales fueron diseñadas.</p>

---

---

		matemáticos acercan más la información a la mezcla ideal.	
<b>6</b>	Estudio de los índices de variabilidad en la calidad de los agregados pétreos, enfocado a pavimentos rígidos	Los índices de variabilidad de los agregados pétreos para la construcción de pavimentos rígidos cuentan con baja información pese a que las normas indican los ensayos pertinentes para realizarlo. Tal necesidad estudia el comportamiento de uno de los agregados más abundantes en la mezcla en las fuentes de extracción Río Chicamocha y Río de Oro.	Este proyecto expone los índices del comportamiento de los agregados pétreos los cuales son confrontados con los índices de calidad requeridos para la fabricación e implementación de pavimentos rígidos en el departamento de Santander de donde fueron seleccionadas dos canteras de material reconocidas para elaborar la investigación.
<b>7</b>	Instalación, manejo y supervisión del laboratorio satélite de agregados en la ciudad de Bucaramanga con la implementación de ensayos básicos de caracterización en materiales para vías y agregados para concreto	Este proyecto nace del deseo de un estudiante de tener conocimiento más detallado sobre la calidad de los agregados usados más exactamente en la ciudad de Bucaramanga y el departamento, para lo anterior crea un laboratorio satélite donde se hace	El tener un laboratorio con pruebas diarias y control constante sobre resultados y procesos permite corregir de manera persistente defectos en los productos como fallas en los productos. Durante los ensayos se seleccionaron 70 muestras disponibles de material a nivel global con el fin de ir buscando la resistencia de cada uno e irlos

---

---

seguimiento descriptivo al descartando a medida que no proceso practico de la superarán procedimientos logrando multinacional CEMEX. La concluir que solo 9 de ellas se garantía que brinda la distinguieron por soportar cambios y búsqueda regular de la estados diferentes. Las muestras de calidad de los materiales y agregados fueron tomadas de varias agregados permite el de las canteras tradicionales del crecimiento y la obtención departamento de Santander de clientes firmes. permitiendo la caracterización y exposición de falencias para agregar en los planes de mejora que fueron diseñados.

- 
- 8** Comparación de la mezcla Este proyecto busca obtener flexible drenante y la diferencias y similitudes Entre los problemas encontrados se mezcla de concreto poroso entre las mezclas utilizadas resalta, el control total de drenaje en utilizando la fuente de para la preparación de los pavimentos que penetra la agregados de Pescadero pavimentos rígidos y estructura y permita dar salida los flexibles con agregados fluidos sin deteriorar los agregados y tomados de la cantera el interior de la misma, las fallas que Pescadero. Desgaste, presentan constantemente el rugosidad y porosidad, pavimento flexible, se debe a las aspectos evaluados en las constantes cargas a la que es diferentes carpetas de sometido, junto con la temperatura rodadura y estructura en que hace sus materiales y agregados, general se comparan para los cuales hacen que expongan sus indagar comportamientos propiedades diferentes a la de los
-



---

desconocidos o repetitivos para solucionarlos al menor tiempo posible.	pavimentos rígidos quienes por ruptura, por compresión, flexión o penetración de agua evidencian marcas o grietas que a raíz de los resultados obtenidos se concluyen características de agregados para obtención de mezclas deseadas, modificando también cantidades en las mezclas para mitigar errores que disminuyan la calidad.
<b>9</b> Utilización de agregados pétreos sin trituración mecánica en concretos de baja resistencia.	<p>El proyecto se desarrolló con el fin de generar un concreto de baja resistencia omitiendo procesos de trituración y selección en los agregados para reducir costos y comprobar que es viable su utilización en determinados casos. Los materiales fueron extraídos del Río Taquiza del departamento de Santander.</p> <p>A través de esta investigación se aporta la caracterización e identificación de materiales y su respectiva fuente natural, la evaluación de las mezclas al ser puestas a prueba mediante ensayos y controles y la proposición técnica y económica de las mismas. Posteriormente al comprobarse que los concretos diseñados de resistencias 2000 psi y 2500 psi cumplen para implementarse en trabajos de resistencia baja y cercanos a los lugares de extracción del material y a un costo mucho más bajo, deja avances a la normatividad</p>

---

---

		y materia existente para futuras invenciones.
<b>10</b>	<p>Construcción de las curvas maestras de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con ceniza, elaboradas en laboratorio, empleando agregados del río Sogamoso.</p>	<p>Las curvas maestras de las mezclas asfálticas se extraen con el fin de determinar el comportamiento del rango variando los porcentajes de asfalto. La adición de ceniza para alterar una de las mezclas (elaboradas en laboratorio) busca dejar conceptos y comparar funcionamientos para establecer alcances medibles y exactos.</p>
		<p>Las múltiples extracciones de las canteras disponibles en el departamento de Santander como los agregados del Río Sogamoso y el posterior seguimiento, estudio y reacción de los materiales en las mezclas con métodos como las curvas maestras, aportan información valiosa y amplían los tipos de mezclas asfálticas no comunes disponibles para descartar o aplicar en futuros proyectos como según convenga la obra.</p>
<b>11</b>	<p>Caracterización de concretos asfálticos y sus agregados con la aplicación de técnicas de análisis de imagen.</p>	<p>Mediante el uso de las nuevas tecnologías se introduce al campo de los análisis mediante imágenes a diferentes escalas, evidenciando fisionomías en la estructura que a simple vista no se pueden percibir y por ende no se pueden tratar.</p>
		<p>No solo se busca recolectar información del departamento sino investigaciones de otras regiones con tecnologías no tradicionales en Santander como las características del micro y macro estructura de las mezclas. Los problemas de agregado, segregaciones y asfalto en las obras viales se pueden tratar y hacer seguimiento con este método desde la Universidad Nacional de</p>

---

---

		Colombia (Bogotá) en un laboratorio ambientado para detectar y tratar fallas desconocidas que expone el software, permitiendo aplicarlo en análisis de fallas con enfoque en pavimentos y en todo tipo de estructura.
<b>12</b>	Escoria para agregados concreto UIS.	En la búsqueda de nuevos y mejores agregados para la construcción de concretos y de darle un mejor destino a los residuos de otros materiales surge la Escoria como opción de agregado en los diseños de mezcla u otros, teniendo en cuenta la alta demanda de fabricación de metales en la región, la cual disminuye costos y daños ambientales. Para la selección y dosificación del material se realiza el ensayo de granulometría para posteriormente implementarlo como insumo y no basura.
		La investigación realizada en conjunto con la empresa LAVCO de Floridablanca Santander permite agregar un nuevo material como lo es el residuo del sector metalúrgico, la Escoria, derivando del mismo la aplicación para materiales como adoquines, tabletas, ladrillos, concreto. Debido a que los pavimentos rígidos requieren de gran resistencia se debe resaltar también información que permita descartar materiales o agregados producidos en la región para la construcción. Tal conocimiento se almacena para contribuir no solo con el crecimiento del proyecto sino con quienes buscan crecimiento en la industria orientados en la utilización de

---

---

residuos con beneficios para el  
medio ambiente.

---

Fuente Autor propio.

## 12. CONCLUSIONES

Se construyó un estado del arte sobre los agregados utilizados en Santander para la construcción de pavimentos mediante determinadas investigaciones, en donde se identificaron los materiales extraídos en el departamento de Santander distribuidos según su cantera, de los cuales los de mejor comportamiento para la construcción de pavimentos son de Rio negro, Simiti, tablazo, los santos y Rosa blanca.

Se identificaron las canteras de uso exclusivo para la construcción de carreteras en las formaciones geológicas, en lugares como paja, bocas y cuarzo monzonita, rio Sogamoso, cascajales, frio, fonce, magdalena, manco, taquiza y chucuri.

La recolección de la información recopiló los avances relevantes en el uso potencial de diferentes unidades geológicas, como en el caso de Piedraplen, Terraplén, Sub-base y mezcla son útiles para el uso del depósito aluvial la rochela.

La comparación de la calidad de agregados disponibles para concreto, permitió identificar el nivel de calidad de la mezcla, teniendo en cuenta que, a mayor calidad de agregado, mayor calidad tendrá la mezcla.

La construcción de pavimentos tiene un papel fundamental en el cuidado del medio ambiente, entre los estudios realizados se identifican estrategias para el aprovechamiento de desechos producidas por las diferentes industrias, debido a que estos contienen características o cualidades que pueden complementar las mezclas.

Se construyó una exploración documentada que evidencio las prácticas y usos de agregados para la construcción de pavimentos, lo cual permitió estructurar conceptos y generar conclusiones que generen nuevas ideas a este tema de investigación.

En el presente trabajo fueron encontrados algunos agregados no convencionales y métodos de seguimiento en búsqueda del mejoramiento en los pavimentos, a fin de mejorar la calidad y vida útil de los mismos, pudiendo ser una referencia regional en este tema.

### **13. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda continuar estudiando y ampliando la información existente sobre los agregados y materiales presentes en el departamento de Santander, ya que las fuentes de extracción de materiales hacen del departamento rico en producción para el gremio de la construcción. La calidad de los materiales puede ir aún en aumento al buscar nuevas y mejores formas de elevar sus cualidades iniciales y llevarlas a las requeridas para lograr el resultado deseado para el acercamiento diario a la perfección de cada aspecto tenido en cuenta en la construcción de pavimentos,

logrando reconocer la importancia de la realización de un estado del arte con conciencia social.

- Estudiar e investigar sobre los materiales que se están usando en la actualidad en la elaboración de agregados en Santander para la construcción de pavimentos a fin de innovar y mejorar dichos elementos fundamentales en la búsqueda de mejores alternativas ya sea en su proceso selectivo o constructivo, el investigar las fallencias que se conocen diariamente en las vías de los municipios y carreteras del departamento traerá información útil para evitar dar un mal uso a determinados materiales y poder ser implementada en futuras carreteras.
- Utilizar el apoyo de empresas presentes en el departamento que quieran invertir en la calidad de agregados y materiales abarcando el concepto de amistad con el medio ambiente. Laboratorios de muestras, ensayos y seguimientos o softwares enfocados en el mejoramiento de selección de materiales o identificación de nuevas canteras, o transformación de residuos en agregados pueden traer avances no solo para el gremio de la construcción sino para toda la economía, calidad del aire y fuentes hídricas del departamento.
- La alianza entre universidades con el programa de ingeniería civil para la promoción de ampliación y continuación de estados del arte existentes en materiales no convencionales para ser usados como agregados de construcción de pavimentos,

estructurando una línea de invención constante de crecimiento trazándose como meta la obtención de un nuevo y modificado residuo de cualquier industria aplicado para proyectos constructivos.

#### 14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] L. M. P. Á. N. A. Torrado Gómez, «Determinación de las ecuaciones del módulo de elasticidad estático y dinámico del concreto producido en Bucaramanga y su Área Metropolitana.» Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Bucaramanga, 2009.
- [2] F. M. Alaejos P., «High-performance concrete: requirements for constituent materials and mix proportioning.» de *High-performance concrete: requirements for constituent materials and mix proportioning.*, USA, ACI Materials journal 93 (3), 1996, p. 236.
- [3] P. W. Kosmatka S., « "Diseño y control de mezclas de concreto",» de "*Diseño y control de mezclas de concreto*", México, IMCYC, 1992, pp. 32-34.
- [4] A. García Badillo, « Mejoramiento del Concreto con Adición de Viruta de Acero a Porcentajes de 12 y 14% Respecto al Agregado Fino de la Mezcla.» Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional, Bucaramanga, 2008.
- [5] F. M. y. C. C. Olga Londoño, «Guia para construir estados del arte,» de *Guia para construir estados del arte*, Bogotá, ICONK- International Corporation of Network of Knowledge, 2016, pp. 47-51.
- [6] U. R. Alatorre J., «Construcción y tecnología,» de *Agregados para concreto: cada cual por su nombre*, Mexico, 10 (121), 1998, pp. 13-14.
- [7] C. R. S. M. I. E. Chan Yam Jose Luis, «Influencia de los agregados pétreos en las



características del concreto,» Universidad autónoma del estado de Mexico., Mexico, 2003.

- [8] N. A., "Tecnología del concreto" p. 163, IMCYC, México, 1999.
- [9] C. O. Cindy, *Analisis documental de trabajos de grado desarrollados en el area de gestion de proyectos y tecnologia de construccion en la facultad de ingenieria Civil*, Bucaramanga , 2012.
- [10] O. S. -. I. Civil, "www.360enconcreto.com", ARGOS, 11 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/usos-y-aplicaciones/tipos-de-juntas-en-muros-pisos-de-concreto>. [Último acceso: Abril 2019].
- [11] I. d. Caminos, "ingeniero-de-caminos.com," Marzo 2010. [En línea]. Available: <https://ingeniero-de-caminos.com/>. [Último acceso: Abril 2019].
- [12] COLOMBIA, HOLCIM, «www.holcim.com.co,» [En línea]. Available: <https://www.holcim.com.co/productos-y-servicios/productos/agregados>. [Último acceso: 2019].
- [13] N. T. C. (. 174), «ICONTEC Istituto Colombiano de Normas Técnicas,» 21 Junio 2000. [En línea]. Available: <http://zonanet.zonafrancabogota.com/www/resources/norma%20NTC%20174%20de%202000.pdf>. [Último acceso: Abril 2019].
- [14] L. G. d. López, «Los agregados,» Marzo 2003. [En línea]. Available: [http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/5/9589322824\\_Parte1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/5/9589322824_Parte1.pdf). [Último acceso: Abril 2019].

- [15] O. J. S. -. I. C. ARGOS, «TIPOS DE AGREGADOS Y SU INFLUENCIA EN EL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO,» 13 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>. [Último acceso: Abril 2019].
- [16] IngenieríaReal.com, «Revista de ingeniería, arquitectura, ciencia y tecnología,» marzo 2018. [En línea]. Available: <https://ingenieriareal.com/comparativas-entre-pavimentos-de-asfalto-y-pavimentos-de-concreto/>. [Último acceso: abril 2019].
- [17] A. Peralta, «www.eluniversal.com.mx,» 26 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.eluniversal.com.mx/autopistas/cual-es-la-diferencia-entre-carretera-de-asfalto-y-pavimento-hidraulico>. [Último acceso: abril 2019].
- [18] I. N. d. v. -. INVÍAS, «www.invias.gov.co - MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL, ARTÍCULO 442P – 17,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7032-mezcla-asfaltica-natural-articulo-442p-17/file>. [Último acceso: Abril 2019].
- [19] I. Instituto Nacional de Vías, «Pavimento de Concreto Hidráulico. Art. 500-13,» Mayo 2012. [En línea]. Available: <http://giv.com.co/invias2013/500%20PAVIMENTO%20DE%20CONCRETO%20HIDRAULICO.pdf>. [Último acceso: Abril 2019].
- [20] R. S. E. M. Jose Chan, «Revista de Ingeniería. Maestría en Ingeniería de la Construcción FIUADY-México,» 2003. [En línea]. Available: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen7/influencia.pdf>. [Último acceso: Abril 2019].

- [21] [www.colombiamania.com](http://www.colombiamania.com), «[www.colombiamania.com](http://www.colombiamania.com),» Mayo 2017. [En línea]. Available: <http://www.colombiamania.com/departamentos/santander.html>. [Último acceso: Abril 2019].
- [22] I. Fundación Wikimedia, «[es.wikipedia.org](https://es.wikipedia.org),» 02 Abril 2019. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Santander\\_\(Colombia\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Santander_(Colombia)). [Último acceso: Abril 2019].
- [23] J. S. F. Díaz, «Aprovechamiento de Escombros como Agregados No Convencionales en Mezclas de Concreto,» Escuela de Ingenierías y Administración- Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2009.
- [24] V. H. O. A. Eliecer Beltran Castillo, «ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA DE AGREGADOS ADICIONADOS CON EL 3.5, 4.5 Y 5.5% DE LIMALLA FINA PARA LAS MEZCLAS DE CONCRETO,» Facultad de Ingeniería Civil- Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2010.
- [25] T. D. C. C. S. d. R. d. S. Jaime López, «Exploración de Fuentes de Materiales de Construcción en el Departamento de Santander,» Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, 2011.
- [26] C. Barajas y D. Oquendo, «Estado del Arte sobre la Elaboración de Mezclas de Concreto con Agregados No Convencionales en América para el periodo 2000 - 2010,» Universidad Pontificia Bolivariana - Facultad de Ingeniería Civil, Bucaramanga, 2011.
- [27] J. M. Aydy Suarez, «Comparación de la Calidad de las Propiedades de los Agregados Disponibles para Concreto,» Universidad Pontificia Bolivariana - Facultad de Ingeniería Civil, Bucaramanga, 2012.

- [28] M. J. Mario Lozada, «Estudio de los Índices de Variabilidad en la Calidad de los Agregados Pétreos, Enfocado a Pavimentos Rígidos,» Universidad Pontificia Bolivariana - Facultad de Ingeniería Civil, Bucaramanga, 2012.
- [29] M. Sandoval, «Instalación, manejo y supervisión del laboratorio satélite de agregados en la ciudad de Bucaramanga con la implementación de ensayos básicos de caracterización en materiales para vías y agregados para concreto,» Universidad Pontificia Bolivariana - Facultad de Ingeniería Civil, Bucaramanga, 2013.
- [30] G. G. Hanna Camacho, «Comparación de la mezcla flexible drenante y la mezcla de concreto poroso utilizando la fuente de agregados de Pescadero,» Univerisdad Pontificia Bolivariana - Facultad de Ingeniería Civil, Bucaramanga, 2014.
- [31] F. A. y. B. A. O. M. GARCÍA HERNÁNDEZ, «Las Asfaltitas en Colombia y su uso en la pavimentación de carreteras.,» Trabajo de grado Ingeniero en Traspotes y Vía, Tunja, 2009.
- [32] J. A. S. ROMERO, « Estudio geológico caracterización de las asfaltitas de la vereda Palo Blanco en el municipio de Vélez - Santander.,» Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Trabajo de grado (Ingeniero Geólogo). , Sogamoso. , 2007.
- [33] D. C. Camargo, «UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA - DOSIFICACIÓN PONDERAL PARA HORMIGONES DE ALTA Y BAJA,» Octubre 2011. [En línea]. Available:  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13490/TESINA%20DEFINITIVA%20CORREGIDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: Abril 2019].

- [34] L. Gomez, *Determinacion de las ecuaciones del modulo de elasticidad estatico y dinamico del concreto*, Bucaramanga, 2009.