

Estudios preliminares de Ingeniería civil con responsabilidad ambiental

Universidad Santo Tomás, Tunja, 2012

ISBN: 978-958-8561-54-7

Autor, editor

Néstor Rafael Perico Granados

Coautores:

Edna Shirley Ávila,
Andrés Soto Rubio,
Yury Johana Vargas,
Alejandro Rodríguez,
Liliana Mesa.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A

Experiencia y Calidad



SC-CER184951



CD-SC-CER184951

Facultad de
Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

T U N J A

Experiencia y Calidad



DIRECTIVOS

Fr. Luis Alberto OROZCO ARCILA, O.P.
Rector

Fr. José Antonio GONZÁLEZ CORREDOR, O.P.
Vicerrector Académico

Fr. José Bernardo VALLEJO MOLINA, O.P.
Vicerrector Administrativo y Financiero

Miguel Ángel Toledo Castellanos
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Comité Editorial USTA Tunja

Fr. José Antonio GONZÁLEZ CORREDOR, O.P.
Vicerrector Académico

Mg. Ángela María Iondoño Jaramillo
director Centro de investigaciones

Mg. Andrea Sotelo Carreño
directora departamento de Comunicaciones

Esp. Henry Sánchez o larte
docente del dpto. de Humanidades

**Estudios preliminares
de Ingeniería civil con
responsabilidad ambiental
Universidad Santo Tomás, Tunja, 2012**

EDITOR

Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja.

Autor, editor

Néstor Rafael Perico Granados

Coautores:

Edna Shirley Ávila,
Andrés Soto Rubio,
Yury Johana Vargas,
Alejandro Rodríguez,
Liliana Mesa.

Corrección de Estilo

Andrea Sotelo Carreño

ISBN: 978-958-8561-54-7

Primera edición 2012

Hecho el depósito que establece la ley
©Derechos Reservados
Universidad Santo Tomás

Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización expresa de la entidad editora o los autores.

Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja
Cll. 19 No. 11 - 64 PBX: 744 04 04
Línea gratuita nacional: 018000 932340

Los conceptos expresados en este libro son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen a la institución.

PRESENTACIÓN

Es un trabajo de investigación elaborado por estudiantes de varios semestres y 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. Así mismo, existe otro sobre la utilización de la asfaltita como remplazo del material de carpeta asfáltica en diseño de estructura de pavimentos. Además de los méritos que tiene como investigación propiamente dicha, es importante destacar que han surgido como investigaciones del semillero del Espíritu del Ingenio.

De los primeros están los estudios hechos por Edna Shirley Ávila y Andrés Soto sobre la utilización de los estériles del carbón de Samacá, en la mina Los Arrayanes, para material cementante en concretos hidráulicos, que en principio han dado muy buenos resultados. Se muestran unos resultados preliminares alcanzados a lo largo de la investigación. La producción de estériles en la minería del carbón es realmente muy alta y contamina de manera significativa los suelos, el agua y el medio ambiente en general. Se calcula que la producción de este material equivale a más del treinta por ciento del material del carbón explotado y que va a parar a la vera del camino.

Así mismo, está el trabajo hecho por Yury Johana Vargas Tibocho y Alejandro Rodríguez sobre la utilización de los estériles del carbón de Socotá, de la mina Los Amarillos, para material de sub-base y material de base, también con excelentes resultados hasta el

momento. En esa población se han incrementado de forma exagerada en los últimos diez años la explotación del carbón y sus desechos lo han hecho de manera proporcional. De forma similar están contaminando los terrenos aledaños a las minas y disminuyen las áreas aptas para los cultivos y para la ganadería. Los resultados también son alentadores por la posible utilización del material.

Sobre materia parecida están los estudios que actualmente desarrolla la estudiante Liliana Mesa Barrera sobre la utilización de la Asfaltita, su caracterización y diseño de la estructura del pavimento, de la mina La Emilia, en Pesca, Boyacá. Estos materiales habían sido utilizados antes, desde el siglo pasado, pero sin ningún estudio que permita verificar sus bondades técnicas y su bajo costo. Es importante lo encontrado hasta el momento sobre la disminución de costos, que se calcula disminuye hasta en un cincuenta por ciento el del valor del asfalto clásico.

Para los semilleros es un trabajo que bien vale divulgarlo, socializarlo y aprender de él.

Néstor Rafael Perico Granados
Docente Investigador.
Director del semillero El Espíritu del Ingenio

CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO NATURAL (ASFALTITA) Y DISEÑO DE MEZCLA

CASO: MINA LA EMILIA, MUNICIPIO DE PESCA BOYACÁ

LILIANA MESA BARREA

1. PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La explotación del asfalto natural en Boyacá, en especial en el municipio de Pesca, se remota a principios de los años 1900, específicamente en el año de 1925, según informes de Ingeominas. Esta no ha sido extensiva, pues solo se han explotado los depósitos superficiales. Estas manifestaciones pueden ser de un volumen mayor del que se encuentra en superficie y están presentes en sitios aun no reportados.

Una de las formas de generar evolución social, económica y cultural en un país es por medio de la disminución de distancias y optimización del tiempo entre lo rural y urbano pues de esta manera se crea un ambiente de intercambio para las partes. Esto se logra a través de la construcción de vías las cuales ayudan a la interacción de varias culturas así como la introducción de nuevas tecnologías a lugares en los cuales éstas no tenían acceso.

La evolución conlleva a crear también nuevas necesidades, así que no basta solo con la construcción de la vía. A esto se suma su pavimentación de forma adecuada con materiales creados para este fin, como son pavimentos en caliente y en frío, triple riego, en

concreto, adoquín etc. produciendo al mismo tiempo una comodidad y facilidad de movilidad del usuario a su destino final.

En el caso una pavimentación en frío o asfalto natural, Asfaltita, esta no se aplica correctamente en muchos casos, debido a la falta de estudios sobre el material y su respectivo comportamiento dependiendo de variables como el clima de la zona a pavimentar. Además, a veces no se tiene definido con claridad si la vía es para tráfico pesado o liviano y su correcto extendido y compactado a la hora de pavimentar.

Con base en estudios de manifestaciones minerales adelantados en Boyacá, se ha establecido que en cuanto a recursos de asfalto natural se refiere, Pesca es un lugar privilegiado. Sin embargo, el desconocimiento de su potencial y por no contar con los estudios detallados del material como caracterización, su aplicación y respectivo comportamiento han hecho que este importante recurso no sea aprovechado en todo su potencial. De todas maneras, en los últimos nueve años se ha venido explotando para la pavimentación de vías.

Esta explotación sin embargo, no se efectúa de forma tecnificada desde su explotación, acopio y posterior distribución. Aunque el material se explota con retroexcavadora esta se hace en cualquier beta sin considerar las condiciones de la misma y se comienza de la parte inferior hasta llegar a la parte superior de la misma. Este proceso causa un debilitamiento del talud que no forma parte de la beta causando derrumbes. Luego, al despejar de nuevo la beta el material ya esta contaminado con otros materiales. Posteriormente, en el centro de acopio se mantiene el material explotado apilado a la

intemperie, sin ninguna protección lo que causa que agentes externos como el sol y el agua afecten las propiedades del material y este pierda gran parte de su composición. Estos procesos están ilustrados en las fotografías 1, 2 y 3.

En las fotografías 1 y 2 se puede observar que el material explotado es de color negro. Con el paso del tiempo y sin ninguna protección este se cambia a gris, lo que significa que pierde sus propiedades iniciales y como consecuencia se obtiene un material de asfaltita que no va a cumplir con las expectativas de diseño al pavimentar la vía, como se aprecia en la fotografía 3.

FOTOGRAFÍA 1. Material de Asfaltita en el centro de acopio recién explotado



Fuente: Autora, 01-09-2011.

FOTOGRAFÍA 2. Material de Asfaltita luego de cinco meses de ser explotado



Fuente: Autora, 11-02-2012.

FOTOGRAFÍA 3. Material de Asfaltita luego de cinco meses de ser explotado



Fuente: Autora, 11-02-2012.

Lo anterior ocurre como consecuencia de la falta de interés por parte de los responsables de explotar el material, al no tener los cuidados pertinentes durante el proceso de explotación y acopio. Así mismo, de quienes lo adquieren en compra para su uso en las vías a pavimentar, conformándose solo con un primer y único estudio de laboratorio de la mezcla, el cual es usado para pavimentar las diferentes vías del departamento y sus alrededores, sin considerar variables existentes en cada caso.

De dar solución a lo anterior, sobre las características del asfalto natural, Asfaltita, con estudios profundizados sobre los componentes de su mineral y los respectivos usos de la mezcla, dependiendo de los diferentes lugares a pavimentar y sus variables, generará un aprovechamiento de este mineral en todo su potencial ya que en costos es más económica su utilización.

La mina La Emilia, esta ubicada en el municipio de Pesca, departamento de Boyacá, en Las Cruces Km 15 vereda Chincua vía Sogamoso – Pesca. El centro de acopio se encuentra ubicado en el municipio de Sogamoso vereda Las Monjas, en el cual se realiza el proceso de mezcla con los demás agregados. Esta mezcla no es tecnificada y podría ser otra razón por la cual el material no es homogéneo.

Por su cercanía los municipios de Pesca y Sogamoso han incluido el material dentro de su infraestructura vial para la pavimentación y mejora de vías de segundo y tercer orden. Sin embargo, otros municipios del departamento de Boyacá como Aquitania, Labranzagrande, Paya, Cuitiva, Iza, Firavitoba, Duitama, Paipa, Ventaquemada, Socha, Cucaita, entre otros, igualmente han

utilizado el material para la pavimentación de sus vías pero de una forma menos intensiva.

Así mismo, se han pavimentado vías de anillos turísticos del departamento de Boyacá como Las Hinojosas por parte de la gobernación. Sin embargo, la falta de información, conocimiento y proceso a la hora de transportar, acopiar, extender y compactar dicho material en las vías, ha generado desconfianza entre los usuarios tanto constructores y consultores como conductores, por el rápido deterioro de la vía pavimentada con Asfaltita.

Lo anterior no se presenta en todos los casos, pues aún se encuentran vías en buen estado con varios años de servicio sobretodo en los municipios de Pesca y Sogamoso, gracias al buen manejo y mantenimiento del material.

De acuerdo a cantidades probables, se estima que la mina La Emilia, consta de areniscas, de la formación Socha inferior, que descansa sobre los estratos de Guaduas. Dichas areniscas son de grano medio de color blanco-amarillento, se presentan en algunas zonas de la roca de grano tamaño grueso. Luego de ejecutar un análisis de áreas y profundidades del estrato, determinando una densidad promedio, descontando un 10% de perdidas, se pudo establecer una cantidad probable de 1.400.000 toneladas¹.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El asfalto natural “Asfaltita”, es un mineral aunque antiguo, al mismo tiempo nuevo en la implementación en vías para superficie de

¹ HOYOS NAVARRETE, Luis Albert. Los asfaltos naturales en Colombia. Bogotá;

rodadura, a pesar de ser explotado hace aproximadamente nueve años.

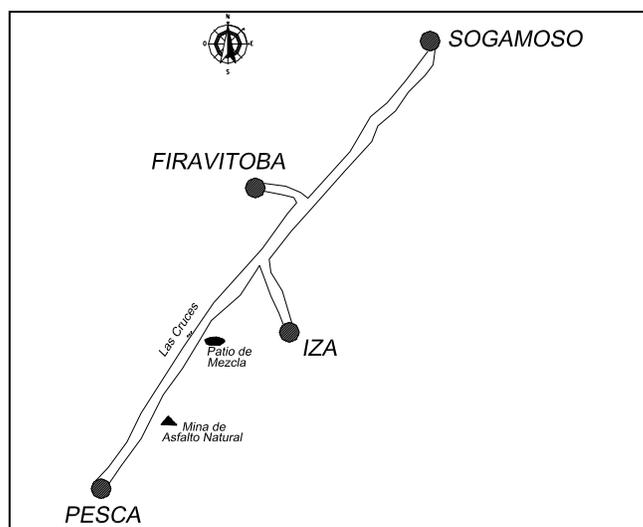
La falta de interés en utilizarlo en forma masiva se debe en parte al desconocimiento de estudios técnicos en su caracterización, ya que al ser un material explotado de distintas betas no es homogéneo y la falta de un diseño certificado hacen que dicho material no sea confiable ante los organismos encargados de mejorar la malla vial de las comunidades. Sumado a esto, su aplicación se hace también de forma ordinaria por no tener especificaciones para este fin.

1.3. DELIMITACIÓN

1.3.1. ESPACIAL

La mina objeto de estudio del asfalto natural, “La Emilia”, está ubicada en el Municipio de Pesca, en Las Cruces Km 15 vereda Chincua vía Sogamoso – Pesca. (Figura 1).

FIGURA 1. Localización de la mina La Emilia



Fuente: POT, Municipio de Pesca, 13-04-2012.

1.3.2. TEMPORAL

Esta investigación comienza desde los estudios realizados del material en el año 2002, ya que según la versión de Luis Enrique Bayona Amaya, propietario de la mina La Emilia, en esa época se comenzó a utilizar su material en la pavimentación de vías. Se hará recopilando los datos necesarios para un buen conocimiento del tema y tendrá una duración de 8 meses contados a partir de febrero de 2012, en los cuales se contemplan los estudios de laboratorio necesarios, el análisis de los mismos y la conclusión de los resultados obtenidos para las respectivas recomendaciones.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.4.1. PREGUNTA GENERAL

- Cuál es la caracterización del material de Asfaltita de la mina La Emilia y cuál es el diseño de una mezcla óptima para el uso de superficie de rodadura?

1.4.2. PREGUNTAS ESPECÍFICAS

- Cual es el proceso actual de explotación de la Asfaltita natural de la mina La Emilia?
- Cuales son las características de la Asfaltita de la mina La Emilia?

- Cual es el diseño actual de la carpeta asfáltica, elaborada con base en Asfaltita natural de la mina?
- Cuantas muestras diferentes del material se podrían homogenizar para llegar a una caracterización final?
- Que ensayos hay que ejecutar y cuales sus características para lograr la mezcla de homogenizado ideal?
- Cual es el diseño de mezcla homogenizado que cumpliría las expectativas de servicio de una capa de rodadura?
- Cual es la diferencia de costos entre el pavimento común y el asfalto natural (Asfaltita)?

2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

En Colombia existen yacimientos o minas de asfalto natural, formadas por calizas, areniscas y gravas empapadas de asfalto. Se pueden encontrar minas de Asfaltita en los departamentos de Boyacá, Huila, Santander, Caquetá, Tolima, Antioquia, Meta, Caldas y Norte de Santander. Esta Asfaltita se usa para vías terciarias y secundarias. En Boyacá se ubican en los municipios de Tuta, Pesca, Tasco, Corrales, Tota y Sogamoso².

² GARCÍA HERNÁNDEZ, Fabio Andrés y BALAGUERA AYALA, Oscar Manuel. Las Asfaltitas en Colombia y su uso en la pavimentación de carreteras. Tunja, Trabajo de grado (Ingeniero en Transportes y Vías). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2009, p7.

Según el Cuadro 1 existen 29 fuentes de asfalto natural en Colombia. En el Cuadro 2 se tienen las siete fuentes de asfalto natural utilizadas para la pavimentación de vías secundarias y terciarias del departamento de Boyacá. Se especifican el nombre, espesor del manto y reserva probable de cada una de las minas de asfalto natural.

CUADRO 1. Fuentes de asfalto natural

FUENTE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO
1	Antioquia	Buchado
2	Boyacá	Boyacá
3	Boyacá	Corrales
4	Boyacá	Paipa
5	Boyacá	Pesca
6	Boyacá	Rondón
7	Boyacá	Sogamoso
8	Boyacá	Tópaga
9	Caldas	Victoria
10	Caquetá	Belén
11	Caquetá	Florencia (Las Pavas)
12	Caquetá	Puerto Rico
13	Caquetá	San Jose
14	Caquetá	Suarez
15	Cauca	Inzá
16	Cauca	Silvia
17	Cundinamarca	Guaduas
18	Cundinamarca	Macheta
19	Chocó	Baudo
20	Chocó	Tadó-Condoto-Bagadó
21	Meta	Villavicencio
22	Norte de Santander	Cúcuta
23	Santander	Barrancabermeja (Subproducto Derivado)
24	Santander	Puerto Wilchez
25	Santander	Rionegro
26	Santander	Vélez
27	Tolima	Armero-Lérida
28	Tolima	Ataco
29	Tolima	Chaparral

Fuente: GARCIA HERNANDEZ, Fabio Andrés y BALAGUERA AYALA, Oscar Manuel. Op., cit., p8.

CUADRO 2. Fuentes de asfalto en el departamento de Boyacá.

MINA	MUNICIPIO	MANTO	ESPESOR DEL MANTO (m)	RESERVA PROBABLE (tn)
1	Corrales	Alto de Culatas	20	-
2	Tópaga	Margen Izquierda del Rio Mongui	1.5	-
		Pulido	2.5	-
		Rodriguez	2.5	-
		Camargo	2.3	-
3	Sogamoso	La Sierra	2	-
4	Paipa	Hacienda Rio Arriba	2	-
5	Pesca	Santa Teresa	17	100.000
		Villa Larga	25	-
		Londoño	6	5000
		La Emilia	6	1.400.000
6	Boyacá	A 6.7 Km al NW	-	-
7	Rondón	Confluencia del Rio Uvo con el Rio Mucane	10	-

Fuente: GARCIA HERNANDEZ, Fabio Andrés y BALAGUERA AYALA, Oscar Manuel. Op., cit., p10.

ESTADO DEL ARTE

En la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en una tesis realizada de la Escuela de Ingeniería Geológica en el año 2007 se elaboró un estudio sobre la caracterización de las asfaltitas de la vereda Palo Blanco, en el municipio de Vélez (Santander) cuyo objetivo general consistía en realizar el estudio geológico y evaluar el yacimiento minero de la vereda, en un área de 277 hectáreas.

Caracterización de la asphaltita y método de trabajo y tipo de muestreo. Se seleccionó el afloramiento principal, se muestreo otro afloramiento para el efecto de la caracterización de la zona y así establecer la calidad del material. La muestra se tomó siguiendo el sistema del canal (Norma ASTM 222). Se hicieron los respectivos ensayos de laboratorio como granulometría, humedad, material volátil, cenizas, carbono fijo, azufre, poder calorífico e índice de hinchamiento. Los ensayos se tomaron con metodología respecto al carbón ya que la asphaltita no tiene una norma establecida. También se realizaron ensayos petrográficos.

Como conclusión de los resultados de laboratorio se determinó que el material es una asphaltita, porque no presenta diagometría, es homogéneo en su composición, uniforme y sin estructura celular. En las normas vigentes no existe una clasificación que pueda abarcar este tipo de material, por ende no se clasifica.

Dos posibles teorías para la formación de la asphaltita son:

Que una sustancia bituminosa haya sido extraída de un depósito de carbón y posteriormente haya perdido volátiles. Ser un producto derivado del petróleo que perdió volátiles, que luego endureció y se transformó en asphaltitas por evaporación y presiones tectónicas altas.

La segunda es la más apropiada para estas asphaltitas, ya que no tiene continuidad estratigráfica. Su origen se debe a la metamorfosis de un petróleo asfáltico que por cambios de temperatura y presión creciente, seguirá las siguientes fases:

petróleo asfáltico, asfalto blando, asfalto duro, asfaltitas y pirobitúmenes asfálticos.

El volumen de asfaltita no sobrepasa las 95.000 toneladas en el afloramiento en la vereda de Vélez (Santander). Por la poca cantidad existente y su ocurrencia un poco errática e irregular, este material parece tener poco interés económico³.

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. A su vez resulta ideal que estos materiales sean 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 ligante asfáltico, para la construcción de vías de segundo y tercer orden.

El proyecto se lleva a cabo mediante las siguientes fases: inventario, diseño y construcción de equipos para modificación, recolección de crudos pesados y asfaltos naturales, caracterización de crudos pesados y asfaltos naturales, selección y elaboración de mezclas asfálticas, construcción de tramos

³ cfr SANDOVAL ROMERO, Jhon Alexander. Estudio geológico caracterización de las asfaltitas de la vereda Palo Blanco en el municipio de Vélez - Santander. Sogamoso. Trabajo de grado (Ingeniero Geólogo). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2007. , pp. 50-52.

experimentales, elaboración de metodología y normas y transferencia de conocimiento.

Entre los resultados obtenidos se tiene la evaluación de propiedades físicas, químicas y mecánicas de los crudos pesados (Castilla, Rubiales, Cedral, La Gloria), asfaltos naturales (San Pedro, Pesca, Caquetá) y sus mezclas asfálticas. Estos resultados complementan investigaciones adelantadas anteriormente. Así mismo, está previsto adelantar el diseño y construcción de mezclador y adecuación de reactor prototipo para la mezcla y modificación de crudos pesados y asfaltos naturales que no satisfacen las especificaciones para ser usados como ligantes asfálticos. De igual manera, existe la construcción de 5060 metros de tramos experimentales en Armero Guayabal (Tolima), Vía Pesca-La Villa-Toca (Boyacá) y San Agustín (Huila). Por último, está la norma preliminar a nivel nacional sobre el manejo y aplicación de los crudos pesados y asfaltos naturales⁴.

De la misma manera, la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en una tesis realizada en Tecnología en obras Civiles en el año 2005, ejecutó un estudio sobre el asfalto natural de la mina la Emilia, cuyo objetivo principal era analizar las características actuales de cinco vías pavimentadas con este mineral y distinta dosificación en los municipios de Sogamoso y Labranzagrande, partiendo de muestreos tomados y establecer un posible

⁴cfr MESA BARRERA, Liliana. Análisis del comportamiento mecánico del asfalto natural "Asfaltita", mina La Emilia. Sogamoso. Trabajo de grado (Tecnólogo en Obras Civiles). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2005. , pp. 65-66.

mejoramiento de la mezcla actual, teniendo en cuenta que las vías eran utilizadas para distintos tipos de tráfico⁵.

Para conocer el estado actual de estas vías pavimentadas con el mineral se hicieron ensayos de laboratorio para determinar su granulometría, estabilidad, bitumen, flujo etc. y así poder analizar las características actuales del asfalto natural en las cinco vías estudiadas.

El estudio concluyó lo siguiente:

El diseño de la mezcla actual con el cual se pavimentaron las vías objeto de estudio se está comportando adecuadamente a simple vista en las 4 vías del municipio de Sogamoso, mientras que en Labranzagrande presenta huecos y su comportamiento no es óptimo debido al espesor desde su instalación. A pesar de que la vía del municipio de Labranzagrande presente huecos por tener solo 2 cm de espesor, es la que mayor resistencia obtuvo según los análisis de laboratorio.

La arena aplicada como un agregado más de la mezcla actual 6:3:1 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 si no de cómo se mezcle en el patio con los demás agregados.

La emulsión agregada a la mezcla no mejora representativamente la resistencia en la mezcla del material de la mina La Emilia y en

⁵ Ibid. pp 65.66.

cambio si incrementa su costo. La diferencia de precios por m³ entre el asfalto natural Asfaltita y el asfalto caliente es muy notoria, de ahí la razón por la cual la Asfaltita ha sido una alternativa de pavimentación para vías de tercer y segundo orden.

El modo de explotación de la mina por ser a cielo abierto es admitida, pero el modo de mezcla en el patio debe ser más tecnificada para que la arena asfáltica junto con sus agregados formen 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 se adhiere más a los agregados.

La Asfaltita podría ser utilizada para vías de tráfico pesado, si se le hicieran los estudios pertinentes para una mejora de este material. Se debe tener en cuenta que el material es llamativo por su precio tan económico y que al someterlo a más estudios se mejora su utilización para otra clase de vías y no sólo para segundo y tercer orden. Es posible que de esta manera el precio se incremente considerablemente.

Por otra parte, el material ha sido estudiado por los encargados de explotar el material en laboratorios certificados. El estudio de laboratorio hecho por Ingeniería y Geología Ltda., de Sogamoso, según el diseño de mezcla asfáltica con Asfaltita simuló una mezcla densa en frío (MDF-3) ya que esta se ajusta a los materiales utilizados en el diseño. Se efectuaron los ensayos de granulometría a los agregados grueso o grava, agregado fino o granzón y arena asfáltica o Asfaltita. Además se determinó el contenido de bitumen de la arena asfáltica o Asfaltita dando un

valor de 9.5%. Este valor es relativamente alto y por lo tanto no es necesario utilizar emulsión asfáltica en la fórmula de trabajo.

De acuerdo con los análisis granulométricos de los tres agregados (grava, granzón y arena asfáltica o Asfaltita) y según la gradación combinada para la mezcla, los porcentajes de: grava granzón y arena asfáltica o Asfaltita, que más se ajustan a la norma o gradación deseada (MDF-3) son los siguientes: grava en un 30%, granzón en un 10% y asfaltita en un 60%. Esta mezcla era la utilizada para pavimentar vías en este material, pero aún así no está regida por la normatividad de Invias.

La gobernación de Boyacá en el propósito de pavimentar los anillos turísticos del departamento en el año 2006 incluyó este material para dicho fin, pero sin tener un estudio definitivo para su uso. Se han venido adelantando estudios de laboratorio para efectuar las especificaciones de los contratos de pavimentación con el material y su posterior interventoría. Actualmente se rigen por un estudio ejecutado en el año 2010 por un laboratorio certificado, el cual lleva como título “Caracterización de Asfaltita Natural y Agregados Pétreos de Trituración para Mezcla” de la mina Santa Teresa del municipio de Pesca (Boyacá) el cual concluye lo siguiente:

De acuerdo con el contenido de asfalto o bitumen de la Asfaltita natural, el porcentaje de gravillas de trituración a mezclar, puede oscilar entre 30% y el 35%, de manera que este contenido se mantenga en un 5%. La gradación de la mezcla, con ese porcentaje de gravas, se ajusta solamente en forma parcial a la especificación MDF-3 (Mezcla densa fría tipo 3, norma INV). En

los tamaños de las arenas, la curva es muy fina con respecto a la especificación, debido a que el material de Asfaltita natural esta conformado por arenas de grano fino.

El contenido de producto asfáltico del material natural, debe ser controlado rigurosamente tanto en la explotación de la mina, como después del mezclado, puesto que este producto es muy variable por tratarse de una cantera natural y porque es un factor crítico dentro del comportamiento de la mezcla. Para ajustar totalmente la especificación granulométrica a una mezcla tipo MDF-3 se requiere una dosificación de grava superior al 30% y por tanto necesita la adición de producto asfáltico tipo emulsión, para mantener el porcentaje adecuado.

La maduración y curado de este tipo de mezcla en frio es una variable muy importante a tener en cuenta en su instalación. Se comprobó que entre los siete y quince días de curado la estabilidad se incrementa notablemente, independientemente del flujo, el cual no sufre cambios relevantes. Una vez efectuada la mezcla en obra o en acopio, debe observarse en detalle su comportamiento. Se debe realizar un muestreo sistemático para corroborar que la mezcla se esta preparando de manera adecuada y con las proporciones indicadas⁶.

⁶ S.I. SERINCO LTDA. Caracterización de Asfaltita natural y agregados pétreos de trituración para mezcla, Sogamoso, mayo, 2010. p5.

3. JUSTIFICACIÓN

3.1 IMPACTO HUMANO

Con el fin de mantener e incrementar, de manera importante la seguridad en las vías y una mayor comodidad a quien transita en ellas, es importante satisfacer las necesidades del usuario más importante, ya que al final de todo es quien más merece sentir una superficie de rodadura confortable en su recorrido por las vías. Esto se traduce en que se disminuyen tiempos de recorrido y la relación de tranquilidad al viajar con comodidad y cuando llueve mucho los transeúntes tienen menos incomodidad en una vía pavimentada.

3.2 IMPACTO SOCIAL

Debido a la importancia de vías con calidad, en su construcción y mantenimiento, lo cual refleja el desarrollo de una región y el mejoramiento de vida de la población, el área de vías representa una de las ramas fundamentales de proyección profesional. La pavimentación de vías son proyectos básicos para el desarrollo urbano y rural, enmarcado dentro de la planeación y la sostenibilidad de los recursos. Las vías secundarias y terciarias contribuyen al desarrollo, suministrando a las comunidades uno de los servicios públicos fundamentales, que garantiza calidad de vida a los conglomerados urbanos y rurales.

3.3 IMPACTO ECONÒMICO

Una de las grandes causas de no garantizar que la malla vial, sobre todo en segundo y tercer orden, se encuentre en excelentes condiciones para su recorrido es el costo, no solo de mejoramiento sino de mantenimiento, siendo este último el factor más importante en un sobre costo. El material asfalto natural “Asfaltita” tiende a ser un 50% más económico que el asfalto en caliente. Es así que al mejorar la mezcla se podría solucionar en gran parte la inversión innecesaria en mantenimiento y los costos de operación de este tipo de vías.

4. OBJETIVOS

4.1. GENERAL

Caracterizar el asfalto natural, Asfaltita de la mina La Emilia del municipio de Pesca, tomando tres betas diferentes, mediante estudios de laboratorio como granulometría, contenido de asfalto, densidad y Marshall y diseñar la mezcla óptima.

4.2. OBJETIVOS ESPECÌFICOS

- Llevar a cabo una descripción del proceso actual de la explotación del asfalto natural, mediante observación visual y registro fotográfico.
- Identificar el actual sistema de diseño en la mezcla del asfalto natural, mediante una revisión bibliográfica al estudio actual.

- Tomar tres muestras de diferentes betas del asfalto natural para una posterior homogenización.
- Llevar a cabo ensayos de resistencia como estabilidad, flujo, densidad, granulometría, porcentaje de bitumen, de cada una de las muestras tomadas basados en las especificaciones de Invias del año 2007 al material explotado de la mina.
- Elaborar el diseño de la mezcla con base en los estudios del material explotado.
- Efectuar un diseño de pavimento con métodos empíricos mecánicos apoyado en la modelación con software.
- Llevar a cabo un análisis de costos entre el asfalto de refinería para mezclas densas en caliente y el asfalto natural (Asfaltita).
- Elaborar un manual de utilización apropiado de la Asfaltita de la mina La Emilia y llevar a cabo capacitaciones a los constructores, a través de conferencias en las asociaciones de ingenieros y estudiantes.

5. FACTIBILIDAD

5.1 CONOCIMIENTOS

Para el presente proyecto se cuenta con suficiente información en la parte de ensayos de laboratorios realizados a la mina La Emilia. Así mismo, cuenta con un diseño de mezcla actual pero sin tener

una caracterización del material. Se encuentran pocas tesis y libros referentes al material objeto de estudio sin embargo, la información encontrada es de gran utilidad para determinar los componentes y posibles problemas actuales en la utilización de la asfaltita para pavimentación de vías. El conocimiento más valioso se encuentra en las vías ya pavimentadas con el material a lo largo de los años en el departamento de Boyacá, con las cuales se pueden observar los problemas más frecuentes que se presentan y así dar una solución a su diseño.

5.2. LOCALIZACIÓN Y ADQUISICIÓN

El material asfaltita objeto de estudio está ubicado en el Municipio de Pesca, en Las Cruces Km 15 vereda Chincua vía Sogamoso, por lo cual es de fácil acceso para la toma de muestras y la adquisición del material es posible, ya que el dueño de la mina, el señor Luis Enrique Bayona Amaya, está interesado en la mejora del diseño del producto, el cual vende para la pavimentación de vías.

5.3. TIEMPO

Esta investigación cuenta con el tiempo necesario, ya que se ha trabajado con anterioridad algunos estudios pertinentes para el desarrollo de los objetivos que se proponen, para obtener un resultado final satisfactorio.

5.4. PRESUPUESTO

De acuerdo a los análisis de costos realizados, el proyecto de investigación no tiene un costo elevado, por lo cual es viable su ejecución.

5.5. LIMITANTES

No se tiene previsto que exista una limitante importante, hasta el momento. Tampoco se han encontrado grandes limitaciones en el desarrollo.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 APROXIMACIÓN CONCEPTUAL

6.1.1 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE ASFALTO NATURAL (ASFALTITA).

El asfalto natural es un material que se forma a través de la oxidación del petróleo crudo en la superficie de la corteza o cerca de ella. En este proceso natural se evaporan las fracciones más livianas quedando las Asfaltitas y se presentan en diferentes formas: sólido, semisólido o pastoso.

La oxidación del petróleo se puede atribuir a acciones volcánicas en la profundidad. El efecto de contacto y el calor expedido por estas masas ígneas producen la expulsión de las sustancias bituminosas de los estratos inferiores, sustancias que suben en forma de gases, aprovechando las grietas y planos de debilidad de

las rocas, las cuales se condensan y acumulan en las capas más superficiales en forma de bitumen líquido (petróleo crudo), el cual después de un largo periodo de oxidación se convierte en asfalto.

Se tienen tres tipos de asfalto natural:

- Los asfaltos con alto grado de pureza, los cuales son asfaltos muy duros, negros brillantes y con elevado punto de fusión denominados asfaltitas. El contenido de bitumen es mayor de 90%.
- Asfaltos con una proporción apreciable de materiales inertes e inorgánicos, que en general su concentración es de 36% de materia mineral, 54% de bitumen y un con 10% de agua y materia orgánica.
- Por último, se tienen los asfaltos naturales asociados con una gran cantidad de material inerte o mineral y proporciones reducidas de bitumen. Estos depósitos normalmente consisten en bolsas o impregnación de estratos, por lo general areniscas con espesores de varios centímetros hasta varios metros. La proporción de bitumen varía entre el 3% y 15%⁷.

6.1.2 ELEMENTOS ESENCIALES DEL CONCEPTO DEL MÉTODO MARSHALL.

El método Marshall se emplea para dosificar mezclas de agregados pétreos y cemento asfáltico con o sin la adición de

⁷ Cfr GARCIA HERNANDEZ, Fabio Andrés y BALAGUERA AYALA, Oscar Manuel; op.cit , p3.

llenante mineral. El método puede utilizarse tanto para diseños en laboratorio como para controles de campo. El objetivo del diseño de una mezcla asfáltica es determinar la proporción adecuada de cemento asfáltico en la mezcla, que asegure que ésta presente:

- Suficiente estabilidad como para satisfacer las exigencias del servicio sin desplazamientos.
- Suficiente asfalto para asegurar la obtención de un pavimento durable que resulte del recubrimiento completo de las partículas de agregado.
- Suficiente trabajabilidad para permitir una eficiente aplicación.
- Suficientes vacíos con aire en la mezcla compactada, para proveer una reserva de espacio que impida exudaciones y pérdidas de estabilidad.

El equipo para el ensayo consta de un juego de elementos que incluye molde de compactación de 4 pulgadas de diámetro y 3 de altura con su collar de extensión, martillo de compactación con una zapata circular de 3 y 7/8" de diámetro, peso de 10 libras y altura de caída de 18 pulgadas, pedestal de compactación firmemente anclado al piso y prensa de ensayo con sus guías.

Se necesitan otros elementos tales como calentadores, termómetros, estufa, bandejas metálicas, elementos para el baño de María, balanzas, espátulas, guantes, cucharones, tamices, extractores de muestras, entre otros.

Se lleva a cabo mediante el ensayo de estabilidad y flujo la probeta a un baño de agua 60+/- 1 grado centígrado durante un lapso de 30 a 40 minutos, se limpia cuidadosamente la probeta y se lubrican las barras guías. Estando listo el aparato de carga Marshall para el ensayo, se saca la probeta del agua y se seca, luego se coloca la probeta en la mordaza inferior de prueba y se centra, se ajusta el anillo superior y se centra el conjunto en el mecanismo de carga. A continuación se coloca el medidor de flujo sobre la barra-guía marcada y se lleva a cero. Se aplica carga a la probeta a una velocidad de 2 pulgadas/minuto. El punto de falla se define mediante la máxima lectura obtenida en el dial de carga. El número de libras correspondiente a esta lectura se anota como *Estabilidad Marshall*. Mientras se está aplicando la carga se mantiene el medidor del flujo firmemente en posición sobre la barra- guía y se retira cuando ocurra la carga máxima. La lectura en el dial en este instante se denomina flujo y se acostumbra a expresar en milímetros.

El análisis de densidad y vacíos se efectúa al terminar los ensayos de estabilidad y flujo. Debe realizarse un análisis de estabilidad y vacíos para cada serie de muestras en la siguiente forma:

Se promedian los pesos específicos de las probetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto, descartando las que se alejen demasiado del promedio. Este valor promedio se multiplica por una variable (64.2) el cual permite obtener la densidad⁸.

⁸ Cfr. Ibid., pp. 4-5.

6.1.3 ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCEPTO DE DETERMINACIÓN

Del contenido de bitumen en mezclas de pavimentación. El objeto principal de este ensayo es determinar por extracción en frío con un solvente, el porcentaje de bitumen en una mezcla asfáltica de pavimentos. El agregado recuperado en este ensayo puede usarse para análisis granulométrico.

El equipo para el ensayo incluye el aparato de extracción, que contiene una taza giratoria. Deberá estar provisto de una campana para retener el solvente escapado de la taza y un desagüe para remover dicho solvente. El aparato también deberá tener accesorios protectores contra explosiones y se instalará en una cámara con buena ventilación.

Así mismo, tiene filtros anulares de papel de diámetro externo mayor al de la taza y diámetro interno una pulgada menor que el de ella, con un horno capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 grados centígrados, recipientes metálicos, balanzas, probeta, desecador, entre otros. Se utiliza un reactivo para el ensayo como disolvente, con el cual se obtiene una mejor aproximación.

El ensayo de contenido de bitumen se lleva a cabo sobre muestras extraídas de la vía o sobre muestras tomadas de la planta donde se elabora el asfalto. Se coloca una muestra representativa de la mezcla, de peso conocido, dentro de la taza del aparato, luego se agrega una cantidad de reactivo suficiente para que cubra la mezcla y se permite el tiempo suficiente (no más de una hora) para

que el solvente desintegre la muestra, se coloca la taza con la muestra y el solvente en el aparato de extracción.

El papel de filtro seco previamente pesado, se coloca sobre el borde de la taza, se ajusta la cubierta de la taza herméticamente y se coloca un vaso de precipitación bajo el desagüe del aparato para recolectar el extracto. Se pone a rotar la maquina suavemente incrementando la velocidad hasta un máximo de 3.600 r.p.m o hasta que el solvente deje de fluir por el desagüe, se detiene la maquina, se le agregan otros 200 cm³ del reactivo y se repite el procedimiento.

Luego se quita la cubierta de la taza, se quita el filtro y se seca al aire, removiendo toda la cantidad de partículas minerales que hayan quedado adheridas a él y añadiéndoselas al material contenido en la taza, luego se lleva a un filtro al horno a 110+/- 5 grados centígrados donde se seca hasta peso constante y se registra dicho peso.

El resultado obtenido del ensayo se compara con el óptimo de asfalto que debe tener la muestra según el diseño, a fin de hacer los ajustes a que haya lugar. El material mineral recuperado, se emplea en la verificación de la granulometría del agregado utilizado en la manufactura de la mezcla⁹.

⁹cfr MESA BARRERA, Liliana, op.cit pp40-42.

6.1.4 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO CON ASFALTO NATURAL (ASFALTITA).

Como estudios y diseños preliminares en los proyectos viales para la construcción y mejoramiento de vías, se requieren estudios en donde van a realizarse dichos proyectos que permitan hacer los diseños de las estructuras necesarias para poder llevar a cabo los proyectos y elaborarlos de una manera óptima. Para el diseño del pavimento de cualquier vía es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Cálculo de tránsito.
- Capacidad de soporte y drenaje del corredor analizado.
- Estudios de hidrología e hidráulica.
- Estudios geológicos y geotecnia.
- Estudio ambiental¹⁰

Para diseño de la estructura del pavimento, teniendo en cuenta el tránsito, sólo tienen relevancia los vehículos pesados como buses, camiones, y tractores con remolque. En general son aquellos vehículos cuyo peso excede cinco (5) toneladas y de seis (6) o más ruedas. Los vehículos que circulan con peso inferior, causan un daño o efecto mínimo sobre la estructura del pavimento, por lo tanto no se tienen en cuenta en el cálculo.

¹⁰ GARCIA HERNANDEZ, Fabio Andrés y BALAGUERA AYALA, Oscar Manuel, op.cit, p14.

Para el periodo inicial del proyecto del pavimento se puede definir, que la vida útil como tal, es el tiempo transcurrido desde que se entrega al servicio la estructura, hasta que los deterioros producidos por el tránsito y los agentes ambientales normales hacen que la vía pierda su funcionalidad. En el caso para categorías de diseño de pavimentos asfálticos para vías de tránsito medio y alto, consideran esta variables en términos de repeticiones de ejes patrones de diseño, generalmente ejes sencillos de 80 kN, cuya valoración con cierto grado de confiabilidad exige un conocimiento más o menos preciso de la magnitud de las cargas pesadas circundantes, a efectos de establecer su respectiva equivalencia con el eje patrón de diseño¹¹.

6.2 GLOSARIO

BASE: es una capa de materiales seleccionados colocados sobre la sub-base. En algunas ocasiones se constituye directamente sobre la subrasante. Tiene como función principal transmitir las cargas recibidas del tránsito con intensidades adecuadas a los elementos subyacentes.

BETA: es un cordón de material mineral que se encuentra a lo largo de una montaña entre materiales que han sido depositados con el paso del tiempo.

DURABILIDAD: está ligada a una serie de factores económicos y sociales de la vía. El correcto diseño del pavimento es fundamental en cuanto a la duración y buen comportamiento del mismo. No es

¹¹ MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de pavimentos. 3ª Edición. Bogotá. Universidad Católica de Colombia. 2010. p206-207.

práctico ni económico recurrir a interrupciones frecuentes del tránsito para realizar reparaciones.

PAVIMENTO: es una estructura vial formada por una o varias capas de materiales seleccionados, capaz de resistir las cargas impuestas por el tránsito y la acción del medio ambiente y de transmitir al suelo de apoyo esfuerzos y deformaciones tolerables por éste.

SUB-BASE: es la capa colocada sobre la subrasante y subyace a la base. Está constituida por materiales seleccionados cuya principal función es transmitir a la subrasante esfuerzos que el tránsito le impone a través de la base, proporcionando resistencia adecuada a tales solicitaciones.

SUBRASANTE: material más superficial de los cortes o colocado en los terraplenes durante las operaciones de explanación de la vía. Su función es servir de fundación al pavimento aportando una adecuada capacidad de soporte para recibir las cargas debidas al peso propio del pavimento y al tránsito vehicular, presentando un comportamiento adecuado ante la acción del medio ambiente que puede modificar significativamente sus propiedades.

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1. MÉTODO

La presente investigación es de tipo cuantitativo y se ayuda del método descriptivo y del explicativo, porque va a mostrar características de la Asfaltita natural de la mina La Emilia que

posteriormente servirán para explicar fenómenos y aplicación de estos.

7.1.1 INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA

Es cuantitativa cuando en el proceso se trabaja con cantidades de algo, con estadísticas, con números y que en general se manipulan elementos que representan datos en cifras. Al contrario la cualitativa hace parte del grupo de investigaciones “no tradicionales”. Aquí la “cualidad” se revela por medio de las propiedades de un objeto o de un fenómeno. La propiedad individualiza al objeto o al fenómeno por medio de una característica que le es exclusiva, mientras que la cualidad expresa un objeto global del objeto. El color amarillo, la maleabilidad, la ductibilidad y cada una de las demás características del oro, consideradas individualmente, son sus propiedades.

Una investigación de tipo cualitativo se caracteriza por los siguientes aspectos:

La interpretación que se da a las cosas y fenómenos no pueden ser captados o expresados plenamente por la estadística o las matemáticas. Utiliza preferentemente la inferencia inductiva y el análisis diacrónico en los datos.

Utiliza los criterios de credibilidad, transferibilidad y confirmabilidad como formas de hacer creíbles y confiables los resultados de un estudio. Utiliza múltiples fuentes, métodos o investigadores para estudiar un solo problema o tema, los cuales convergen en torno a un punto central del estudio (principio de triangulación y convergencia).

Utiliza preferentemente la observación y la entrevista abierta y no estandarizada como técnicas en la recolección de datos. Centra el análisis en la descripción de los fenómenos y cosas observadas¹².

7.1.2. INVESTIGACIÓN EXPLICATIVA

Se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación posfacto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos.

La investigación explicativa intenta dar cuenta de un aspecto de la realidad, explicando su significatividad dentro de una teoría de referencia, a la luz de leyes o generalizaciones que dan cuenta de hechos o fenómenos que se producen en determinadas condiciones. Dentro de la investigación científica, a nivel explicativo, se dan dos elementos:

Lo que se quiere explicar: se trata del objeto, hecho o fenómeno que ha de explicarse. Es el problema que genera la pregunta que requiere una explicación.

Lo que se explica: la explicación se deduce (a modo de una secuencia hipotética deductiva) de un conjunto de premisas

¹² Cfr. CERDA, Hugo. Los elementos de la investigación. 2ª Edición. Bogotá. Colombia. Editorial El Buho. 1995, pp. 46-49.

compuesto por leyes, generalizaciones y otros enunciados que expresan regularidades que tienen que acontecer. En este sentido, la explicación es siempre una deducción de una teoría que contiene afirmaciones que explican hechos particulares.¹³

7.2 METODOLOGIA

La presente investigación se aplica a la mina La Emilia del municipio de Pesca, en el Departamento de Boyacá, de la cual se extrae el material de asfalto natural “Asfaltita”. Se llevará a cabo una descripción del proceso actual de explotación mediante observación visual y registro fotográfico desde la extracción de la beta, hasta el traslado al centro de acopio para su posterior mezcla con los agregados.

Luego se identificará el sistema de diseño de la mezcla, revisando el que existe actualmente, con los estudios realizados al mismo para verificar el proceso que se lleva a cabo en el centro de acopio. Posteriormente se obtendrán tres muestras de betas diferentes, ya que el material no es homogéneo y es necesario caracterizarlo.

Con lo anterior se llevará a cabo el proceso descriptivo con análisis de laboratorio para elaborar el diseño de mezcla y mediante un proceso explicativo se darán a conocer los datos y resultados obtenidos, los cuales se basan en las especificaciones de Invias del año 2007.

¹³ Cfr Ibid., pp. 46-59.

Luego con los resultados alcanzados se elaborará el diseño de mezcla del material explotado, el cual se modela mediante software y se diseñan varios métodos empíricos para obtener el más adecuado y preciso para la mezcla.

Tomando la mezcla diseñada se hace un comparativo de precios entre el asfalto de refinería para mezclas densas en caliente, consultando varias bases de datos y precios del mercado actual de producción y venta con plantas de asfalto especializadas y reconocidas, las cuales fabrican el producto. Con base en este proceso se contrastará con el precio de la mezcla obtenida, la cual también se estudiará con los costos de producción y venta en el mercado actual.

Por último, se realizará un manual de utilización apropiado de la asfaltita explotada en la mina La Emilia y se darán capacitaciones del mismo a los constructores, a través de conferencias en asociaciones de ingenieros y estudiantes, las cuales serán buscadas en la universidad Santo Tomás, con sede en el municipio de Tunja.

7.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Con las tres diferentes muestras tomadas de la mina La Emilia se ejecutan ensayos de laboratorio como granulometría, contenido de asfalto, densidad y Marshall de cada una de las muestras.

8. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

8.1. PRESUPUESTO

8.1.1. INGRESOS

El presente proyecto no presenta aun ingresos por parte de del señor Luis Enrique Bayona Amaya propietario de la mina objeto de estudio, ni de ningún otro ente público y privado. Los ingresos serán propios de la autora, no obstante la universidad Santo Tomas con sede en Tunja aportará la parte de instrumentos de laboratorio y asesoría necesarios para dicha investigación

8.1.2. EGRESOS

Para el presupuesto se tiene en cuenta que la duración es de 9 meses, contando el proceso de elaboración del anteproyecto, de los cuales el director del proyecto no participa en el 100% del tiempo total por lo cual el costo se toma como dos salarios mínimos legales vigentes (\$ 566.700X 2) quinientos sesenta y seis mil setecientos pesos m/cte.

Para el caso del estudiante de Ingeniería civil se tiene en cuenta un valor de trabajo por hora de (\$5000) cinco mil pesos m/cte., trabajando 20 horas a la semana durante el periodo de 9 meses, contando el proceso de elaboración del anteproyecto. La Universidad Santo Tomás colabora con los costos de director del proyecto, los del laboratorista y los ensayos de laboratorio que se están haciendo en la facultad.

CONCEPTO	COSTO	UNIDAD	VALOR
COSTOS DE PERSONAL			
PERSONAL PROFESIONAL			
Director proyecto	\$ 1,133,400.00	1	\$ 1,133,400.00
Estudiante Ingeniería Civil	\$ 3,600,000.00	1	\$ 3,600,000.00
PERSONAL TECNICO			
Laboratorista	\$ 500,000.00	1	\$ 500,000.00
OTROS COSTOS DIRECTOS			
VIATICOS			
Director proyecto	\$ 50,000.00	1	\$ 50,000.00
Estudiante Ingeniería Civil	\$ 150,000.00	1	\$ 150,000.00
Laboratorista	\$ 50,000.00	1	\$ 50,000.00
COSTO EQUIPOS			
Computador	\$ 1,500,000.00	1	\$ 1,500,000.00
OTROS COSTOS			
Transportes terrestres	\$ 300,000.00	1	\$ 300,000.00
Lugar de Trabajo-(incluye sevicios públicos)	\$ 400,000.00	1	\$ 400,000.00
Reproducción documentos (fotocopias, heliografías.)	\$ 500,000.00	1	\$ 500,000.00
Edición de informes(incluye fotografías)	\$ 400,000.00	1	\$ 400,000.00
Comunicaciones (teléfono, fax, correo,etc)	\$ 500,000.00	1	\$ 500,000.00
Ensayos Laboratorio	\$ 1,200,000.00	3	\$ 3,600,000.00
COSTO TOTAL PROYECTO			\$ 12,683,400.00

El costo total del proyecto es de doce millones seiscientos ochenta y tres mil cuatrocientos pesos m/cte., (\$12.683.400).

8.2. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	2012					
	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
Entrega Proyecto						
Visita Mina de Asfalto Natural						
Ensayo de laboratorio						
Analisis de resultados						
Primer informe parcial						
Visita Mina de Asfalto Natural						
Ensayo de laboratorio						
Analisis de resultados						
Segundo informe parcial						
Correcciones y ajustes según laboratorio						
Entrega Informe final						

BIBLIOGRAFÍA

CARDENAS GARCÉS, Claudia Mariá, GARRIO COSSIO, Olga Maria y ARIAS GALLEGO, Libardo. Pavimentos. Colección Universidad de Medellín. División de Investigaciones y Asesorías. No. 12. Medellín.

GARCIA HERNANDEZ, Fabio Andrés. BALAGUERA AYALA, Oscar Manuel. Las Asfaltitas en Colombia y su uso en la pavimentación de carreteras. Tunja, Trabajo de grado (Ingeniero en Trasportes y Vías). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2009.

MESA BARRERA, Liliana. Análisis del comportamiento mecánico del asfalto natural “Asfaltita”, mina La Emilia. Sogamoso. 2005.

MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de pavimentos. 3ª Edición. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. 2010.

SANDOVAL ROMERO, Jhon Alexander. Estudio geológico caracterización de las asfaltitas de la vereda Palo Blanco en el municipio de Vélez - Santander. Sogamoso. Trabajo de grado (Ingeniero Geólogo). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2007.

S.I. SERINCO LTDA. Caracterización de Asfaltita natural y agregados pétreos de trituración para mezcla. Sogamoso. Mayo 2010. 5 P.

ESTERIL DEL CARBÓN SOCOTÁ BOYACÁ

CASO: MINA LOS AMARILLOS, VEREDA HATO PARPA.

YURI YOHANA VARGAS TIBOCHA
JAYSSON ALEJANDRO RODRÍGUEZ TORRES

RESUMEN

La explotación del carbón genera desechos que no son utilizados en ningún proceso productivo, creando una problemática ambiental. Aunque el impacto no es de grandes proporciones, la mitigación de éste mejorará la calidad de vida de las comunidades aledañas a las minas. Los materiales como el estéril del carbón son depositados en acopios en zonas colindantes a la minas ocupando terrenos que pueden ser utilizadas en la reforestación de la misma, pudiendo utilizar esta madera en el sostenimiento de los túneles de la mismas minas de carbón, ya que al ser una minería artesanal se necesita de grandes cantidades.

Al dar un uso a este desecho de la minería en las vías de la misma región, como material de afirmado ayudaran en gran parte al medio ambiente, generando bienestar a la comunidad, no solo en la parte paisajística sino en calidad de vida, ya que al tener buenas vías de acceso se generará un ciclo de beneficio y prosperidad. Uno de los principales engranajes en la economía de un país son sus vías, puesto que por ellas es por donde se llevan o traen materias primas y materiales terminados. Una región al tener buenas vías de comunicación generará un efecto dominó positivo de desarrollo, puesto que aumentará la productividad de dichas minas ahorrando en costos de mantenimiento de los vehículos transportadores del

mineral, como lo son la volquetas. Al tener vías en mal estado estos vehículos sufren daños irreversibles en su amortiguación, en el gasto de llantas, en el consumo de combustibles, generando más desechos al medio ambiente. Esto no solo se ve reflejado en las minas si no en los habitantes de la región pudiendo ellos lograr comercializar sus productos provenientes de la agricultura y ganadería. Así se aumentará el turismo que podría ser otra fuente de empleo.

Lo que se pretende con este proyecto de investigación es dar solución a esta problemática utilizando este material, dándole un uso a un material que no produce ningún beneficio y si puede generar algún tipo de ayuda. Las vías de acceso a la mina “Los amarillos”, zona de estudio, no están en las mejores condiciones, ya que por el constante movimiento de carga se deterioran generando descontento en los usuarios de las vías. Al utilizar el material de estéril en la misma zona se ahorran gastos de transporte de material seleccionado, como el recebo que es utilizado normalmente en este fin. Al utilizar el recebo se está generando otro impacto ambiental ya que al explotar canteras para la extracción del material se están dañando zonas que podrían ser utilizadas en otro sector productivo. Los ingenieros civiles pueden dar salida a esta problemática ambiental y de infraestructura vial generando soluciones, creando nuevas formas de utilizar materiales, ayudando no solo al crecimiento de la región sino de todo el sector minero del carbón, puesto que al ver los resultados se creara la conciencia ambiental que tanto está necesitando el planeta.

GLOSARIO

ARENISCAS: rocas sedimentarias de origen detrítico de color variable que contiene clastos de tamaño variable.

ÁRIDO LIGERO: es un material física y químicamente neutro, que no desprende gases ni malos olores, no se pudre y no es atacable por parásitos, hongos o roedores. No le afectan las sustancias químicas y es altamente resistente a las heladas y a los cambios bruscos de temperaturas.

CANTERA: es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridos. Las canteras suelen ser explotaciones de pequeño tamaño, aunque el conjunto de ellas representa, probablemente, el mayor volumen de la minería mundial.

CEMENTO: es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcillas calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecer al contacto con el agua.

COQUE: residuo duro y poroso que resulta después de la destilación del carbón. El coque se utiliza como reductor en siderurgia, para la fundición de hierro y obtener acero a partir del arrabio. Tiene un color gris negruzco y un brillo metálico. Contiene, en su mayor parte carbono (92%) y el resto ceniza (8%). Su valor calorífico es muy elevado.

ESTRATOS: capas superpuestas de rocas en las cuales se forman los recursos minerales como el hierro y el carbón.

ESCOMBRERA: sitio destinado para la disposición de residuos minerales o de construcción.

IMPACTO EDÁFICO: es la misma contaminación del suelo por agentes externos que van acabando con los nutrientes del mismo, produciendo modificaciones físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que conllevan a su deterioro.

PIZARRAS CARBONOSAS: roca sedimentaria, sus principales componentes son el cuarzo y minerales del grupo de la clorita.

PUZOLANAS: son materiales silíceos o alumino-silíceos a partir de los cuales se producía históricamente el cemento, desde la antigüedad romana hasta la invención del cemento Portland en el siglo XIX. Hoy en día el cemento puzolánico se considera un ecomaterial

AGRADECIMIENTOS

Por la culminación del trabajo, los autores manifestamos los agradecimientos a: A Dios, por darnos fuerza y capacidad para emprender y realizar el trabajo.

A la universidad Santo Tomás, porque de ella aprendimos conocimientos muy valiosos que los hemos retomado, llevándolos a la práctica.

A los Ingenieros Néstor Perico Granados y Héctor Sánchez Abril, nuestros tutores y amigos, quienes siempre estuvieron pendientes asesorándonos con sus valiosos conocimientos.

A los dueños de la mina “Los Amarillos” quienes nos suministraron el material estéril del carbón para el desarrollo de este proyecto.

INTRODUCCIÓN

Lo que se pretende con este proyecto de investigación es dar solución al problema de la acumulación de estériles, dándole un uso dado que no produce ningún beneficio y si puede generar algún tipo de ayuda. Las vías de acceso a la Mina “Los Amarillos”, zona de estudio no están en las mejores condiciones, ya que por el constante movimiento de carga se deterioran generando descontento en los usuarios de las vías. Al utilizar el material de estéril en la misma zona se ahorran gastos de transporte de material seleccionado como el recebo que es utilizado normalmente con este fin. Así ahorramos la extracción de agregados para afirmar las carreteras y disminuimos la contaminación en ese sector. Este proyecto inicialmente muestra

los antecedentes históricos, los cuales muestran la importancia que le han dado países como España para su reutilización. Allí se muestran los usos en los diferentes campos de la construcción. De igual manera, se dan a conocer algunos conceptos claves para este proyecto como son el concepto de estéril, base, sub base, material de afirmado entre otros. Se presentan resultados a partir del diagnóstico, se determina el lugar y el tiempo, el método de investigación que para este caso es la investigación cuantitativa, en la cual además se describen las técnicas e instrumentos con su metodología de trabajo. Por último, se describen las técnicas y herramientas, la caracterización de la población y el desarrollo de las herramientas con un análisis de resultados parciales y conclusiones transitorias.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los estériles del carbón de la mina “Los Amarillos” de la vereda Hato Parpa del municipio de Socotá, Boyacá, con el fin de utilizarlo como material de afirmado, base y sub – base de la estructura del Pavimento. Verificar otros posibles usos, mediante estudios de laboratorio.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar según las especificaciones de construcción del Invías, si el estéril del carbón cumple como material para ser usado en pavimentos, a través de ensayos de laboratorio.

- Establecer qué material y bajo qué condiciones de mezcla con el estéril del carbón, cumple con las especificaciones de construcción del Invías, para ser utilizado como afirmado, base y sub – base del pavimento, con base en diferentes mezclas elaboradas para el fin.
- Efectuar recomendaciones sobre el transporte y uso del material en la construcción de pavimentos en caso de que sea viable.
- Promover procesos de enseñanza y capacitación en las minas de Socotá para utilizar los estériles provenientes del carbón en obras de ingeniería.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Los estériles del carbón por años se han venido empleando como material para la construcción de carreteras, especialmente se están empleando en países como Alemania, Reino Unido y Francia, como materiales granulares, materiales estabilizados con cemento, terraplenes y rellenos¹⁴. Para esto se han montado plantas de tratamiento para la obtención del material separado por tamaños, o de mezcla de los estériles con conglomerados hidráulicos, fundamentalmente cemento. En España, los resultados obtenidos en ensayos realizados han llevado a deducir que los estériles de carbón, además de poderse emplear como material

¹⁴ Cfr. GONZÁLEZ CAÑIBANO, J. Composición mineralógica de los estériles de hulla y antracita en España, IX Congreso Internacional de Minería Industria Minera, mayo 1991, pp. 25.

para terraplenes y rellenos, también se usan como capa de coronación de estos, y con un adecuado tratamiento en capas firmes¹⁵.

Los estériles rojos se han utilizado como subbases granulares para todo tipo de tráfico. Se ha trabajado en mejorar la forma y reducir el coeficiente de desgaste en la máquina de los Ángeles por debajo del 35% para carreteras de tráfico medio y ligero. En Francia, los estériles rojos han sido utilizados en la construcción de firmes para caminos rurales (20 – 30 cm de estériles rojos debajo de un tratamiento superficial). Para vías con poca circulación (20 – 30 cm de estériles rojos más unos 6 – 8 cm de aglomerado), así como en los arcenes de carreteras; (encima de los estériles rojos se colocan 12 cm de grava – escoria y 6 cm de aglomerado).

Los estériles rojos pueden utilizarse también en la fabricación de otras unidades para capas de subbase, como en gravas con ceniza y cal y en grava con cal. La grava con ceniza y cal se obtiene triturando el estéril y separándolo en dos fracciones 0/5 mm y 5/20 mm, lo que permite componer una buena granulometría continua, se le añade 12% de ceniza volante silicoaluminosa y 3% de cal apagada y agua. Con esta mezcla se alcanza a 90 días elevada resistencia mecánica a tracción (más de 1 Mpa) y compresión (más de 9 Mpa). La grava con cal aprovecha el carácter puzolánico de los finos del estéril rojo y se obtiene mezclando el estéril triturado 0/20 mm con 3% de cal apagada. El

¹⁵ ESTERAS GONZALEZ, S; JIMÉNEZ SAEZ, R.; IBARZABAL OSET, L; GONZÁLEZ CAÑIBANO, J.; RUIZ RUBIO, A. Utilización de los estériles del carbón como materiales para capas de firmes. Características y ensayos de lixiviación, Ingeniería Civil, CEDEX, 1994, p. 95.

estéril debe tener más de 6% de finos. Se obtienen resistencias a compresión a 90 días mayores de 6 Mpa¹⁶.

Estudios realizados en España¹⁷, han confirmado la experiencia existente en otros países Europeos, como Francia y Reino Unido¹⁸¹⁹, de utilizar como suelo cemento para subbase de carreteras a los estériles de carbón, rojos o negros, estabilizados con cemento en porcentajes entre 5 y 6%. Los estériles rojos clasificados 0/6 y 6/20 son los más adecuados para la fabricación de mezclas con ligantes hidráulicos. Este tipo de empleo supone un conocimiento bastante preciso de las características mecánicas de las mezclas. Este tipo de firmes se proyecta en vías de tráfico moderado. En la cueca Nord Pas de Calais en Francia, se utilizaron ampliamente, en tiempo de abundancia de escombreras quemadas, mezclas de estériles rojos con escorias de alto horno, con cenizas volátiles silico – aluminosas o mixtas de estos dos residuos. En la actualidad con una paulatina desaparición de este tipo de préstamos y la consiguiente disminución en su calidad, se está generalizando la tendencia a sustituir la fracción 6/20 por áridos calizos. La fracción 0/20 de los estériles rojos clasificados se utiliza como material para firmes, de acuerdo con la normativa francesa.

¹⁶ Cfr. Ibid., pp45-49.

¹⁷ Cfr. GONZALEZ CAÑIBANO, J.; FERNANDEZ VALCARCE, J.A. “Composición química de los estériles de hulla y antracita de España”, Industria Minera, Mayo, 1991, pp. 3-4.

¹⁸ DAC CHI, N.; “Empleo de los desechos de minas de carbón y escorias metalúrgicas en Europa”, Carreteras, 1994, pp. 69,71 – 76.

¹⁹ Cfr. GONZALEZ CAÑIBANO, J. ; GARCIA, M.; FERNANDEZ, J.M .. ”Utilización de los estériles del carbón de la construcción de firmes de carreteras”. VII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Barcelona, 1994, 5-6.

Los estériles negros de escombrera pueden ser utilizados en subbases para tráfico ligero, siempre y cuando se eliminen por cribado los tamaños inferiores a 20 – 25 mm y se machaque la fracción retirada. Si el material así tratado cumple las especificaciones correspondientes, en particular el CBR y la plasticidad de los finos, podrá ser utilizado en la ejecución de subbases granulares. El cribado del material resultante del tratamiento descrito en el párrafo anterior, que pasa por el tamiz 50 mm proporciona un “todo uno” 0/50 que puede ser utilizado como explanada mejorada. Los estériles negros con un tratamiento mecánico que permita conseguir la granulometría apropiada, también pueden ser utilizados como suelo cemento²⁰.

En Francia, por ejemplo, se han agotado, prácticamente, todos los estériles rojos porque vienen siendo habitualmente utilizados en la construcción de explanadas. Hoy en día, se están utilizando para este fin los esteriles negros de escombrera, constituidos, en su mayor parte, por estériles de lavadero. Para ellos se criban dichos materiales y se utiliza la fracción 20/25. También se pueden utilizar estériles negros clasificados a partir de la fracción 50/150 del “todo uno” para la fabricación de mezclas por ligantes hidráulicos. Las tendencias esperadas para los próximos años en la región Nord Pas – de Calais (Francia) son las de profundizar en el conocimiento de los estériles negros, principalmente en su utilización para la ejecución de explanadas. Los estudios de laboratorio efectuados sobre estériles de lavadero, con poca presencia de sulfatos, han resultado prometedores.

²⁰ JIMENEZ, S., “Utilización de estériles de carbón en terraplenes de carreteras de la comunidad de Castilla y León”, Actas del V Congreso Nacional de Firmes. Pág. 197 – 202. 2000.

La preocupación se centra en dos aspectos: controlar la homogeneidad del préstamo y la arcillosidad de las partículas minerales, aspecto este de gran importancia. Además, hay otros aspectos como: el tiempo necesario para la apertura al tráfico de la explanada, por su incidencia en los plazos de ejecución, la determinación de la resistencia temprana a la inmersión, la resistencia a la helada de la capa, el estudio de la resistencia a largo plazo. En la normativa británica, los estériles rojos son aceptados como material para sub – base y sub – base granular, con cemento mientras que los estériles negros solo son propuestos como sub – base granular con cemento.

Se han realizado estudios en España para determinar la viabilidad técnica de la utilización de los estériles en terraplenes y rellenos de carreteras, en el que, además de la realización de ensayos de laboratorio y pruebas de compactación a gran escala, se construyó un terraplén experimental a escala natural con estériles de carbón. Como fruto de este estudio, en Asturias se han empleado desde 1989 hasta la fecha unos 6 millones de toneladas para dicha aplicación. También se han realizado estudios entre 1993 y 1995 para demostrar la validez de la técnica de utilización de estériles de carbón como material de relleno en estructuras de tierra reforzada. Se construyó un relleno experimental a escala real con muros de tierra reforzada, empleando como material de relleno estériles de escombrera. Se controló la estructura durante y después de la construcción, siendo el comportamiento de los estériles totalmente satisfactorio.

Se ha observado que la utilización de estériles de producción reciente, pueden ser ventajosamente utilizadas en la ejecución de terraplenes, debido a que los tamaños grandes generan los finos que rellenan los huecos. La excepción a esta observación la proporcionan los estériles con elevada presencia de bloques y arenisca, ya que estos no sufren este efecto. Analizando correctamente los tipos de estériles, uno de estériles negros se pueden utilizar en la construcción de terraplenes y rellenos, como material de relleno general. A este respecto se hacen recomendaciones tales como la eliminación de los elementos más pizarrosos, especialmente, en condiciones de lluvia, para facilitar la puesta en obra. De igual forma, debe evitarse la utilización de estos materiales en zonas inundables, a menos que se interponga una capa de material insensible al agua. Los estériles de carbón cribados podrían utilizarse en zonas inundables, así como en la del relleno. En principio no son considerados susceptibles de experimentar combustión espontánea si su contenido en sulfuros oxidables es inferior al 0.06% de sulfato, expresado como SO_4^- . Debido a las propiedades resistentes, pueden construirse taludes 3H:2V²¹.

Los estériles de carbón han sido utilizados masivamente en Reino Unido, Francia, Alemania y Holanda, especialmente, en rellenos y terraplenes, y en cantidades del orden de decenas de millones de metros cúbicos. Los usos en firmes han registrado una intensidad

21 Cfr. KETTEL, R. J .; RAINBOW, AKM. "the stabilization of Colliery spoil", Symposium on the utilization of waste from Coal Mining and Preparation. Vol. III. Tatabanya, Hungary, 17 – 23 October (1993).

mucho menor²². En España se han llevado a cabo estudios para la aplicación de esteriles de carbón en terraplenes y carreteras de forma conjunta con Hunsu y el Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medioambiente y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas²³. Después de analizar la aplicación en terraplenes dirigieron sus esfuerzos a las mejoras del material para su empleo en capas de firme. Así, en 1993 se montó en Asturias una planta para el tratamiento de los estériles del carbón como materiales para capas firmes. En dicha planta, el material se somete a determinados procesos de cribado y machaqueo selectivos hasta conseguir un producto que cumpliera las especificaciones para capas granulares de subbases y algunas aplicaciones de capa de base, y para capas tratadas con cemento y emulsión. Paralelamente se realizaban las comprobaciones pertinentes para asegurar la inalterabilidad del material y la ausencia de problemas por lixiviados.

Como ejemplos de obras en las que se han empleado estos materiales se puede citar la Autovía Oviedo – Campomanes, en donde se han utilizado del orden de 128.000 t de estériles de lavadero en la construcción de terraplenes y se han construido 4.5 km de subbase empleando estériles de lavadero estabilizados con un 6% de cemento (1992). Está la Autovía Oviedo – S. Miguel de la Barreda, en donde se colocaron más de 1500 m³ de estériles negros de escombrera y lavadero para la construcción de

22 Cfr. Instituto Tecnológico y Geominero de España, “Manual de Reutilización de residuos de la industria minera, siderometalúrgica y termoeléctrica”, Madrid, 1995.

23 Cfr. CELEMIN, M., MARTINEZ, A. Y SANCHEZ – ALCITURRI, J.M., “Problemática del uso de los estériles de relavado en la autovía del Noroeste”, Actas del IV Simposio Español sobre Carreteras y Medio Ambiente, Asociación Técnica de la Carretera, 1998, Pág. 777 – 783.

terraplenes. La carretera Ujo – Moneda (Asturias), en donde se han utilizado estériles rojos, machacados y clasificados en el uso 0/50 como subbase y también han sido empleados estériles negros sin tratar en un terraplén de dicha carretera. La vía Mieres – Campomanes, en donde se colocó material sin tratar o con un ligero tratamiento mecánico, consistente en la eliminación de los tamaños grandes, en la construcción de 17 km de la explanada, en una capa de un espesor de 1.2 m, sobre los que se colocaron 22 cm de grava – escoria y 17 cm de mezcla bituminosa.

De otro lado, está la carretera de Fabero a Berlanga (León), en donde se han utilizado estériles rojos en la constitución de la explanada así como en la del camino vecinal de Toreno a Vega de Espinareda. También está la vía del Noreste (tramo S. Roman de Bembibre – Villafranca del Bierzo), en donde en el Proyecto de construcción estaban autorizados algo más de un millón de metros cúbicos de estériles de relavado de la denominada “montaña de carbón de Ponferrada”, para construcción de terraplenes, pero no llegaron a emplearse. Solo se emplearon unos 2800 en la construcción de un pequeño terraplén de acceso a la Autovía Cubillos – Toreno, situado cerca de esta última localidad.

En las más recientes cabe citar el relleno de los estribos del puente sobre el río Sil y acceso al Campus Universitario de Pontefarrada, con el empleo de estériles negros en el año 2005. La vía Cubillos – Toreno, en la cual se utilizaron estériles negros procedentes de la escombrera de Toreno para las estructuras y en caminos de servicio de esta misma infraestructura. Los estériles de lavadero de la “Montaña de carbón de Ponferrada” fueron empleados en núcleo de terraplén en la autovía de Cubillos – Toreno (Ramal 85, p.k

+060 a + 0160), en el año 2000, por FCC. Esta misma empresa realizó un estudio sobre la utilización de los estériles de lavado en suelo cemento. La utilización de estos residuos en terraplenes y carreteras en España es relativamente reciente. Hasta 1989 se empleaban únicamente en zonas mineras, para el relleno de minas y pozos, canteras abandonadas, huecos o terrenos hundidos, etc.

2.2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Está la tesis “Utilización de estériles de carbón en terraplenes de carreteras de la comunidad de Castilla y León”²⁴ de Santiago Jiménez Benayas – Director de la Sociedad de Investigación y explotación minera de Castilla y León, S.A. (Siemcalsa), con base en los numerosos problemas ocasionados por la acumulación de los estériles, generados por la actividad minera del carbón. Entre éstos están la alteración del paisaje, impacto visual, contaminación, peligrosidad, ocupación del terreno. Se quiere buscar una solución encaminada a utilizar estos materiales de una manera provechosa. Una de las conclusiones más relevantes de este estudio es que la gran mayoría de las escombreras no contempla la reutilización energética de este material, sino que se utiliza en la modificación de la pendiente de los taludes y la revegetación u otros usos alternativos.

Aproximadamente el volumen de estériles acopiados en las escombreras es de 116 millones de m³, según estudios del Instituto Tecnológico Geominero de España en el año 1989. De todas las posibles reutilizaciones estudiadas, la utilización en obra

²⁴ JIMENEZ, BENAYAS, Santiago.” Utilización de estériles de carbón en terraplenes de carreteras de la comunidad de Castilla y León” .Siemcalsa. Pág. 1 – 6.

pública es el sector en donde se pueden emplear mayores volúmenes de estériles. En carreteras, su utilización en terraplenes no precisa tratamiento alguno, y en bases y subbases, tan solo es necesaria una simple clasificación por tamaños. Hasta el año 2004 y según la información consultada, la posibilidad de reutilización de los estériles de carbón en las carreteras de la Comunidad de Castilla y León se centra en las actuaciones contempladas en el plan de actuaciones prioritarias en infraestructura de transporte (PAPIT) y las financiadas con fondos procedentes del ministerio de Industria y Energía (Miner), cuyos trazados se encuentran próximos al volumen total de estériles existentes en 1989.

Se estima que, hasta el año 2004, el volumen de estériles de carbón que podrían ser destinados a la construcción de variantes de poblaciones, acondicionamiento de trazados (supresión de curvas, ensanchamientos de vías de circulación) y terraplenes de carreteras de nueva construcción es del orden de 5.000.000 m³ lo que supone un aprovechamiento del 4,4% del total de los estériles de carbón acopiados en las escombreras de la comunidad. Dicho porcentaje se podría ver incrementado, si se potenciase la utilización para los siguientes fines en donde ya se ha demostrado su validez: estructuras de tierra armada; subbases de carreteras, utilizando material granular sin tratamiento, o bien estabilizándolo con pequeñas cantidades de cemento, y caminos de concentración parcelaria²⁵.

Desde el punto de vista ambiental y socioeconómico, las principales ventajas derivadas del aprovechamiento de este tipo de materiales, en obras civiles son los que a continuación se exponen:

²⁵ Cfr. Ibib., pp.6-8.

eliminación, en el peor de los casos, reducción del impacto ambiental ocasionado por este tipo de acopios, como la degradación del paisaje, contaminación, peligrosidad, etc; disminución de las afecciones al medio ambiente, al disminuir los desmontes de materiales de mayor valor que tradicionalmente se están utilizando para la construcción de los terraplenes de las carreteras (suelos o tierras); recuperación de terrenos que podrán ser destinados a diferentes usos en función de su ubicación (plazas de mina, suelo industrial urbano, agrario – ganadero, etc.), y rapidez y facilidad para disponer de un material acopiado que puede ser retirado de manera sencilla sin necesidad de utilizar métodos de arranque y extracción costoso (tan solo es necesario una retroexcavadora o una máquina de similares características).

El beneficio económico para las compañías mineras responsables de la generación de las escombreras, al no tener que hacer frente a los costos derivados de las restauraciones exigidas por la administración, según lo estipulado en la vigente legislación minera y el beneficio económico para las empresas adjudicatarias de las obras civiles, que podrán disponer de material apto para la construcción de terraplenes, a unos costos bastante competitivos con los actualmente vigentes.

Así mismo, hay otra importante investigación que se realizó entre 1998 y 2000 en León y Palencia, la cual corresponde al posible aprovechamiento de las escombreras de estériles, de las explotaciones de carbón, para su uso en obra civil, principalmente

como áridos de carretera (base, sub – base y terraplén), minimizando así el impacto ambiental de esta minería²⁶.

El Instituto de experimentación y promoción agraria, con el programa de difusión y transferencia de tecnología agraria, de Asturias España, investigó acerca de la mejora de los suelos arcillosos con estériles de carbón. Algunos de los factores de los suelos arcillosos, como la permeabilidad, aireación, temperatura y otros, pueden actuar negativamente sobre el rendimiento de los cultivos. En definitiva, estos suelos son difíciles de trabajar, propician el desarrollo de enfermedades y en general son menos productivos que los suelos más ligeros. Por tanto, la mejora de los suelos pesados o arcillosos, constituyen un objetivo prioritario para desarrollar adecuadamente la tecnología de cultivo (abonado, riego, tratamientos y otros).

Las investigaciones realizadas con la empresa Hunosa, sobre la utilización de estériles de carbón presentan buenas características para mejorar los suelos arcillosos. En las pruebas efectuadas con estos materiales, se alcanzaron mejoras del rendimiento de hasta 25% y los productos cosechados, sobre todo el tomate, presentaron buena calidad. Para la utilización de los estériles de carbón como mejorante de los suelos arcillosos deberá apoyarse en las recomendaciones que a continuación se exponen: el material de escombrera es para suelos donde se vaya a cultivar especies sensibles a la salinidad, mediante una dosis de hasta 50% el volumen de la capa arable, una capa de 12 a 15 cm de estéril. Cuando se trata de material de lavadero, este se emplea para suelos donde se vaya a cultivar tomate, efectuando la mejora

²⁶ Cfr. Ibid., pp. 7-9.

en varias fases o años. El volumen de estéril es hasta el 75% del volumen de la capa arable²⁷.

2.3 APROXIMACIÓN CONCEPTUAL

2.3.1 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE ESTÉRIL.

El estéril del carbón es un material sin mucho valor económico extraído para permitir la explotación del carbón. Este material es de color negro normalmente y tiene una textura fuerte, como de roca dentro de la mina, pero a la intemperie se convierte en un material laminar que proviene de materiales de roca en minas. Los estériles son aquellos residuos que se generan como consecuencia de la minería de carbón, tanto de la explotación como de los resultantes del lavado del material, que generalmente se almacenan en escombreras²⁸. Los estériles están constituidos por rocas encajantes de las capas de carbón, fundamentalmente pizarras y areniscas. En general, están conformados por las rocas sedimentarias entre las cuales se encajan las capas de carbón, tales como las pizarras, areniscas y sus variantes, al igual que arcilla, cuarzo y rocas ferruginosas, como se puede ver en la figura 1. Normalmente son rocas con todas las proporciones existentes de cuarzo / arcilla y en todas las gamas de transición. Allí se encuentran incluidos de forma implícita los estériles almacenados en las escombreras²⁹.

²⁷ Cfr. Ibid., pp. 8-10.

²⁸ Cfr. GUTIERREZ, Manuel y LUQUER, Carlos. Recursos del sub suelo de Asturias, Servicio de Públicos, Bruselas: Universidad de Oviedo, 1992, pp. 159.

²⁹ Cfr. GONZALEZ CAÑIBANO, José. Manual de reutilización de residuos de la industria minera, Instituto tecnológico Geo minero de España. Serie Ingeniería Geoambiental, 1995, P: 4.

Si bien no existe una normativa que regule la clasificación de los estériles y estos se pueden dividir de formas diferentes dependiendo del objetivo que persiga, como la propuesta por Lukashik y Romanchik, aquí, con el fin de estructurar y facilitar su estudio, se seguirá la clasificación dada por González Cañibano y García García, la cual presenta la ventaja de su sencillez, ceñirse exclusivamente a los estériles del carbón y, por tanto, dar una visión clara de dichos residuos. La mencionada clasificación que se presenta ordena los estériles en función de su origen, es la existente de manera implícita o explícita en otros países. Están los estériles de mina, que se llaman así los procedentes de la explotación de las galerías y trabajos en roca y se caracterizan por una irregular granulometría y no están degradados. Generalmente no poseen carbón. Representan, aproximadamente un 10 % de la producción de los estériles. Otra de sus clasificaciones son los estériles de lavadero que son los resultantes del almacenamiento de los estériles de mina y lavadero en lugares dispuestos a tal efecto y se caracteriza por presentar una granulometría que varía según los tipos de estériles que se fuesen vertiendo y estar normalmente degradados y disgregados. Así mismo, están los estériles negros que son una subdivisión de los estériles de lavadero y son conocidos como los estériles que no se han descombinado³⁰.

2.3.2 ELEMENTOS ESENCIALES DEL CONCEPTO DE BASE.

La base es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir cargas ocasionadas por el tránsito

³⁰ Cfr. Manual de reutilización de residuos de la industria minera., pp. 5.

a la sub base y a través de esta a la sub rasante. Por ser la parte estructural más importante, sus materiales constitutivos deben ser de alta calidad para prevenir fallas a causa de la concentración de elevados esfuerzos debajo de la capa de rodadura. La base es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre ella porque la capacidad de carga del material fraccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento para poder resistir las cargas del tránsito, sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores³¹.

2.3.3 ASPECTOS ESENCIALES DEL CONCEPTO SUB – BASE.

La sub base es la capa de estructura del pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir, y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura del pavimento. Esta capa de la estructura del pavimento debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que pueden causar daños en el pavimento. Se coloca entre la sub rasante y la capa de base, sirviendo como material de transición en los pavimentos. La sub – base cumple la función de disminuir costos, ya que ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub – base (no siempre se emplea en el pavimento). Impide que el agua ascienda por capilaridad y evita que el pavimento sea absorbido por la sub – rasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías³².

³¹ Cfr. Nicholas j. Garber, 2002, pp. 19.

³² Cfr. Ibid., p. 20-21.

FIGURA 1. ROCAS DE CARBÓN.



Fuente: Manual de reutilización de residuos de la industria minera.

2.3.4. APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE MATERIAL DE AFIRMADO.

Material seleccionado de cantera utilizado en la conformación de vías, el cual debe cumplir con especificaciones técnicas, para el caso de Colombia, con las normas del Invias. Este material es explotado en canteras a cielo abierto, clasificándolo dependiendo el uso que se le vaya a dar. Éste se clasifica dependiendo de su granulometría, la cual se hace a gran escala en la cantera por medio de tamices según la norma Invias. Los agregados para la construcción del afirmado deberán satisfacer los requisitos de calidad indicados en el numeral 300.2 del Artículo 300 para dichos materiales. Además, se deben ajustar a alguna de las franjas

granulométricas que se encuentran en la norma. Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa³³.

2.3.5 ELEMENTOS ESENCIALES DEL CONCEPTO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS.

Este método se usa principalmente para determinar la granulometría de los materiales propuestos que serán utilizados como agregados. Los resultados se emplean para determinar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones que son aplicables y para suministrar los datos necesarios para la producción de diferentes agregados y mezclas que contengan agregados. Los datos pueden también servir para el desarrollo de las relaciones referentes a la porosidad y empaquetamiento³⁴.

2.3.4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando este se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico³⁵.

³³ Cfr. Ibid., 21-22.

³⁴ Cfr. Ibid., 22-23.

³⁵ Cfr. Instituto Nacional de Vías (I.N.V.E – 125 – 07)

2.3.5. LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado por este procedimiento, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo. Un valor observado o calculado de un límite de un suelo debe redondearse a la “unidad más cercana”. El método de modelo manual de rollos de suelo debe ser dado por el procedimiento normativo indicado en esta norma. Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la cual pueden formarse rollos de suelo de unos 3 mm (1/8”) de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos rollos se desmoronen³⁶.

2.3.6. EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELO Y AGREGADOS FINOS

Este ensayo tiene por objetivo determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Es un procedimiento que se puede utilizar para lograr una correlación rápida en campo. Esta norma no pretende considerar todos los problemas de

³⁶ Cfr. Instituto Nacional de Vías (I.N.V.E – 126 – 07)

seguridad asociados con su uso. Es de responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y la aplicabilidad de limitaciones regulatorias, con anterioridad a su uso³⁷.

Este ensayo produce como resultado un valor empírico de la cantidad relativa, finura y carácter del material arcilloso presente en la muestra de suelo o agregado fino. Se puede especificar un valor mínimo del equivalente de arena, para limitar la cantidad admisible de finos arcillosos en un agregado. Este método de ensayo permite determinar rápidamente, en el campo, variaciones de calidad de los agregados durante la producción o la colocación.

A un volumen determinado de suelo o agregado fino se le adiciona una pequeña cantidad de solución floculante, mezclándolos en un cilindro de plástico graduado y agitándolos para que las partículas de arena pierdan la cobertura arcillosa. La muestra es entonces “irrigada”, usando una cantidad adicional de solución floculante, para forzar el material arcilloso a quedar en suspensión encima de la arena. Después de un periodo de sedimentación, se determinan las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro. El “equivalente de arena” es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

³⁷ Cfr. Instituto Nacional de Vías (I.N.V.E – 133– 07)

2.3.7. ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS

Esta norma se aplica a los agregados de origen natural o artificial, incluyendo los agregados ligeros y no es aplicable a los tamaños de partículas menores de 6.3 mm (1/4") o mayores de 63 (2 1/2"). El ensayo de índice de aplanamiento consiste en dos operaciones sucesivas de tamizado. En primer lugar, mediante el uso de tamices, se divide la muestra en fracciones d/D , se criba a continuación empleando para ellos tamices de barras paralelas y separadas $3/5 [(d+D_1)/2]$, las partículas que pasen son consideradas planas. Cuando no se disponga de tamices de barras paralelas se puede utilizar el calibrador tradicional de espesor, para separar las partículas planas. El ensayo de índice de alargamiento consiste en dos operaciones sucesivas. En primer lugar, mediante el uso de tamices, se divide la muestra en fracciones d_1/D_v tal como se indica en la Tabla 1. Cada fracción se analiza utilizando el calibrador de alargamiento, para separar las partículas largas³⁸.

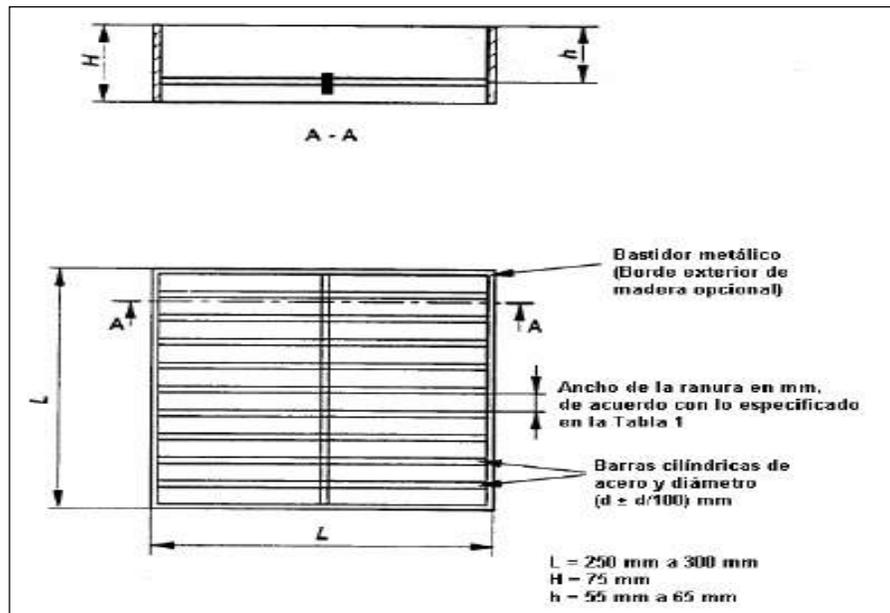
TABLA 1. TAMICES DE BARRAS

Fracción granulométrica d_1/D_v , mm	Anchura de la ranura del tamiz de barras, mm
50/63	33.9 ± 0.3
38/50	26.4 ± 0.2
25/38	18.9 ± 0.2
19/25	13.2 ± 0.2
12.5/19	9.5 ± 0.1
9.5/12.5	6.6 ± 0.1
6.3/9.5	4.7 ± 0.1

Fuente: Instituto Nacional de Vías, Aplanamiento y Alargamiento de los agregados para carreteras. I.N.V.E – 230 – 07.

³⁸ Cfr. Instituto Nacional de Vías (I.N.V.E – 230– 07)

FIGURA 2. TAMIZ DE BARRAS



Fuente: Instituto Nacional de Vías, Aplanamiento y Alargamiento.

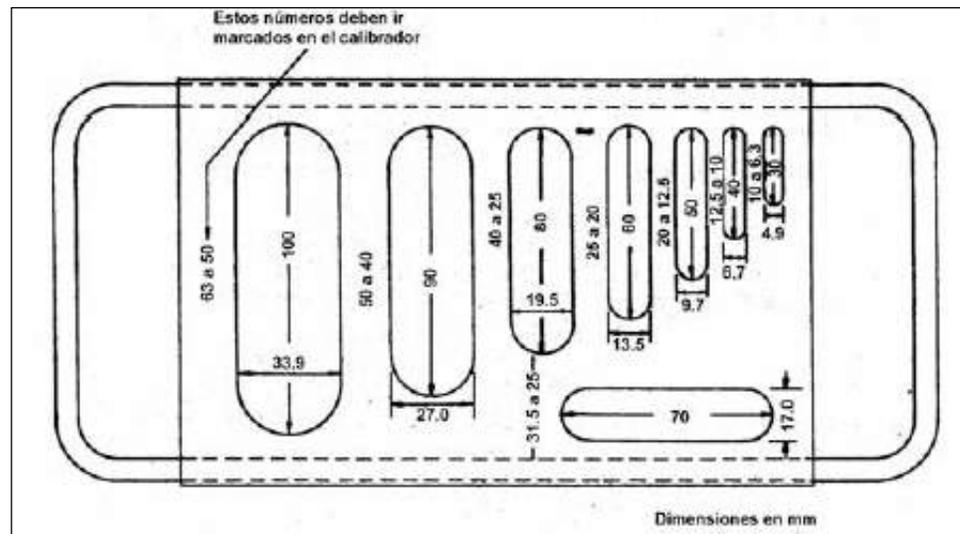
El material recibido en el laboratorio se reduce por cuarteo, hasta obtener una muestra representativa de ensayo de masa mínima, acorde con la requerida para la prueba de granulometría. En la tabla 2 se observan unos resultados sobre el procedimiento. Se seca la muestra de ensayo a $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ hasta masa constante. Se deja enfriar. Se pesa y se registra su masa como M_0 .

TABLA 2. MASA MÍNIMA DE MUESTRA DE ENSAYO (ACORDE CON LA REQUERIDA PARA GRANULOMETRÍA)

Máximo Tamaño Nominal con aberturas cuadradas		Masa mínima de la muestra de ensayo
mm	(Pulg)	kg
9.5	(3/8)	1
12.5	(1/2)	2
19.0	(3/4)	5
25.0	(1)	10
38.0	(1 1/2)	15
50.0	(2)	20
63.0	(2 1/2)	35

Fuente: Instituto Nacional de Vías, Aplanamiento y Alargamiento de Los agregados para carreteras. I.N.V.E – 230 – 07.

FIGURA 3. CALIBRADOR DE APLANAMIENTO



Fuente: Instituto Nacional de Vías, Aplanamiento y Alargamiento de Los agregados para carreteras. I.N.V.E – 230 – 07.

2.3.8 RELACIONES DE HUMEDAD – MASA UNITARIA SECA EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)

Estos métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y la masa unitaria de los suelos compactados, en un molde de un tamaño dado, con un martillo de 4.54 Kg. (10 lb) que cae desde una altura de 457 mm (18"). Se han previsto cuatro procedimientos alternativos en la siguiente forma:

Método A – Un molde de diámetro 101.6 mm (4"): material de un suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No 4). (Figura 4)

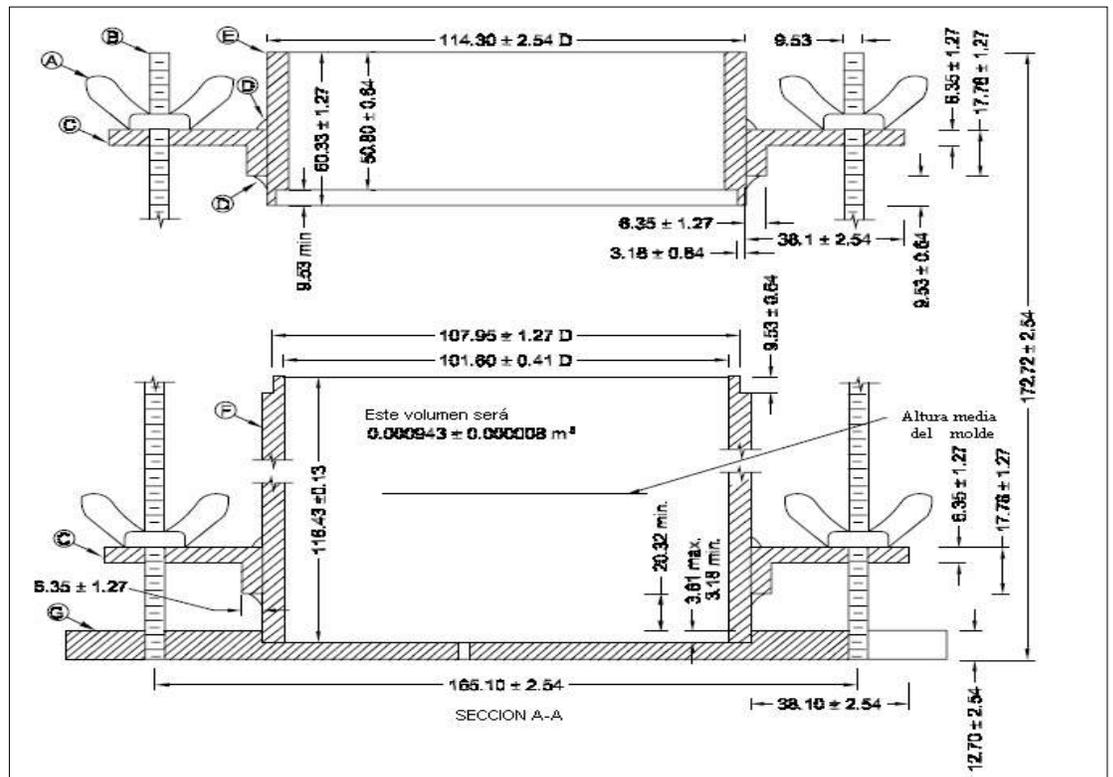
Método B – Un molde de diámetro 152.4 mm (6"): material de suelo que pasa tamiz de 4.75 mm (No 4). (Figura 5)

Método C – Un molde de diámetro 101.6 mm (4"): material de suelo que pasa el tamiz de 19.0 mm (3/4").

Método D – Un molde de diámetro 152.4 mm (6") material de suelo que pasa el tamiz 19 .0 mm (3/4")³⁹.

En las especificaciones se debe indicar el método por usar para el material que se va a ensayar. Si no se especifica ninguno, regirá el Método A. Este método de ensayo se aplica a mezclas de suelos que tienen el 40 % o menos retenido en el tamiz de 4. 75 mm (No 4) al usar los métodos A y B, y 30% o menos de retenido en el tamiz de 19 mm (3/4") cuando se emplee el método C o el D. El material retenido en estos tamices deberá ser definido como sobre tamaños (partículas gruesas).

FIGURA 4. MOLDE CILÍNDRICO DE 101.6 MM (4") PARA ENSAYOS DE SUELOS



Fuente: Instituto Nacional de Vías. Relación de Humedad – Masa Unitaria seca en los suelos (Ensayo Modificado de compactación) I.N.V.E – 142 - 07

³⁹ Cfr. Instituto Nacional de Vías (I.N.V.E – 142 – 07))

2.3.9. RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO)

Este método de prueba se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base, incluyendo materiales reciclados para empleo en pavimento de carreteras y pistas de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles. Para aplicaciones en las cuales el efecto de contenido de agua de compactación sobre el CBR es bajo, tales como materiales de grano grueso sin cohesión, o cuando se permita una tolerancia en relación con el efecto de diferentes contenidos de agua de compactación en el procedimiento del diseño, el CBR se puede determinar al contenido óptimo de agua de un esfuerzo de compactación especificado. La masa unitaria seca especificada corresponde, generalmente, al porcentaje mínimo de compactación en el campo⁴⁰.

Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR se desconoce, o en las cuales se desea tener en cuenta su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, usualmente el permitido para compactación en el campo empleando las especificaciones existentes para tal fin. El criterio para la preparación de especímenes de prueba de materiales autocementables (y otros), los cuales ganan resistencia con el tiempo, se debe basar en una evaluación de ingeniería

⁴⁰ Cfr. Instituto Nacional de Vías (I.N.V.E – 148– 07)

geotécnica. Los materiales de autocementantes, deben curarse apropiadamente hasta que se pueda medir relaciones de soporte representativas de las condiciones de servicio a largo plazo, de acuerdo con el criterio del Ingeniero.

2.3.10. RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 MM (1 ½”) POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Este ensayo ha sido ampliamente usado como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones mineralógicas.

Los resultados no brindan automáticamente comparaciones validas entre fuentes marcadamente diferentes en origen, composición o estructura. Los límites de las especificaciones deben ser asignados con extrema precaución, considerando los tipos de agregados disponibles y su comportamiento histórico en aplicaciones finales específicas⁴¹.

⁴¹ Cfr. Instituto Nacional de Vías (I.N.V.E – 218– 07)

FIGURA 6. MÁQUINA DE ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES

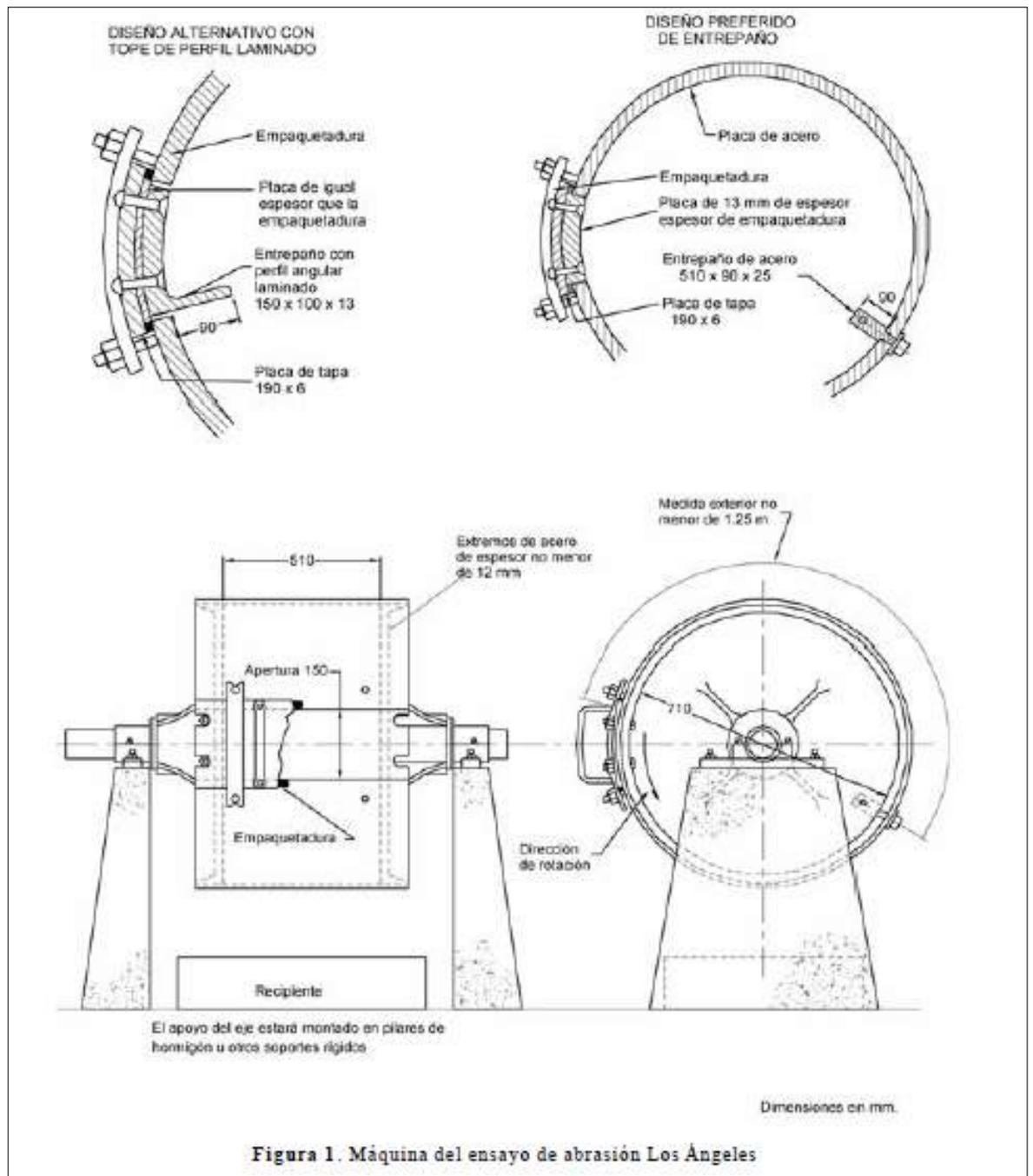


Figura 1. Máquina del ensayo de abrasión Los Angeles

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Resistencia al desgaste de los agregados.

3. DIAGNÓSTICO

3.1. DETERMINACIÓN DEL LUGAR Y EL TIEMPO

3.1.1 ESPACIAL

El material de estudio “Estéril de carbón”, se encuentra ubicado en la Vereda Hato Parpa, del municipio de Socotá, Boyacá, en la Mina los Amarillos, la cual se encuentra localizada a 10 Km del sitio denominado “Los Pinos”, por vía que une este caserío con la vereda Hato Cochía. Se encuentra distante del casco urbano de Socotá (Boyacá), a 22 Km por vía destapada; con coordenadas geográficas definidas como punto 1 (1.158.578 – 1.163.850), punto 2 (1.158.312 - 1.164.077), punto 3 (1.158.312 – 1.163.694), punto 4 (1.158.258 – 1.163.469).

La mina se encuentra ubicada sobre la parte Este de la cordillera Oriental, en donde se identifica un relieve con crestas y pequeños valles aluviales, con presencia de laderas con pendientes suaves, producto de una gran actividad tectónica, de la erosión y de acción de los diferentes climas. En altas latitudes (Noreste, centro y Este de la cordillera), hay predominio de areniscas (formación Socha inferior y Picacho), que presenta un relieve escarpado con laderas que en la mayoría de los casos tienen pendientes superiores al 50%. También existen mantos conformados por lutitas, principalmente arcillolitas y shales, que por sus características de poca dureza y baja resistencia a los efectos del viento, ofrecen condiciones para que se presente la erosión erosión

originando algunas depresiones. El relieve característico de este material son valles, con pendientes más o menos suave (5% - 15%).

3.1.2. TEMPORAL

Esta investigación comienza desde los estudios realizados al material estéril del carbón, el 27 de Febrero del 2012, ya que en esta fecha se dio inició a los primeros ensayos de laboratorio como son: granulometría y desgaste. Además se recopiló información de la utilidad en obras civiles que se le ha dado a este material en países como España, ya que en Colombia este material se ha implementado sólo en agronomía. Para la realización de este proyecto se planteó una duración de 10 meses, de los cuales se han trabajado 6 a partir de Febrero del 2012. Están pendientes otros estudios de laboratorio necesarios, el análisis de los mismos y la conclusión de los resultados obtenidos para las respectivas recomendaciones.

3.2. MÉTODO

3.2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es cuantitativa y es ayudada de la investigación descriptiva y de la explicativa, pues permite la medición de las cantidades de mezcla entre estéril y el posible material, con el cual se va a mezclar, que es el que se está estudiando en la investigación.

3.2.2 LA INVESTIGACION CUANTITATIVA

Lo cuantitativo en una investigación tradicional se reduce a medir variables en función de una magnitud, extensión o cantidad determinada. Aquí la magnitud se refiere a toda propiedad que puede ser medida y la extensión una parte del espacio que ocupa una cosa. En el ámbito filosófico y epistemológico la cantidad y la calidad son dos categorías inseparables y en general ellas reflejan importantes aspectos de la realidad objetiva. Para explicar de qué manera ocurren el movimiento y el desarrollo de la realidad, hay que entender que la acumulación de cambios cuantitativos graduales, determinados para cada proceso en particular, conduce de manera necesaria, a cambios esenciales, radicales y cualitativos. Este principio se puede observar en todos los procesos de desarrollo de la naturaleza, de la sociedad y del pensamiento humano.

Lo que caracteriza fundamentalmente una investigación o un método de tipo cuantitativo es que permitir la enumeración y la medición, que son consideradas como condición necesaria. La medición debe ser sometida a los criterios de confiabilidad y de validez, permite el uso de las matemáticas y todas aquellas entidades que operan en torno a ella, busca reproducir numéricamente las relaciones que se dan entre los objetos y los fenómenos, se las relaciona con los diseños o investigaciones denominadas tradicionales o convencionales (experimentales, encuestas cuasi experimentales, etc.)⁴².

⁴² Cfr. CERDA, Hugo. Elementos de la investigación, Bogotá: editorial El Búho, 1998, pp. 45-50.

3.2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La presente investigación se aplica a la mina Los Amarillos, del municipio de Socotá, Boyacá, de la cual se extrae el material de estéril, el cual cubre el manto de carbón y posee siete mantos. Se obtendrán las muestras de dos mantos, una muestra por cada manto, ya que sólo estos se encuentran en producción actualmente para el momento de la presente investigación.

3.2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Con las muestras tomadas de la mina Los Amarillos se ejecutan ensayos de laboratorio como granulometría, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, equivalente de arena, compactación modificada de cada una de las muestras, CBR en laboratorio, desgaste en la máquina de los Ángeles, Índice de aplanamiento, índice de alargamiento y porcentaje de caras fracturadas.

3.2.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

- Traer el estéril del carbón de la mina Los Amarillos, de la vereda Hato Parpa, del municipio de Socotá, Boyacá.
- Caracterizar el material del estéril del carbón, para así determinar, si este cumple con las especificaciones del Invias

para ser utilizado como afirmado, base y sub – base de la estructura del pavimento. Para esto se requiere ensayos como granulometría, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, equivalente de arena, proctor modificado, CBR en laboratorio, desgaste en la máquina de los Ángeles, Índice de aplanamiento, índice de alargamiento y porcentaje de caras fracturadas.

- Con base en los ensayos realizados al estéril del carbón y teniendo conocimiento de las características para su implementación en la estructura del pavimento, buscar nuevos materiales para mejorar la calidad del material.
- Conseguir y traer materiales como la ceniza del proceso de coquización, recebo y cemento a los laboratorios de la universidad para realizar los respectivos ensayos.
- Caracterizar uno a uno los posibles materiales de mezcla como son las cenizas del proceso de coquización, el recebo y el cemento para mejorar las propiedades del estéril del carbón y de esta forma utilizarlo como anteriormente se ha indicado. Esta caracterización se debe realizar mediante los ensayos descritos.
- Hacer diferentes dosificaciones entre el estéril del carbón y los posibles materiales de mezcla en distintas proporciones así: (estéril – cenizas del coque), (estéril – recebo), (estéril – cemento) para verificar el comportamiento de cada dosificación.

- Concluir según el análisis de resultados para así dar recomendaciones desde el punto de vista del manejo del material, con base en las distintas dosificaciones para el proceso constructivo y ambiental.

3.3. DESCRIPCION DE HERRAMIENTAS

En el proyecto se utilizaron herramientas indispensables para su desarrollo las cuales se pueden clasificar en dos grupos, herramientas tecnológicas y herramientas técnicas.

3.3.1.1. COMPUTADOR

Toshiba, características técnicas:

- Pantalla LCD de 14 pulgadas
- Resolución de pantalla de 1366×768 pixeles
- Microprocesador AMD V-Series de 2.3GHz
- Placa de video ATI Mobility Radeon HD 4250
- Memoria RAM DDR3 de 2Gb
- Disco rígido de 250Gb
- Grabadora de DVD
- Sistema Operativo Windows 7 Home Premium 64-bit
- Batería de lithium-ion de 6 celdas

3.3.1.2. CÁMARA FOTOGRÁFICA

Sony DMC-FS2

- Sensor CCD de 7.2 Megapixel

- 27 Mb de memoria interna por si se te olvidan tus tarjetas SD/SDHC o MMC
- Colores disponibles: Negro, plata y Rosa
- Dimensiones: 94.1 x 24.2 x 51.4 mm
- Peso 153 gr
- Batería de Ion-Litio
- Tarjeta de memoria incluida
- Varias resoluciones de grabación de video

3.3.2 HERRAMIENTAS TÉCNICAS

Equipos de laboratorio utilizados para determinar:

3.3.2.1. GRANULOMETRÍA

- Balanza: la balanza debe tener una capacidad suficiente. Debe leer con una exactitud de 0.1% de la masa de la muestra.
- Tamices: los tamices empleados serán de mallas con aberturas cuadradas e irán montados sobre bastidores adecuados para evitar pérdidas de material durante el tamizado, se debe disponer de la serie de tamices para obtener la información deseada de acuerdo con las especificaciones.
- Horno: de temperatura regulable capaz de mantener la temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

3.3.2.2. LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

- Vasija de evaporación: una vasija de porcelana de 115 mm (4 ½") de diámetro, aproximadamente.
- Espátula: una espátula de hoja flexible e 75 mm a 100 mm (3" a 4") de longitud y 20 mm (3/4") de ancho aproximadamente.
- Cazuela de Casagrande o aparato del límite líquido
- De operación manual: es un aparato que consiste en una cazuela de bronce con sus diámetros, constituido de acuerdo con las dimensiones señaladas.
- Ranurador: un ranurador curvo (trapezoidal), conforme con las dimensiones exactas. El calibrador no tiene que ser parte del ranurador.
- Calibrador: ya sea incorporado o separado del ranurador, de acuerdo con la dimensión exacta "d", el cual puede ser, si fuere separado, una barra de metal de $10.0 \pm 0.2\text{mm}$ (0.394 ± 0.008 ") de espesor y aproximadamente 50 mm (2") de longitud.
- Recipientes: hechos de material resistente a la corrosión y cuya masa no cambie con calentamientos y enfriamientos repetidos. Debe tener tapas que ajusten bien, para evitar pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmosfera,

tras el secado y antes de la pesada final. Se requiere un recipiente para cada determinación del contenido de agua.

- Balanza: una balanza con una sensibilidad de 0.01 gr
- Horno: un horno termostáticamente controlado, capaz de mantener temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) para secar las muestras.

3.3.2.3. LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

- Espatula: de hoja flexible, de unos 76.2 mm (3") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- Capsula para evaporación: de porcelana, o similar, de 115 mm (4 1/2") de diámetro.
- Balanza: de 100 g de capacidad con aproximación a 0.01 g.
- Aparato de enrollamiento: para determinar el límite plástico, (opcional). Un aparato acrílico de conformidad con las dimensiones de la norma.
- Recipientes: se debe emplear recipientes apropiados, hechos de material resistente a la corrosión y que no estén sujetos a cambio en su masa o a la desintegración por repetidos calentamientos y enfriamientos. Los recipientes deben tener tapas que cierren a presión para prevenir pérdidas de humedad de la muestra, antes de hacer la

determinación inicial de masa y para prevenir la absorción de la humedad de la atmosfera después de secado y antes de la determinación final de la masa. Se requiere un recipiente para cada determinación de humedad.

- Horno: termostáticamente controlado, regulable a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
- Tamiz: de $425 \mu\text{m}$ (No.40).
- Agua destilada
- Superficie lisa: para amasado y enrollamiento. Usualmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

3.3.2.4. EQUIVALENTE DE ARENA

- Cilindro graduado de plástico: con diámetro interior de $31.75 \pm 0.381 \text{ mm}$ ($1\frac{1}{4} \pm 0.015\text{"}$) y altura de 430.0 mm (17") aproximadamente, graduado en espacios de 2.54 mm (0.1"), desde el fondo hasta una altura de 381 mm (15"). La base del cilindro debe ser de plástico transparente de $102*102*12.7 \text{ mm}$ ($4\text{"}*4\text{"}* \frac{1}{2}$) bien asegurada al mismo.
- Tapón macizo: de caucho o goma que ajuste el cilindro.
- Tubo irrigador: de acero inoxidable, de cobre o de bronce, de 6.35 mm ($1/4\text{"}$) de diámetro exterior, y 0.89 mm (0.035) de espesor, con longitud de 510 mm (20"), con uno de sus extremos cerrado formando una arista. Las caras laterales del

extremo cerrado tienen dos orificios de 1 mm de diámetro (calibre No 60), cerca de la arista que se forma.

- Tubo flexible: (de plástico o caucho) de 4.7 mm (3/16") de diámetro y 1.20 m de largo, aproximadamente, con una pinza que permite cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo conecta al sifón con el tubo irrigador.

- Un botellón: de 3.785 litros (1 galón) de capacidad, destinado a contener la solución de cloruro de calcio; el tapón de este frasco lleva dos orificios, uno para el tubo del sifón y otro para entrada de aire. El frasco se debe colocar a 915 ± 25 mm (36 ± 1 ") de altura sobre la mesa de trabajo.

- Dispositivo para tomar lecturas: Un conjunto formado por un disco de asentamiento, una barra metálica y una sobrecarga cilíndrica. Este dispositivo está destinado a la toma de lecturas del nivel de arena y tendrá un peso total de 1 Kg. La barra metálica tiene 457 mm (18") de longitud; en su extremo inferior lleva enroscado un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra: Figura 2.

- Recipiente metálico: de diámetro 57 mm ($2 \frac{1}{4}$ ") aproximadamente, con una capacidad de 85 ± 5 ml.

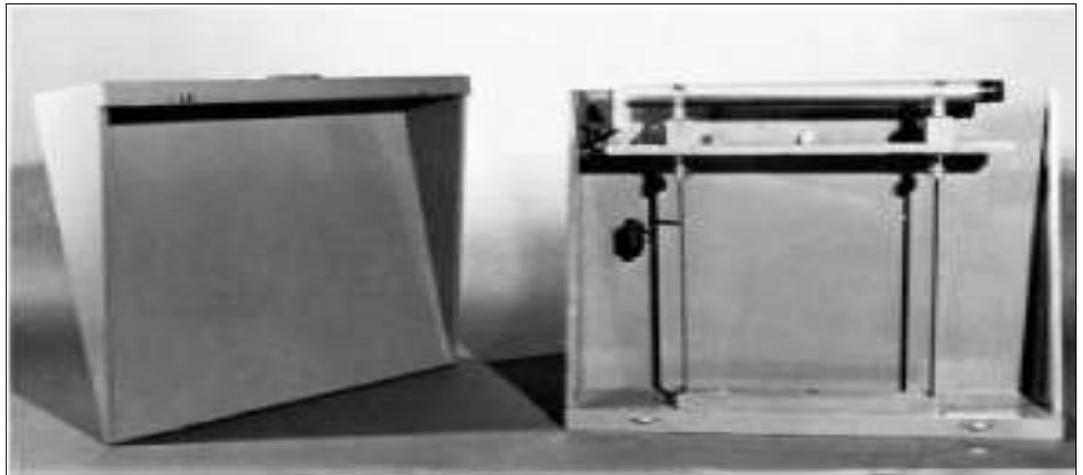
- Embudo: de boca ancha, de 100 mm (4") de diámetro en la base.

- Reloj o cronometro: para lectura de minutos y segundos.

- Un agitador, que puede ser mecánico o manual.

- Mecánico, que tenga una carrera de 203.2 ± 1.02 mm (8 ± 0.04 ") y que opere a 175 ± 2 cpm. (ciclos por minuto).
- De operación manual, que sea capaz de producir un movimiento oscilatorio a una rata de 100 ciclos completos en 45 ± 5 seg. con ayuda manual y un recorrido medio de 127 ± 5.08 mm (5 ± 0.2 "). El dispositivo debe estar diseñado de manera que pueda sostener el cilindro graduado en posición horizontal mientras se somete a movimiento alternativo paralelo a su longitud.

FIGURA 7. AGITADOR DE OPERACIÓN MANUAL



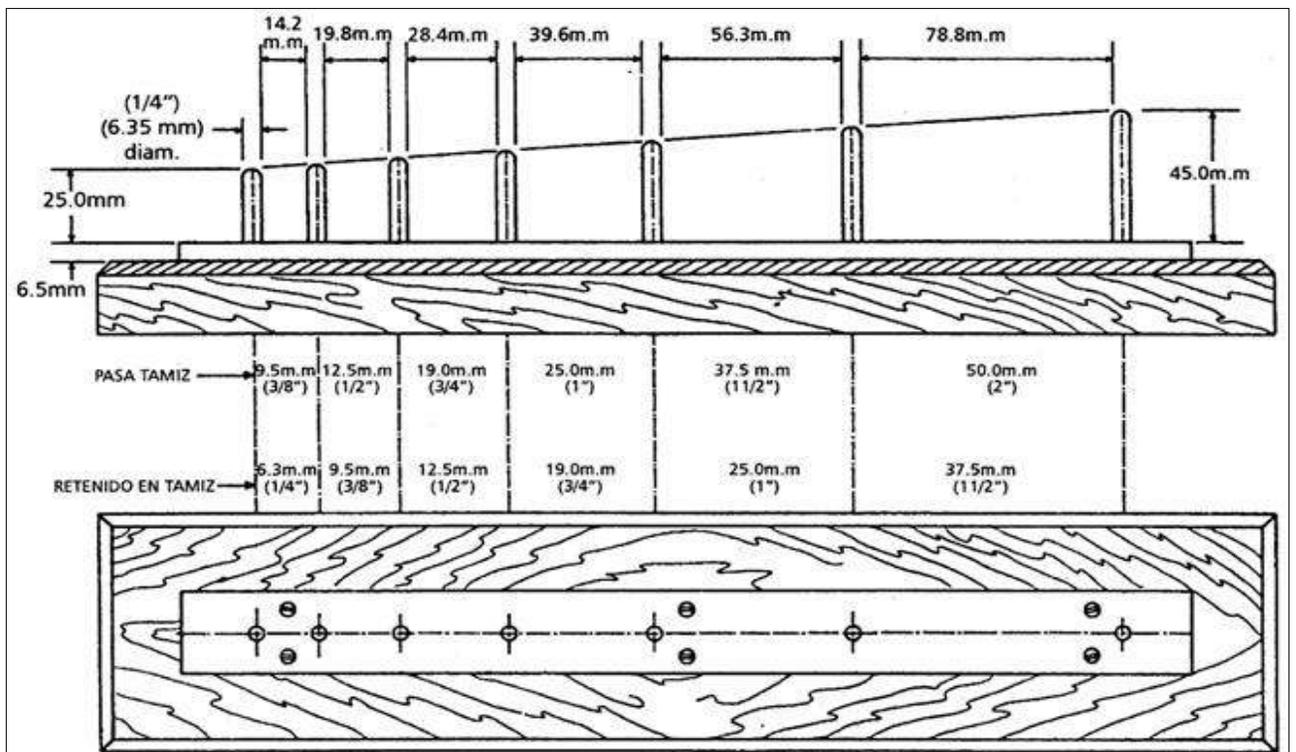
Fuente: Instituto Nacional de Vías. E133 - 3

- Una regla recta: o espátula apropiada para quitar el exceso de suelo del recipiente metálico.
- Un horno secador: controlado termostáticamente, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

3.3.2.5. ÍNDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO

- Tamices de barras: formados por barras cilíndricas paralelas de acuerdo con la figura 2 y con las tolerancias incluidas en la Tabla 1. Las tolerancias indicadas deben aplicar a toda la longitud de la misma.
- Calibradores metálicos: dos juegos de calibradores metálicos, uno de ranuras (calibrador de espesores) y otro de barras (calibrador de longitudes), cuyas dimensiones estarán de acuerdo con lo especificado en las Figuras. No 2 y No 8 y en la Tabla 2. El tamiz de barras paralelas sustituye el calibrador de espesores.

FIGURA 8. CALIBRADOR DE ALARGAMIENTO



Fuente: Instituto Nacional de Vías. E- 230 -5

- Tamices: de los siguientes tamaños de abertura: 6.3 mm (1/4"), 9.5mm (3/8"), 12.5mm (1/2"), 19mm (3/4"), 25mm (1"), 38mm (1½"), 50mm (2") y 63 mm (2 ½").
- Balanza: con una sensibilidad mínima de 0.1 % de la masa de la muestra de ensayo.
- Horno ventilado: horno regulado por un termostato que mantenga la temperatura a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ u otro aparato que permita el secado de los agregados sin causar la rotura de las partículas.
- Quipo misceláneo: cuarteador de agregados, bandejas, etc.

3.3.2.6. RELACIÓN DE HUMEDAD – MASA UNITARIA SECA EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)

- Moldes: los moldes deberán ser cilindros, de paredes sólidas, fabricados con metal y con las dimensiones y capacidades mostradas más adelante. Deberán tener collares ajustables de aproximadamente 60 mm (2.373 ") de altura, que permitan la preparación de muestras compactadas de mezclas de suelo con agua con la altura y el volumen deseados. El conjunto de molde y collar deberán estar constituidos, de tal manera que se puedan ajustar firmemente a una placa hecha del mismo material.
- Un molde de 101.6 mm (4"), con una capacidad de $0.000943 \pm 0.000008 \text{ m}^3$ ($1/30 \pm 0.0003 \text{ pie}^3$) con un diámetro

interior de 101.6 ± 0.41 mm (4.000 ± 0.016 ") y una altura de 116.43 ± 0.127 mm (4.584 ± 0.005 ") (ver Figura 4).

- Un molde de 152.4 mm (6"), con una capacidad de 0.002124 ± 0.000021 m³ (equivalente a $1/13.33 \pm 0.00075$ pie³), con un diámetro interior de 152.4 ± 0.6604 mm (6 ± 0.026 ") y una altura de 116.43 ± 0.13 mm (4.584 ± 0.005 ") (ver Figura 5).

- Martillo

- De operación manual: un martillo metálico con una masa de 4.536 ± 0.009 Kg. (10.0 ± 0.02 lb), que tenga una cara plana circular de diámetro de 50.80 ± 0.25 mm (2.000 ± 0.01 "). El diámetro real de servicio no podrá ser menor de 50.42mm (1.985"). El martillo deberá estar provisto de una guía apropiada que controle la altura de la caída del golpe desde una altura libre de 475 ± 2 mm (18.0 ± 0.06 ") por encima de la altura del suelo. La guía deberá tener al menos 4 agujeros de ventilación, de diámetro no menor de 9.5 mm (3/8"), espaciados aproximadamente a 90° (1.57 rad) y 19 mm (3/4") de cada extremo, y deberá tener suficiente luz libre, para que la caída del martillo y la cabeza no tengan restricciones.

- Cara del martillo: deberá ser circular, aunque se acepta como alternativa un martillo con cara de sector circular. En el informe se deberá indicar si se emplea un tipo de cara usada diferente de la circular de 50.8 mm (2"), de diámetro, pero la utilizada deberá tener un área igual al de la cara circular.

- Dispositivo para extrusión de las muestras: un gato, un extractor u otro dispositivo adecuado que permita sacar por extrusión las muestras del molde.
- Balanzas: una de 11.5 Kg. de capacidad y 5 g de sensibilidad, cuando se usan para pesar moldes de 152.4 mm (6") con suelos húmedos compactados. Cuando se usa el molde de 101.6 mm (4"), puede emplearse una balanza de menor capacidad si la sensibilidad y aproximación es de 5 g. También se requiere otra balanza de 1kg de capacidad con sensibilidad de 0.1 g.
- Horno: termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 + 9^{\circ}\text{F}$) para el secado de las muestras.
- Regla metálica: de acero endurecido, de borde recto, al menos de 250 mm (10") de largo. Deberá tener un borde biselado y al menos una cara plana en sentido longitudinal (usada para el corte final del suelo). El borde biselado se deberá usar para el alisamiento final, si éste es recto dentro de una tolerancia de 0.1 % de la longitud. Sin embargo, con el uso continuado, el borde cortante se puede desgastar excesivamente, en cuyo caso no sería adecuado para enrasar el suelo hasta el nivel del molde. La regla no deberá ser tan flexible que cuando se enrase el suelo con el borde cortante, proporcione una superficie cóncava en la superficie de la muestra.
- Tamices – de 50, 19.0 y 4.75 mm (2", 3/4" y No.4).

- Herramientas misceláneas: tales como cazuelas para mezclado, espátulas, etc., o un dispositivo mecánico adecuado para mezclar las muestras de suelo con diversas cantidades de agua.
- Recipientes: para determinar la humedad de las muestras, elaborados en metal u otro material adecuado, con cierres que ajusten herméticamente para evitar la pérdida de humedad durante el pesaje.

3.3.2.7. RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO)

- Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen. El pistón se aloja en el cabezal y sus características deben ajustarse a las especificadas en la sección 3.7. Debe tener una capacidad suficiente para penetrar el pistón en el espécimen a una velocidad de 1.27 mm/min (0.05"/min) y hasta una profundidad de 12.7 mm (0.5").
- Moldes de metal, cilíndricos, de 152,4 mm \pm 0.66 mm (6 \pm 0.026") de diámetro interior y de 177,8 \pm 0.46 mm (7 \pm 0.018") de altura, provisto de un collar suplementario de 51 mm (2.0") de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8") de espesor. Las perforaciones de la base deberán ser por lo menos uniformemente espaciadas dentro de la circunferencia del molde, no excederán de 1,6 mm (1/16") de

diámetro (Figura 9). La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde.

- Disco espaciador de forma circular, metálico, de 150.8 ± 0.8 mm ($5 \frac{15}{16} \pm \frac{1}{32}$) de diámetro y de 61.37 ± 0.25 mm (2.416 ± 0.01) de espesor (Figura 9), para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- Martillos de compactación como los descritos en las normas INV E – 141 (equipo normal) e INV E – 142 (equipo modificado).
- Aparato medidor de expansión.
- Una placa de metal perforada, por cada molde, de $149.2 + 1.6$ mm ($5 \frac{7}{8} \pm \frac{1}{16}$) de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de $1,6$ mm ($1/16$) de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura (Figura 9).
- Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm (0.001). (Ver Figura 9).
- Sobrecargas metálicas. Unas diez por cada molde, una anular y las restantes ranuradas, con una masa de $2,27 \pm 0.04$ Kg (5 ± 0.10 lb) cada una, $149.2 + 1.6$ mm ($5 \frac{7}{8} \pm \frac{1}{16}$) de

diámetro exterior y la anular con 54 mm de diámetro en el orificio central (Figura 9).

- Pistón de penetración. Cilíndrico, metálico de 49.63 ± 0.13 mm de diámetro (1.954 ± 0.005 "), área de 1935 mm^2 (3 pulg^2) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con la sobrecargas precisas. Nunca menor de 101.6 mm (4").
- Dos diales (deformímetros) con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones en 0.025 mm (0.001"). Uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
- Tanque con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- Horno termostáticamente controlado, regulable a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$)
- Balanzas. Una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 5 g y 0.1 g respectivamente.
- Tamices de 4.75 mm (No.4) y de 19.0 mm (3/4").
- Material diverso de uso general como cuarteador, mezclador, enrasador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.
-

- Horno que pueda mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).
- Tamices de las aberturas indicadas en la Tabla 3.

TABLA 3. GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Masa de la muestra para ensayo (g) Granulometrías			
mm	(alt.)	mm	(alt.)	A	B	C	D
37.5	(1½")	25.0	(1")	1250 ± 25	...	...	...
25.0	(1")	19.0	(¾")	1250 ± 25	...	...	...
19.0	(¾")	12.5	(½")	1250 ± 10	2500 ± 10	...	...
12.5	(½")	9.5	(3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	...	...
9.5	(3/8")	6.3	(¼")	...	...	2500 ± 10	...
6.3	(¼")	4.75	(No.4)	...	...	2500 ± 10	...
4.75	(No.4)	2.36	(No.8)	...	...	...	5000 ± 10
TOTALES				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Instituto Nacional de Vías. E 218 – 2

TABLA 4. GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO

Tamaño del tamiz				Masa de la muestra para ensayo (g) Granulometrías		
Pasa		Retiene		E	F	G
mm	(alt.)	mm	(alt.)			
75 mm	(3")	63 mm	(2½")	2500 ± 50	...	...
63 mm	(2½")	50 mm	(2")	2500 ± 50	...	...
50 mm	(2")	37.5 mm	(1½")	5000 ± 50	5000 ± 50	...
37.5 mm	(1½")	25 mm	(1")	...	5000 ± 25	5000 ± 25
25 mm	(1")	19 mm	(¾")	...	...	5000 ± 25
TOTALES				10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50

Fuente: Instituto Nacional de Vías. E 218 – 3

- Máquina de Los Ángeles. La máquina para el ensayo de desgaste de Los Ángeles tendrá las características que se

indican en la Figura 6. Consiste en un cilindro hueco de acero, con una longitud interior de 508 ± 5 mm (20 ± 0.2 ") y un diámetro interior, de 711 ± 5 mm (28 ± 0.2 "), fabricado con una placa de acero de espesor entre 11.5 y 13 mm.

El cilindro lleva sus extremos cerrados y tiene en el centro de cada extremo un eje, que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que pueda girar en posición horizontal, con una tolerancia en pendiente del 1%, con el eje. El cilindro estará provisto de una abertura de 150 ± 3 mm de ancho, preferiblemente a lo largo del tambor, para introducir y retirar con facilidad la muestra que se desea ensayar, y un entrepaño fijo , para conseguir la rotación de la mezcla y de la carga abrasiva. La abertura podrá cerrarse por medio de una tapa con empaque que impida la salida del polvo, fijada por medio de pernos. La tapa está diseñada de manera tal que se mantenga el contorno cilíndrico interior.

El entrepaño se sitúa entre 380 y 820 mm del borde más cercano a la tapa, de modo que la carga no caiga sobre la tapa durante el ensayo, ni se ponga en contacto con ella en ningún momento. El entrepaño será desmontable, de acero, ocupando longitudinalmente toda una generatriz del cilindro y se proyectará radialmente, y hacia el centro de la sección circular del cilindro, en longitud de 89 ± 2 mm ($3,5 \pm 0.1$ "). Tendrá un espesor de 25 ± 1 mm que permita montarlo por medio de pernos u otro medio apropiado, de forma que quede instalado de un modo firme y rígido. El entrepaño deberá ser sustituido cuando su ancho sea menor de 86 mm en cualquiera de sus puntos y su espesor sea menor de 23 mm.

La máquina será accionada y contrabalanceada en forma tal, que debe mantener la velocidad periférica básicamente uniforme. Si se utiliza un perfil angular como entrepaño, el sentido de rotación debe ser tal que la carga se recoja sobre la superficie exterior del perfil.

La pérdida de velocidad y el deslizamiento del mecanismo de transmisión son causa frecuente de que los resultados del ensayo no coincidan con los obtenidos en otra máquina de desgaste de Los Ángeles, con velocidad periférica constante.

La base de la máquina deberá estar apoyada sobre un piso de concreto o de bloques de roca, convenientemente nivelado.

- Carga abrasiva. La carga abrasiva consistirá en esferas de acero, de un diámetro aproximado de 46.8 mm (1 27/32") y una masa comprendida entre 390 g y 445 g.

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D, de acuerdo con la Tabla 5.

TABLA 5. CARGA ABRASIVA

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Masa Total g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: Instituto Nacional de Vías. E 219 - 2

3.4.CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN

La población beneficiada con la realización de este proyecto, en primer lugar son los habitantes de la Vereda Hato Parpa, del municipio de Socotá, Boyacá que son aproximadamente 830 habitantes, ya que la implementación del material estéril del carbón como afirmado, base y subbase de la estructura del pavimento reduce la contaminación que genera el material en los acopios alrededor de la mina. Por otra parte, la utilidad que se le da a este material beneficia al usuario que transita por las vías, el cual busca confort en su recorrido ya que lo anterior se ve reflejado en una parte económica importante. En un perfecto estado de las vías, los daños en el vehículo del usuario se minimizan y en consecuencia sus costos de operación, también son menores.

El municipio de Socotá tiene 53.8 Km de vía en mal estado. En gran parte el mal estado de las vías es propiciado por el paso de volquetas, las cuales transportan 20 toneladas de carbón por viaje. El buen estado de las vías, refleja el desarrollo de una región y el mejoramiento de vida de la población que para el caso del municipio de Socotá es de 15.205 habitantes según el esquema de ordenamiento territorial del municipio. Así se incrementa el nivel de educación y desempeño social de la población. De esta manera se tienen mejoras significativas de empleo y un nivel económico creciente, ya que las vías principales para el uso del material son de segundo y tercer orden. Además este material debido a su bajísimo costo, ya que es un material al cual se le da un mínimo uso y por tanto no presenta un mayor valor

económico, de cierta forma presenta una ventaja para el arreglo de las carreteras. Para ello, es importante tener presentes las recomendaciones dadas en la mezcla con los 3 materiales en estudio, de este proyecto y su respectiva dosificación.

3.5. DESARROLLO DE LAS HERRAMIENTAS

3.5.1. MATERIAL ESTÉRIL DEL CARBÓN

Para este material se llevaron a cabo los siguientes laboratorios:

3.5.1.1. GRANULOMETRÍA

La muestra para el ensayo se obtuvo por medio de cuarteo manual, según la norma INV E – 202. Al estéril, completamente mezclado y con suficiente humedad, para evitar la segregación y pérdida de finos, se decidió a cuartearlo, de forma manual. Esta muestra para el ensayo tenía una masa seca y consistía en una fracción completa de la operación de cuarteo. El estéril del carbón es un material que se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, por tal razón el análisis con tamices se efectuó sin previo lavado.

Se seleccionó un grupo de tamices de tamaños adecuados para suministrar la información requerida por las especificaciones del material. En este caso se usaron los tamices (2 ½”, 2”, 1 ½”, 1, ¾”, ½”, 3/8”, 4, 10, 40, 200, fondo) de

mayor abertura a menor abertura. Se encajaron los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura y se colocó 5882.7 gr de estéril sobre el tamiz superior y se agitaron los tamices a mano, durante un periodo adecuado.

Se determinó la masa de la muestra retenida en cada tamiz, con una balanza. Luego se suma cada una de las masas retenidas en cada tamiz de manera que la masa de los tamices sea muy próxima a la masa de la muestra original colocada sobre los tamices. Según los datos de laboratorio se determinó que no era posible realizar los siguientes ensayos correspondientes a base y subbase de la estructura del pavimento debido a la cantidad de finos. (Anexo A)

3.5.1.2. RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

La muestra destinada al ensayo se obtuvo empleando el procedimiento descrito en la norma INV – 201 y se redujo a un tamaño adecuado para el ensayo, según la norma INV E – 202. Se eligió la gradación más parecida al agregado que se va a usar en la obra. Se separó la muestra en las fracciones indicadas en la tabla, de acuerdo con la granulometría elegida. Se tomó la cantidad de cada una de ellas hasta obtener el requerimiento para el tamaño de la muestra total. Se registró la masa de la muestra total, aproximada a 1g. Las muestras de las diferentes fracciones se unieron para formar la muestra de ensayo.

Luego de comprobar que el tambor estuviera limpio, se pusieron la muestra y la carga abrasiva, correspondiente a 12 esferas, en la máquina de los ángeles y se hizo girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/min (30 y 33 r.p.m.) hasta completar 500 revoluciones. La máquina giró de una manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descargó el material del cilindro y se procedió con la separación preliminar de la muestra ensayada, empleando un tamiz de abertura mayor al de 1.70 mm (No 12). Se determinaron las pérdidas y el porcentaje de desgaste (Anexo B).

3.6. RESULTADOS

Todo proceso, debe ser evaluado en sus diferentes etapas de desarrollo para ir verificando el logro de los objetivos propuestos y valorando los resultados. Con gran satisfacción se pudo comprobar que los objetivos trazados desde el inicio, se han venido cumpliendo a cabalidad, porque al lado de las tareas propuestas y desarrolladas, han venido surgiendo otras que contribuyen a continuar lo iniciado. Se presenta a continuación los resultados que se obtuvieron con el desarrollo de este proyecto.

Resultados ensayo de granulometría:

No PLATON	50	
PESO PLATON	200.1	gr
PESO MUESTRA SIN LAVAR MAS PLATON	5882.7	gr

TAMIZ	PESO RETENIDO
2 1/2	1047.9
2	733.9
1 1/2	1343.5
1	934.1
3/4	274.6
1/2	510.4
3/8	205.8
4	315.2
10	166.1
40	100.5
200	35.2
FONDO	12.9

Fuente: autores del proyecto, junio, 2012

Resultado ensayo de Desgaste en la máquina de los ángeles:

Prueba No	1
Gradacion usada	A
No esferas	12
No de revoluciones	500
Peso muestra seca antes del ensayo gr.	5002
Peso muestra seca depues del ensayo gr.	2944.6
Perdida	2057.4
% Desgaste	41.10%

Fuente: autores del proyecto, junio, 2012.

3.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizaron los ensayos de laboratorio para caracterizar los estériles del carbón de la mina “Los Amarillos” de la vereda Hato Parpa, del municipio de Socotá, Boyacá, ya que éste es el material base para este proyecto. De estos ensayos se determinó que el material no sirve en su estado natural como material de base y sub base para la estructura del pavimento, puesto que se realizaron los laboratorios de granulometría con una muestra de estéril de 5882.7 gr., y se obtuvo que el porcentaje que pasa el tamiz No 10 es 2.82 % y la masa retenida en este mismo tamiz es de 5716.6 gr. La cantidad de finos es de 12.9 gr, lo cual indica que no se pueden realizar ensayos de límites, puesto que el bajo contenido de finos no lo permite. Entonces, los ensayos de laboratorio que exige la norma Invías como son: índice de plasticidad, equivalente de arena, compactación modificada de cada una de las muestras, CBR en laboratorio, Índice de aplanamiento, índice de alargamiento, porcentaje de caras fracturadas para base y sub base no se pueden realizar.

Con base en lo anterior se determinó llevar a cabo el ensayo de desgaste en la máquina de los Ángeles, con 5002 gr de estéril, para así determinar si el material sirve como afirmado para vías usando una gradación tipo A con 12 esferas y 500 revoluciones. Después de este ensayo se obtuvo una muestra, terminado el ensayo de 2944.6 gr, lo cual hizo concluir que se presentó una pérdida de material de 2057.4 gr. Esto significa que existe un desgaste del 41.1%, lo cual lo convierte en un material óptimo para afirmado en carreteras, ya que la norma

Invías acepta un material como material de afirmado si su desgaste es menor al 45%.

4. CONCLUSIONES

- Según el laboratorio de desgaste realizado en la máquina de los Ángeles, el cual pide la norma Invías para determinar el desgaste de un material, para el caso presente el estéril del carbón, se logró determinar que este sirve en las vías como material de afirmado ya que tiene un desgaste de 41.1% y la norma ya antes mencionada acepta un material como material de afirmado, siempre y cuando este tenga un desgaste menor al 45%.
- En el desarrollo de los ensayos de laboratorio que exige la norma Invías, para determinar si un material es apto como base y sub base, en la estructura del pavimento, se determinó que este material estéril del carbón por sí solo no es apto, ya que debido a la poca cantidad de finos en el material este no cumple con los ensayos correspondientes a límite líquido, límite plástico y equivalente de arena.
- Para cumplir con las especificaciones del Invías se desarrollaran los laboratorios para base y sub base haciendo una serie de mezclas con materiales tales como el recebo, ceniza del coque y cemento a los cuales se aplicaran los mismos ensayos de laboratorio hechos al estéril. Después de hacer estos laboratorios se busca encontrar la dosificación adecuada para que los estériles sean utilizados como base y sub base en la estructura del pavimento. Este procedimiento se encuentra en desarrollo

Anexo B. Datos Resistencia al Desgaste Maquina de los Angeles

 UNIVERSIDAD SANTO TOMAS - TUNJA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE GEOTECNIA	
RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS EN MAQUINA DE LOS ANGELES (INV E-218/07, INV E-219/07)	
Proyecto: <i>Exteral de Carbon - Afirmado - Base - Subbase</i> Fecha: <i>29-02-2012</i>	
Descripción del material:	
Procedencia: <i>Hina "Los Amayillos" Vereda</i> Muestra N°: <i>1</i>	
<i>Halo Paipa - Seccda Boyaca</i>	
1.- Prueba No.	<i>1</i>
2.- Gradación usada (A, B, C, D, E, F, G)	<i>A</i>
3.- N° Esferas	<i>12</i>
4.- N° de Revoluciones	<i>500</i>
5.- Peso Muestra Seca antes del ensayo gr.	<i>5002</i>
6.- Peso Muestra Seca despues del ensayo gr.	<i>2944.6</i>
7.- Pérdida (5 - 6) gr.	<i>2057.4</i>
8.- % Desgaste $(7 / 5) \times 100$	<i>41.17%</i>
9.- Especificación : % menor de:	
Observaciones:	
LABORATORISTA	Vo.Bs.

Fuente: Los Autores del Proyecto. Fecha: 29 – 02 - 2012

Anexo A. Datos Análisis granulométrico de suelos y agregados por tamizado



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CENSO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
Experiencia y Calidad

LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS Y AGREGADOS POR TAMIZADO
I.N.V. E - 123, I.N.V. E - 213

FECHA: 27/02/2012 OBRA: Mina Los Amarillos ENSAYO No. 01

TIPO DE ENSAYO: _____ MUESTRA No. 1 Estéril Carbon

LOCALIZACIÓN: Vereda Mato Parpa
Socotá - Boyacá

No. Platon	50	
Peso platon (W_p)	820.1	gr
Peso muestra sin lavar mas platon (W_{p+ms})	5882.7	gr
Peso muestra lavada mas platon (W_{p+ml})		gr
Peso muestra seca + platon (W_{p+ms}) lavada		gr
Peso muestra seca (W_{ms}) lavada		gr

Tamiz No.	Peso tamiz (gr)	Peso retenido + Fondo (gr)
2 1/2		1043.9
2		733.9
1 1/2		1343.5
1		934.1
3/4		274.6
1/2		510.4
3/8		205.8
1/4		315.2
10		166.1
40		100.5
200		33.2
FONDO		12.9
		5680.1

Realizado por

Alejandro Rodriguez
Yuri Vargas

Fuente: Los Autores del Proyecto. Fecha: 29 - 02 - 2012

BIBLIOGRAFIA

CASTELLS, Xavier Elías. Reciclaje de residuos industriales: Aplicación a la fabricación de materiales para la construcción, Madrid: Editorial Díaz de Santa, 2000.

CERDA, Hugo. Elementos de la investigación, Bogotá: Editorial EL Buho, 1998.

DAC CHI, N.; “Empleo de los derechos de minas de carbón y escorias metalúrgicas en Europa”, Carreteras, Núm. 69,71-76.1994.

ESTERAS GONZALEZ, S.; JIMENEZ SAEZ, R.; IBARZABAL OSET, J.L.; GONZALEA CAÑIBANO, J.; RUIZ RUBIO, A. “Utilización de los estériles del carbón como materiales para capas de firmes. I Características y ensayos de lixiviación”, Ingeniería Civil, Cedex, Núm. 95, 1994.

GONZALEZ CAÑIBANO, J.; PEREZ VALLE, J.J.; ESTERAS GONZALEZ, S.; JIMENEZ SAEZ,R.; RUIIZ RUBIO, A.. “Utilización de los estériles del carbón como materiales para capas de firmes. II Empleo de los estériles del carbón como materiales para capas de firmes. II Empleo de los estériles del carbón tratados con cemento”, Ingeniería civil, Cedex, Núm. 103, 1996.

GONZALEZ, J. Y GARCIA, M., “Utilización de los estériles negros de escombreras de carbón en la construcción de

terraplenes”, Boletín de Información del Laboratorio de Carreteras y Geotecnia, núm. 165, 1984, pp. 3 -13

GONZALEZ CAÑIBANO, J.; GARCIA, M.; FERNANDEZ, J.M. “Utilización de los estériles del carbón en la construcción de firmes de carreteras”, VII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Barcelona, 1994.

GONZALEZ CAÑIBANO, J. “Composición mineralógica de los estériles de hulla y antracita en España”, IX Congreso Internacional de Minería Industria, minera, mayo, 1991.

GUTIERREZ CLAVEROL. Manuel y LUQUE CABAL, Carlos. Recursos del subsuelo de Asturias. Servicio de Publicaciones: Universidad de Oviedo. España, 1992.

HINOJOSA CABRERA, J.A.; GONZALEZ CAÑIBANO, J. “Utilización de los estériles del carbón en carreteras”, XII Congreso Mundial de la IRF, Tomo II. Madrid, mayo, 1993.

INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Imprime: Rivadeneira. S.A. 2008.

JIMENEZ, S., “Utilización de estériles de carbón en terraplenes de carreteras de la comunidad de Castilla y León”, Actas del V Congreso Nacional de Firmes, pp. 197 – 202. 2000.S

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO CON ADICIÓN DE ESTÉRILES DEL CARBÓN.

CASO: MINA LOS ARRAYANES

EDNA SHIRLEY AVILA AMEZQUITA
ANDRES DAVID SOTO RUBIO

GLOSARIO

ARCILLA: es una sustancia mineral terrosa constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedente de la descomposición de minerales de aluminio.

CALAMAGROSTIIS EFFUSA: es una planta que habita en los páramos y alcanza de 12 a 60cm de altura.

CANTERA: explotación minera generalmente a cielo abierto en las que se obtienen rocas y/o piedras minerales.

CARBÓN: es un tipo de roca sedimentaria de color negro, formada por elementos químicos carbonosos, suele localizarse bajo una capa de pizarra y sobre una capa de arena y arcilla.

ESCOBRERA: las actividades mineras producen gran cantidad de materiales de desecho, formando un problema de almacenamiento en condiciones adecuadas de estabilidad, seguridad e integridad en el entorno. A estos sitios se les llama escombreras.

ESTRATO: es un conjunto de elementos en forma de capas que constituyen los terrenos sedimentarios.

FRAGUADO: proceso de solidificación y pérdidas de la plasticidad inicial que tiene lugar en el hormigón, mortero, cemento entre otros, por desecación y cristalización del material.

MINA: es un lugar subterráneo, generalmente ubicado en zonas montañosas. Se construye mediante excavación y de allí se obtiene material selectivo de minerales y otros materiales de la corteza terrestre.

GRAVA: conjunto de fragmentos de piedras, procedente de minerales, que se puede usar en la pavimentación de caminos y en construcciones civiles.

PAVIMENTO RÍGIDO: es un tipo de vía compuesta por una sub-base, la cual proporciona un apoyo uniforme para la losa. Ésta se fabrica en concreto hidráulico y proporciona al tránsito una superficie estable, impermeable, uniforme y textura adecuada.

RESTAURAR: procesos dedicados a la preservación y recuperación de espacios, elementos y materiales diversos.

RESUMEN

La explotación de carbón trae grandes consecuencias, entre ellas el impacto ambiental que genera, por todos los desechos que produce, como el estéril del carbón. Colombia tiene una producción de carbón aproximada de 80 millones de toneladas al año generando en esta un promedio del 20% de estériles, es decir, 16 millones de toneladas. Se generó en el sentir investigativo la necesidad de conocer el destino asignado a este producto, encontrando que es desechado en escombreras. Estos escombros contienen compuestos de sílice, óxido de hierro y azufre, entre otros, que son considerados potencialmente peligrosos para el medio ambiente y el ser humano. El estéril ocupa grandes espacios físicos que pueden ser utilizados para acciones de carácter productivo como la agricultura y que por otra parte crea efectos negativos de presentación visual.

De esta forma, después de indagar lo antes descrito y obrando en la condición de estudiantes de Ingeniería Civil, se tomó como pautas de acción: la asesoría y formación académica, la orientación profesional y el reto de gestar una tarea significativa, para emprender la presente investigación. Se parte de la realidad minera y ecológica del Departamento de Boyacá, específicamente en el Municipio de Samacá, Vereda La Chorrera, donde se encuentra la mina “Los Arrayanes”, con una producción de 823,5 toneladas de estéril anual. Esta mina es la referencia de estudio para convertirlo en agregado en la mezcla de concreto hidráulico, para el diseño de pavimentos rígidos. Inicialmente se establecieron los materiales a utilizar

como la grava, arena y cemento. Se hallaron sus características para la conformación del diseño de mezcla. Posteriormente, a esta mezcla se le variaron los porcentajes de agregado fino o grueso, siendo remplazados por estéril. Con las diferentes proporciones de agua, cemento, arena, grava y estéril se elaboraron las probetas de ensayo, se fallaron a compresión a los 3, 14, 28 y 56 días de fraguado. Adicionalmente las mezclas también se sometieron a ensayos de asentamiento, relación agua-cemento y las más resistentes a compresión y al ensayo a flexión, para determinar el modulo de rotura. Entonces, se recopiló toda la información resultante de los laboratorios y posteriormente se hizo el análisis de resultados. Se determina que el estéril tiene que pasar por un proceso de trituración para poder ser parte de la mezcla del concreto hidráulico, remplazando la arena o la grava. Este proyecto permite darle solución a una problemática minera y ambiental reconocida, a través de la ingeniería civil, interviniendo mediante un plan de investigación lógico y consecuente en procura de lograr los objetivos diseñados para este estudio.

INTRODUCCIÓN

La producción minera en Colombia y en el mundo ha marcado a través de la historia un alto índice de relevancia, dada la calidad de los productos que se explotan. En este orden de ideas, el carbón se ha reconocido como uno de los minerales más comercializados, por los efectos energéticos que produce y por las posibilidades de aprovechamiento que genera. El proyecto de investigación adelantado, surgió de la sonoridad e

importancia que el mineral carbonífero destaca y se amparó en la formación académica recibida durante la carrera de Ingeniería Civil. Se efectúa un proceso coherente y ordenado, partiendo de un todo hasta llegar a descubrir una problemática que exigirá la gestión de acciones de calidad.

El propósito particular de esta investigación radicó principalmente en el hecho de tratar lo relacionado con el estéril del carbón, desde su almacenamiento, hasta los efectos que genera a nivel ambiental, visual y ecológico. Se buscó en el entorno a este aspecto, las posibilidades de darle un acertado uso, que para este caso se fundamentó en el hecho de utilizarlo como agregado fino y grueso para la mezcla de concreto hidráulico. Se tiene en cuenta, las buenas condiciones que presenta el pavimento rígido, en cuanto a su resistencia, nivel de durabilidad y poco mantenimiento.

El presente trabajo tiene importancia ya que da solución al impacto ambiental producido por los desechos estériles en la explotación de minas de carbón. El estéril del carbón, al ser desechado en las zonas aledañas de la mina contamina el aire, ya que contienen compuestos como lo son el dióxido de silicio, óxido ferroso y aluminio. Estos generan problemas respiratorios a quienes lo inhalan. Alrededor de la mina “Los Arrayanes” existen 7 casas y una escuela primaria, con 4 habitantes por cada casa y 83 personas en la escuela entre estudiantes y profesores. En total son 111 personas afectadas por la contaminación producida por el estéril. Paralelo a esto, el estéril dejará de ocupar grandes espacios que se utilizarán para silvicultura y agricultura. Tan solo el 6% del territorio del

mundo es apto para la agricultura y el estéril del carbón posee propiedades mínimas orgánicas para la producción agrícola. Así pues, se le da un buen manejo a estos residuos de la explotación minera.

De acuerdo a los estudios técnicos efectuados, dan prueba fehaciente del beneficio que ofrece este proyecto. Las personas solicitan vías seguras, sin deformaciones, con mejores condiciones de manejo, frenado, de calidad, confortables, económicas, duraderas, con mayor vida útil, de alta resistencia y menor mantenimiento. Por esta razón es de vital importancia elaborar pavimentos con estas condiciones, siendo el diseño en pavimento rígido el más apropiado. Se crea un diseño de mezcla de concreto más económico pero igualmente resistente, con ayuda del estéril de carbón como agregado en la mezcla de concreto hidráulico.

El proceso de experimentación y estudio se inició en la mina de carbón “Los Arrayanes” ubicada en el Municipio de Samacá, Vereda “La Chorrera”. Se tienen en cuenta aspectos como, el planteamiento del problema, que respondió al impacto ambiental y visual que genera el estéril del carbón, basado en la posibilidad de darle a éste, el tratamiento de almacenamiento y uso adecuados, hasta llegar a convertirlo en un material agregado para el concreto hidráulico. Este proceso se llevó a cabo principalmente en el laboratorio, donde se realizaron todos los procesos experimentales para la caracterización del estéril del carbón, al igual que del agregado grueso y fino. En ese momento se presentó una limitante muy importante ya que al buscar la grava y la arena

apropiada para la mezcla del concreto, no cumplió la primera meta con los lineamientos escritos en la norma del INVÍAS 2007. En la ciudad de Tunja existen pocos materiales apropiados para este fin, por tal razón fue necesario traerlos de la ciudad de Sogamoso, porque allí se produce el material apropiado. Se efectuó el diseño de mezcla para una resistencia de 3000psi y de allí se partió para variar los porcentajes. Posteriormente se consideraron porcentajes posibles de estéril como agregado grueso o fino, para la obtención de las resistencias. Con las diferentes proporciones de agua, cemento, arena, grava y estéril se elaboraron las probetas de ensayo y éstas se fallaron a compresión. Estas mezclas también fueron sometidas a ensayos de asentamiento y relación agua-cemento y a las mezclas más resistentes a compresión se les llevó a cabo el ensayo a flexión.

Así se cumple con el objetivo de obtener la dosificación óptima, a partir del establecimiento de la resistencia a compresión, módulo de rotura y asentamiento, en las mezclas de concreto hidráulico, utilizando el estéril de carbón proveniente de la mina “Los Arrayanes”, como un porcentaje del agregado grueso y fino en pavimentos rígidos. Como se puede ver, este proyecto puede ser la solución al desaprovechamiento de los estériles provenientes de la explotación en las minas del carbón, además de ayudar al medio ambiente y a la comunidad, ya que mejorando las vías se aporta al desarrollo económico y a la calidad de vida inicialmente de los habitantes de las ciudades de Tunja y Samacá.

A través del planteamiento de objetivos medibles y alcanzables, se fue dando curso a las acciones requeridas, para su efecto, realizando los estudios y experimentaciones necesarias con ensayos de laboratorio, a fin de concretar las posibilidades de solucionar la problemática detectada inicialmente. Se conto con el análisis minucioso de dichas experiencias y el estudio técnico de los resultados obtenidos. Se reafirmó el propósito de utilizar el estéril del carbón como material de agregado en la construcción del concreto hidráulico, para elaborar pavimentos rígidos, teniendo como premisas de garantía la durabilidad del mismo y el nivel de resistencia y conservación que ofrece.

1. OBJETIVOS Y PREGUNTAS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener la dosificación óptima, a partir del establecimiento de la resistencia a compresión, módulo de rotura y asentamientos, en las mezclas de concreto hidráulico, utilizando el estéril de carbón proveniente de la mina “Los Arrayanes”, como un porcentaje del agregado grueso y fino en pavimentos rígidos.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer las características del estéril del carbón, proveniente de la mina Los Arrayanes, del agregado grueso y del agregado fino, a través de ensayos de granulometría,

desgaste, peso específico, masa unitaria suelta y compacta y densidad.

Determinar las resistencias a compresión de las mezclas con diferentes porcentajes de estéril del carbón, como agregado grueso y fino, a través del ensayo de rotura de cilindros de concreto.

Determinar las resistencias a flexión de las diez mezclas que arrojen los resultados óptimos, con diferentes porcentajes de estéril del carbón como agregado grueso y fino, a través del ensayo de rotura de vigas en concreto, método de tres apoyos.

Determinar el asentamiento de las mezclas, con diferentes porcentajes de material estéril como agregado grueso y fino. Hallar los costos en el diseño de la mezcla de concreto hidráulico adicionando estéril de carbón, procesados en la mina “Los Arrayanes”, de las mezclas óptimas.

1.2. PREGUNTA GENERAL

¿Cuál es la dosificación óptima, a partir del establecimiento de la resistencia a compresión, módulo de rotura y asentamientos, en las mezclas de concreto hidráulico, utilizando el estéril de carbón proveniente de la mina “Los Arrayanes”, como un porcentaje del agregado grueso y fino en pavimentos rígidos?

1.2.1 PREGUNTAS ESPECÍFICAS:

¿Cuáles son las características del estéril del carbón, proveniente de la mina de Los Arrayanes, del agregado grueso y del agregado fino, a través de los ensayos de granulometría, densidad relativa, peso específico, límites y humedad?

¿Cuáles son las resistencias a compresión, de las mezclas con diferentes porcentajes de estéril del carbón como agregado grueso y fino, a través del ensayo de rotura de cilindros de concreto por compresión?

¿Cuáles son las resistencias a flexión de las mezclas óptimas, con diferentes porcentajes de estéril del carbón como agregado grueso y fino, a través del ensayo de rotura de vigas en concreto, con el método de tres apoyos?

¿Cuál es el asentamiento de las mezclas, con diferentes porcentajes de material de estéril, como agregado grueso y fino?

¿Cuáles son los costos en el diseño de la mezcla de concreto hidráulico adicionando estéril de carbón procesados en la mina “Los Arrayanes”, de las mezclas óptimas?

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A través del tiempo y de la historia se ha conocido la trayectoria que a nivel minero ocupa el carbón, como mineral importante por las utilidades que de él se logran. Así mismo, son conocidos todos los desechos venenosos productos de esta explotación. Existen estudios que se refieren a información relevante respecto al tratamiento y la utilización de

estos desechos, como lo es el estéril del carbón. Aún no se le ha dado la trascendencia que ocupa y tan sólo se han hecho estudios elementales sobre la contaminación, pero el perjuicio que genera en la contaminación del medio ambiente y en la ocupación de amplios espacios de terreno es alarmante. A esto se le suma, la falta de conocimiento de quienes manejan dichos materiales, que se convierten en agentes directos de destrucción ecológica y ambiental, debido a que no hay orientación sobre lo delicado que resulta este asunto.

El carbón suministra el 25% de la energía primaria consumida en el mundo. También es de las primeras fuentes de energía eléctrica, con 40% de la producción mundial. Colombia es un país con trayectoria en práctica carbonera, contando con 2.200 registros mineros legales en el Ministerio de Minas y Energía y el Instituto Colombiano de Geología y Minería, Ingeominas, teniendo una producción aproximada de 80 millones de toneladas en el año. Se tiene establecido que en promedio 25% son estériles del carbón, es decir 20 millones de toneladas. El aumento en la demanda mundial de metales preciosos y energéticos, como lo es el carbón proyectado por el Ministro de Minas y Energía, generan un crecimiento en el sector minero que conlleva no solo un aumento de producción de carbón sino también de sus desechos. Al respecto Annie Leonard en su libro La historia de las Cosas expresa que: “la minería se trata de un proceso sucio, de uso hídrico y energético intensivo, que vomitan desechos a menudo venenosos. Se desalojan comunidades, se violan los

desechos de los trabajadores y los subproductos ponen en riesgo la salud de todos en nombre de la minería”⁴³.

Debido a la explotación del carbón, muy útil en la industria y desarrollo económico de las regiones, se genera también el material estéril, el cual en la actualidad, se amontona en zonas próximas a la mina formando escombreras. Entonces, debido a que no tiene ninguna clase de utilidad, por ahora, se crea un claro ejemplo de desechos venenosos y subproductos que ponen en riesgo la vida y la salud humana, al igual que generan contaminación del medio ambiente.

El material residual contiene, principalmente, compuestos de dióxido de sulfato, aluminio y óxido de hierro. Estos contaminan el aire por emisión de partículas en suspensión debido a la erosión eólica y este mismo aire es respirado por los habitantes de la región aledaña a la mina, quienes al exponerse a inhalaciones repetidas de polvo que contiene dióxido de silicio en forma cristalina, puede causar una enfermedad pulmonar llamada silicosis. Igualmente el almacenamiento de este desecho al tener un contenido de aluminio, también afecta la salud humana por aspiración en altas cantidades generando problemas respiratorios.

El estéril almacenado en condiciones inadecuadas, como las actuales, también afecta la flora y la fauna, pues en peces puede acumularse en las branquias y afectar el sistema de Intercambio de oxígeno. Por otra parte, el polvo de óxido de

⁴³LEONARD, Annie. La historia de las cosas. Bogotá: Fondo de cultura económica, 2011, pág. 66.

hierro, normalmente resulta en el desarrollo de una neumoconiosis. En cantidades menores el estéril del carbón presenta cobre, zinc, cromo, cadmio, manganeso, titanio y arsénico, que se consideran potencialmente peligrosos para el medio ambiente. Los iones de cobre, zinc, cadmio, cromo y arsénico, son lixiviados en el drenaje ácido a la intemperie, con contribuciones tóxicas probadas de cobre y cromo, de acuerdo a ensayos de toxicidad⁴⁴.

Cuando el agua de esorrentía entra en contacto con los estériles, generan aguas turbias las cuales afectan procesos fotosintéticos del hábitat de la vida acuática, plantas, alterando el ciclo alimenticio del ecosistema. Además, estas esorrentías de agua, crean grietas en las escombreras, las cuales con el tiempo se van profundizando, hasta causar desprendimientos, deslizamientos o remoción en masas. Así afectan la flora, fauna, y produciendo situaciones de desastre. Las escombreras de estéril producen una alteración drástica del paisaje, generando impacto visual en los terrenos alterados por su forma natural. Los lixiviados de este material estéril causa contaminación al suelo y por esta vía afectan la vegetación. Así mismo, se produce contaminación del aire por emisión de partículas en suspensión.

En Boyacá, específicamente en el municipio de Samacá, vereda La Chorrera, se encuentra la mina “Los Arrayanes”, la cual desde el año 1991 ha realizado la explotación de carbón.

⁴⁴REYES CUELLAR, Julia C y VAZQUEZ, Mario. Remedación electroquímica, a escala laboratorio, del estéril de carbón en Paz de Río, ISSN 0872. vol.27, no 3 Colombia: Port. Electrochim, 2009, p. 410.

Ha teniendo una producción diaria de 25 toneladas de carbón, de la cual el 9% es de estéril, produciendo 2,25 toneladas diarias, es decir 823,5 toneladas de estéril anual. Asumiendo la densidad del estéril de 1,26 t/m³, serian 653,57 m³ y si se toman las escombreras a una altura de 2 metros serian 326,78 m² el área ocupada por el estéril. Este es un valor mínimo, ya que la mina “Los Arrayanes” es una de las minas más pequeñas. Existen minas como el Cerrejón que produce 43,7 millones de toneladas de carbón al año es decir, que las escombreras de estéril ocupan un área aproximada de 7 millones de metros cuadrados⁴⁵. Este espacio debería ser utilizado con fines agrícolas, silvicultura o agropecuarios, entre otros.

Del estéril se han utilizado porciones mínimas en la parte agrícola. El Ingeniero Víctor Uriel Amézquita, ingeniero agrónomo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y actual gerente de la empresa Agroactiva, ha utilizado el estéril del carbón como retardante de crecimiento de las plantas. El estéril del carbón contiene muy poco material orgánico e impide el desarrollo normal de las plantas. El estéril ha sido utilizado como relleno, de forma ilegal, en la venta del carbón. Este proceso se genera cuando los mineros venden el carbón, amontonan los estériles en las volquetas, en la parte intermedia, debido a sus características ópticas tan semejantes.

⁴⁵ DINERO. Producción de carbón en Colombia creció 15,5% en 2011. 16 de Febrero del 2012.

En el departamento de Boyacá el estéril se usa actualmente como abono para optimizar la calidad de los cultivos de sábila en el Municipio de Villa de Leyva y en gran parte como agregado junto al carbón para las calderas de los hornos que se usan en la calcinación de cal o ladrillo, ya que éste cuenta con pequeñas partículas de carbón en su formación y éstas hacen que al unirlo con carbón sirva como material flameable. Algunas minas de carbón subterráneas, no desechan el estéril completamente, sino que tratan de usarlo como relleno interno de la mina. Pero aun así, el mayor porcentaje de estéril es expulsado de la mina, ya que es necesario, para permitir el paso en la extracción del carbón.

2.2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS:

En la búsqueda de antecedentes bibliográficos, no se encontró un trabajo de la mezcla de concreto con estéril del carbón. Pero si se accedió a diferentes estudios para la utilizan el estéril, sobre todo en el área agrícola. En este aspecto sobresale el artículo de la revista Avances Investigación en ingeniería, edición número 12, llamado “Incorporación de sustratos, orgánicos producidos en minas de carbón, para la revegetación en zonas de paramo”. Este habla de una investigación que se ejecutó por la explotación de carbón desechando estériles, afectando el suelo, vegetación y aguas con este material. Se caracteriza a la vegetación nativa del área de influencia de la mina. Según su fácil propagación y adaptabilidad se determinan tres especies para el estudio: *Ageratina Aristei*, *Calamagrostis Effusa* y *Ortbrosantus Ckymboracensis*. Con estas plantas se diseña la

revegetalización estableciendo tres sustratos para determinar el crecimiento del material vegetal, los cuales son: estéril, compostaje y suelo, cada uno con un porcentaje diferente en cada tratamiento, como se observa en la figura 2. Se concluye que gracias a la introducción del estéril, se obtienen los resultados de la figura 3, donde se ve que se puede utilizar un sustrato compuesto por 20% de suelo natural, 30% compostaje y 50% de estéril. Para la revegetalización de *Calamagrostis Effusa* y *Ortbrosantus Ckymboracensis*, se utiliza un sustrato compuesto de 20% de suelo natural y 20% compostaje⁴⁶.

Así mismo, se pudieron conocer estudios realizados de estéril, aplicado como materia prima para generar energía en procesos de fabricación, en el libro *Reciclaje de residuos industriales* escrito por Xavier Elías Castells en el año 2000, en Madrid España. Se concibe la valorización del estéril empleándolo en procesos de energía para la fabricación de cerámica o clínquer, tal como es señalado en la figura 1. En el transcurso de fabricación de ladrillo con estéril de carbón, sigue un proceso organizado y debidamente tecnificado, que procede a pasos secuenciales. Los estériles se trituran de modo que un 45-50% sean menores de 100 μm y el resto de material no supere los 2 mm. Esta distribución debe ser de este tamaño, ya que las fracciones finas potencian la plasticidad y las fracciones gruesas facilitan la etapa de secado y cocción. Existe otro factor limitante, en la utilización

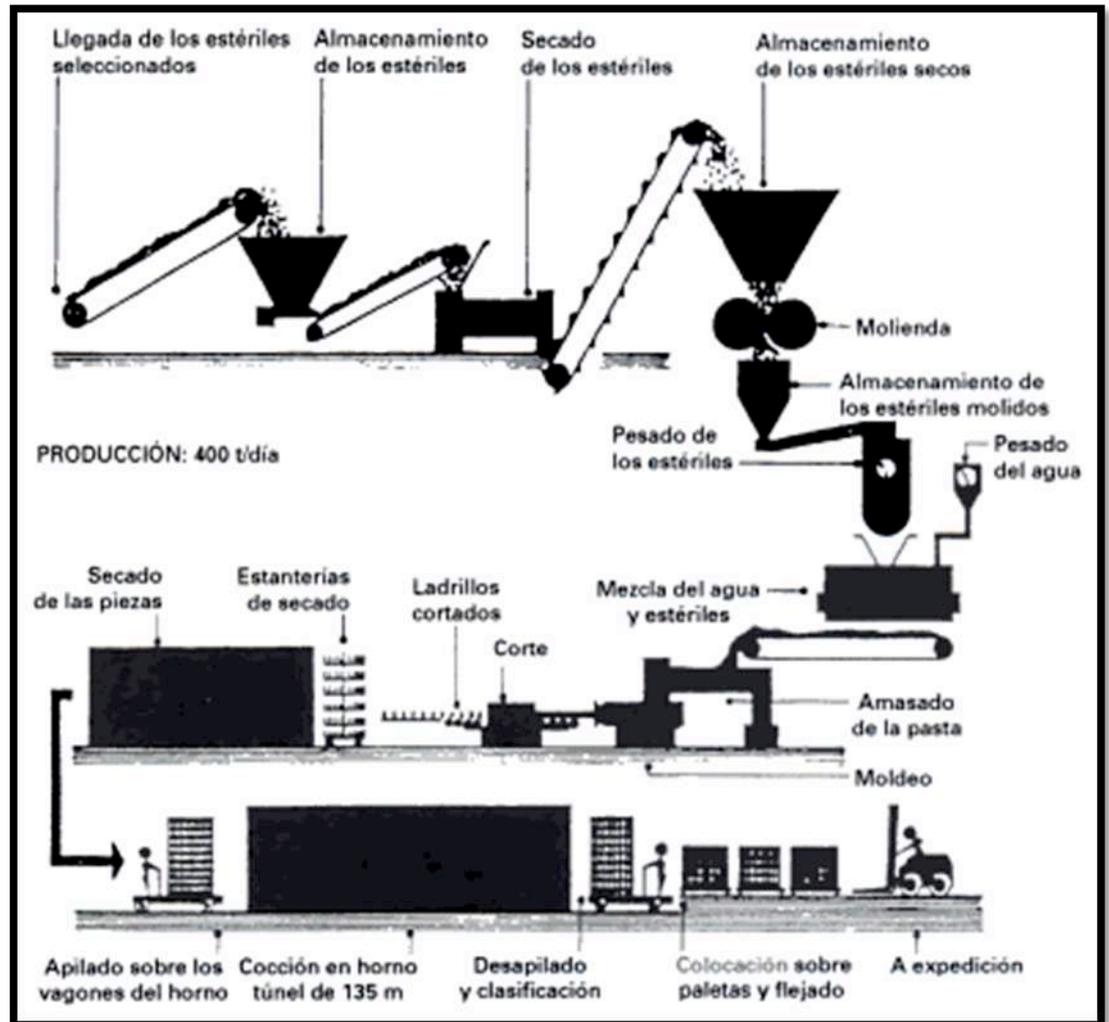
⁴⁶Cfr. RIVERA DÍAZ, Ingrid Alexandra y RODRÍGUEZ TORRES Oscar. “Incorporación de sustratos orgánicos producidos en minas de carbón, para la revegetación en zonas de paramo”. Avances investigación en ingeniería, S.A. Bogotá: Universidad Libre. 2010., pág. 63 – 67.

de estériles en este proceso, en cuanto al contenido de carbón, puesto que no puede superara el 6%. Para la utilización del estéril como materia prima para la fabricación de clínquer, es indispensable el óptimo diseño de la curva de cocción para favorecer una oxidación correcta y evitar defectos típicos de esta fabricación.

El proceso comienza con la clasificación y dosificación del estéril, para tener una mezcla con un poder calorífico determinado, es decir un contenido de carbón entre 4% y 5%. Posteriormente es secado y molido, por debajo de 500 μm , el material resultante de este proceso es mezclado con agua. La masa humectada, se expulsa por una boquilla de diversas salidas de diferentes diámetros 5,8 y 10 mm, que se cortan a una longitud equivalente al diámetro, siendo posteriormente secados. Culminado este proceso, se somete a un complejo sistema de horno rotativo. La temperatura máxima, depende del tipo de pasta empleada y el ciclo térmico total, oscilando sobre las 3 horas⁴⁷.

⁴⁷ Cfr. ELÍAS CASTELLS, Xavier. *Reciclaje de residuos industriales*. España: Ediciones Díaz de Santos, S.A. 2000, pág. 327 – 332.

FIGURA 1. Fabricación de ladrillos con estériles de carbón.



Fuente: ELÍAS CASTELLS, Xavier. Reciclaje de residuos industriales. 2000.

Igualmente, el contenido del libro titulado: *Curso de Minería y Medio Ambiente* escrito por Pablo Higuera y Roberto Oyarzun, bajo la licencia de Creative/commons en España, ha sido muy importante. Se habla de la actividad minera y su impacto ambiental. Es un factor de riesgo para la humanidad por la emisión de polvos, ruidos, restitución del paisaje y vertimiento de líquidos entre otros. De esta tarea se obtiene un aspecto que requiere ser tratado responsablemente y para esto ofrece

la posibilidad de restauración y remediación en el terreno, en el capítulo 8° de ese mismo libro. Hace referencia a la acumulación de estériles de mina y algunas posibles aplicaciones para su reutilización tales como:

Aprovechamiento energético: Los estériles que poseen carbón repartido por toda su masa, tienen un poder calorífico superior, que va desde los 1.700kJ/kg hasta los 8.000 kJ/kg. Se intenta aprovechar esta energía, siguiendo principalmente dos caminos: recuperación del carbón de viejas escombreras y lavaderos antiguos y la combustión en lecho fluidizado. Así permite quemar una amplia variedad de combustibles, entre los que se encuentran aquellos de bajo poder calorífico. Como se puede observar este estéril que es posible utilizar deberá tener unas características especiales.

Agricultura: otra de las posibilidades de aprovechamiento de los estériles de carbón es su uso como fertilizante o acondicionador de suelos destinados a la agricultura. La existencia de ácidos húmicos en el carbón parece ser el mayor aporte de los estériles a la nutrición vegetal. Estos ácidos intervienen en la formación de órgano-minerales y en los efectos catalíticos y estimulantes que incluso a pequeñas concentraciones tienen sobre el crecimiento vegetal.

Reutilización de suelos para labores de restauración y remediación: el suelo, tarda siglos en formarse. Si es removido y acumulado, puede ser utilizado más tarde como recubrimiento de labores mineras. Cabe destacar que estos suelos acumulados, sufrirán una cierta degradación con el

tiempo. Por ejemplo: compresión, aumento de la densidad, decrecimiento de la capacidad de acumular agua, cambios químicos, decrecimiento del ciclo de nutrientes y de la actividad bacteriana y pérdida o reducción de remanentes de plantas y de la actividad de semillas. No obstante, estos suelos son la mejor opción para restablecer el ecosistema vegetal y microbiano existente antes de la actividad minera⁴⁸.

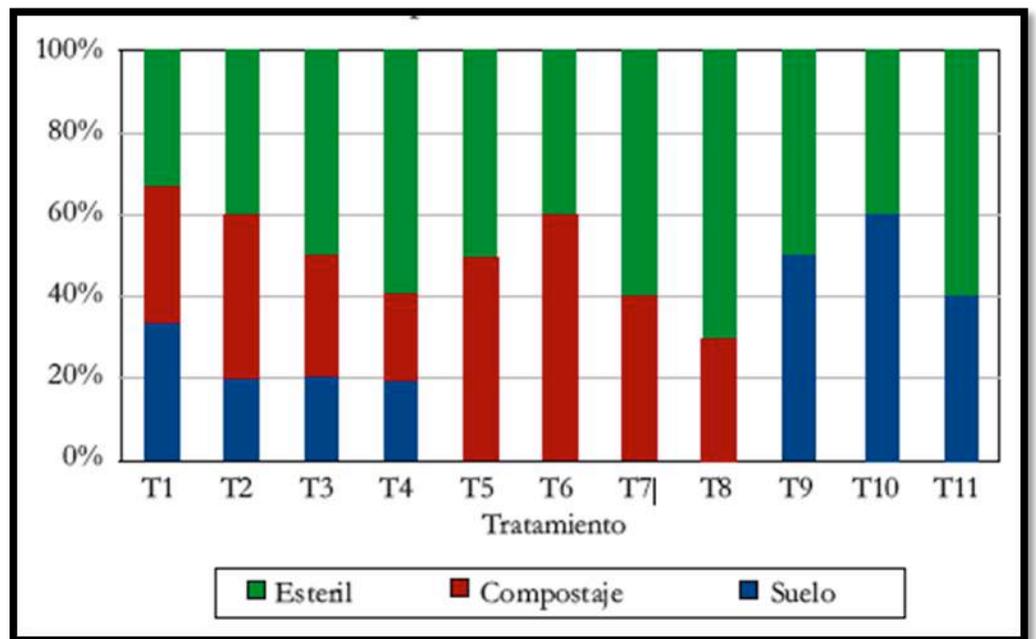
Por otra parte, con respecto a la aplicación de un agregado en el concreto hidráulico, se tuvo acceso a la tesis: “Concreto con adicción de escoria granulada pulverizada de siderúrgica de Acerías Paz del Rio”. Este proyecto fue elaborado por Beicy Liliana Díaz Molano y Tania Jimena Grismaldo Rodríguez, con el apoyo de la Universidad Santo Tomás de Tunja. Ejecutaron un estudio donde se adiciona escoria pulverizada de Acerías Paz del Rio a un porcentaje de cemento en diferentes proporciones de cemento – escoria y cemento – escoria – cal, con un diseño de mezcla de concreto hidráulico de 35MPa o 5000 psi. En el desarrollo de dicha tesis durante la elaboración de la mezcla por las adiciones, el concreto perdió manejabilidad por lo tanto se utilizó un plastificante denominado polyheed-N del laboratorio Basf de Colombia.

Se realizaron 360 probetas de las cuales 180 fueron curadas inmersas en agua y 180 se curaron simulando ambiente de obra. Este estudio concluyó favorablemente, ya que la mezcla con los agregados, funciona para la resistencia planteada en

⁴⁸ HIGUERA, Pablo y OYARSUN, Roberto. Curso de minería y medio ambiente. España: Creativecommos, código html. Capítulo 8.

el objetivo⁴⁹. El experimento anterior representa para este proyecto un punto de partida, puesto que también se está tratando concreto hidráulico con un agregado proveniente de la explotación de minas de carbón.

FIGURA2. Composición tratamiento de estudio



Fuente: RIVERA DÍAZ, Ingrid Alexandra y RODRÍGUEZ TORRES Oscar. Incorporación de sustratos orgánicos producidos en minas de carbón, para la revegetación en zonas de paramo. 2010.

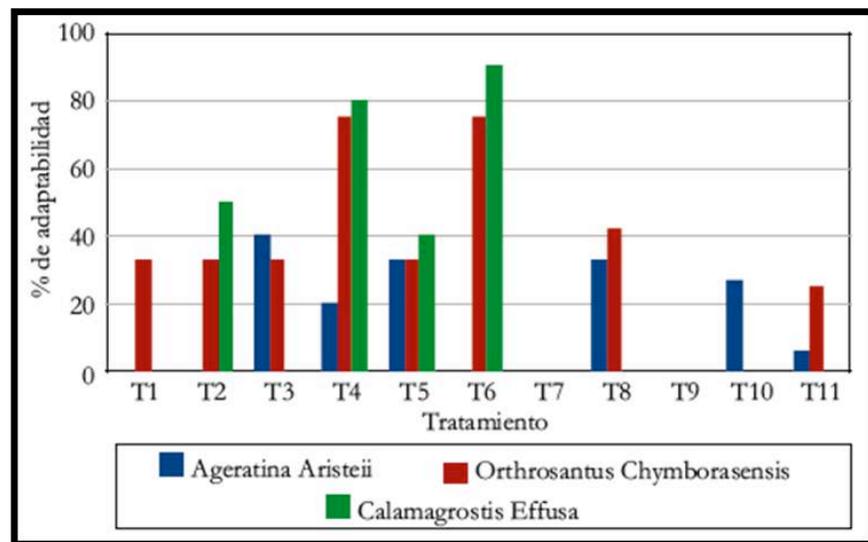
Además de ofrecer una visión de los problemas que se pueden presentar en el desarrollo de este proyecto, como puede ser la disminución de la manejabilidad del concreto al efectuar la mezcla con agregado, en este caso del estéril de

⁴⁹Cfr. DÍAZ MOLANO, Beicy Liliana y GRISMALDO RODRIGUEZ, Tania Jimena. Concreto con adicción de escoria granulada pulverizada de siderúrgica de Acerías paz del Rio. Tunja: Universidad Santo Tomas, 2008, pág. 8.

carbón, así pues, cabe la posibilidad de igualmente utilizar un plastificante para lograr el efecto deseado.

Otro estudio relacionado con el concreto hidráulico, se encontró en la Universidad Santo Tomás de Bogotá, en la tesis “La Ceniza como agregado en el concreto, su análisis químico y estructural”. Este proyecto se enfocó en la utilización de ceniza volátil como agregado estructural, en los concretos de mediana y baja resistencia. El estudio se basa, en darle utilidad a las cenizas, ya que al igual que el estéril, no se le ha dado un adecuado aprovechamiento, siendo objeto de estudio de muy pocos proyectos en los países de Latinoamérica.

FIGURA 3. Evaluación de adaptabilidad del material vegetal



Fuente: RIVERA DÍAZ, Ingrid Alexandra y RODRÍGUEZ TORRES Oscar. Incorporación de sustratos orgánicos producidos en minas de carbón, para la revegetación en zonas de paramo. 2010.

En este proyecto se analizó la producción de ceniza, encontrando que las cantidades de cenizas disponibles son

bastante altas. Para el caso, ha sido necesario efectuar el estudio de su disposición y almacenamiento, con el fin de obviar varios problemas tales como: efectos de alteración del ambiente, contaminación por partículas, cantidades altas de desecho al aire libre, alteración y contaminación de cauces de los ríos, entre otros. Este estudio, tiene como objeto, determinar características de afección a la resistencia de los concretos, al ser mezclado con cenizas y los efectos desde el punto de vista químico, al reaccionar posiblemente con el agua y el cemento.

Inicialmente, se definieron los porcentajes de ceniza, que remplazarían la arena, con base en el peso total de este agregado, para que condujera a los resultados de resistencia deseados. Las características de resistencia se basaron, en los ensayos a compresión sobre cilindros de concreto según las normas americanas, conocidas en ese momento. El método que se empleó fue el de un sistema comparativo de cilindros con algún porcentaje de ceniza, contra otros cilindros llamados cilindros testigos. Estos cilindros fueron elaborados con el concreto normalmente diseñado. En cuanto al análisis químico realizado, se concluyó que no existe ningún problema en adicionar ceniza a la mezcla de concreto, mientras se controle la cantidad de sulfatos. Los cilindros realizados en este proyecto, tuvieron un comportamiento normal. A pesar de la baja resistencia, la cementación no se vio afectada con la inclusión de cenizas. Se concluye, que las cenizas sólo deben ser usadas en casos en los que la arena posea una granulometría muy gruesa, o lo que es lo mismo, tenga un modulo de finura muy alta. Además, en lo posible debe usarse

humedad al mezclarse debido a que esta absorbe mucha agua por su humedad natural tan baja⁵⁰.

2.3. APROXIMACIÓN CONCEPTUAL

2.3.1 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE ESTÉRILES

Los estériles se producen a partir de la explotación de minas de carbón en forma de desecho. También se genera por el lavado de carbón, es decir al limpiar el carbón para dejarlo puro, creando residuos. Estos son los llamados estériles, que son almacenados en escombreras y en ocasiones en rellenos.

Clasificación del estéril:

Estéril de mina: al primer tipo de residuos se les denomina estériles de mina y está formado por rocas entre las capas de carbón. Estas rocas no están degradadas y presentan una granulometría irregular.

Estéril de lavadero: el estéril de lavado es el más común de encontrar ya que éste es aproximadamente el 90% de la producción de estéril. Se obtiene, a través de la limpieza del carbón, mediante la separación del carbón por flotación en líquidos densos. Su composición granular es mineralógica, la composición química es regular y no degradada. Según su granulometría se clasifica en gruesos, granos, menudo y finos.

⁵⁰Cfr. CASAS GUZMAN, Rafael Alberto y ORDOÑEZ SALGADO, Javier. "La Ceniza como agregado en el concreto - su análisis químico y estructural". Bogotá: Universidad Santo Tomás, 1978, pág. 2-7, 10-16 y 56.

Estéril de escombrera: es el resultado del almacenamiento de los estériles de mina y lavaderos en escombreras. Presentan granulometría variada y están degradados y disgregados. Presentan una granulometría muy variable. Se presentan en función de los tipos de estériles orgánicos, con porcentajes importantes de partículas superiores a 50mm. Los estériles de escombrera según su color se clasifican en:

Estériles negros: son los residuos de los minerales de carbón que se encuentran depositados en escombrera. Se pueden encontrar desde tamaños disimétricos hasta en algunos casos tamaños métricos. El tamaño medio de las partículas está comprendido entre 0,5mm – 1mm y el porcentaje de finos entre 2% y 75%. La densidad aparente puede variar desde 1,26 t/m³ en las escombreras más flojas, hasta 1,8 t/m³ en las más compactas. El peso relativo de las partículas está comprendido entre 2,4 y 2,8. En general, los finos suelen ser poco plásticos, con valores del límite líquido (LL) de 18 a 30 y con índices de plasticidad (IP) de 3 a 10. La densidad Proctor Normal se encuentra en el intervalo 1,55 – 2,02 t/m³. Igualmente, presenta humedades óptimas de compactación comprendidas entre 12% y 8%. El CBR para la densidad Proctor Normal suele estar comprendida entre 9 y 16, mientras que para la densidad de Proctor Modificado, el CBR varía entre 11 y 29.

Estériles rojos: se trata de un material resultante de la autocombustión del carbón, que contiene los estériles. Tiene naturaleza granular, con una distribución continua de tamaños, con un cierto porcentaje de material lajoso y quebradizo. El

tamaño máximo de los estériles rojos, puede ser del orden de 300 mm, mientras que el porcentaje de finos suele ser inferior al 10%, siendo dicho material no plástico. La densidad máxima del Proctor Modificado suele estar cercano a 1,8 t/m³, con una humedad óptima en torno al 11%. El CBR presenta valores altos, habiéndose alcanzado algunos del orden de 40, e incluso superior⁵¹.

FOTOGRAFÍA 1. Estéril Rojo



Fuente: CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTOS DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX). Actualización de catalogo de residuos utilizables en la construcción. España 2007

⁵¹Cfr. CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTOS DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX). Actualización de catalogo de residuos utilizables en la construcción. España 2007. Pag 4-8.

FOTOGRAFÍA 2. Estéril Negro



Fuente: CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTOS DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX).
Actualización de catalogo de residuos utilizables en la construcción. España 2007

En la tabla 1 se resumen las propiedades de los estériles de carbón, negro y rojo, según estudios realizados en España:

TABLA 1. Características de estéril negro y rojo.

	ESTÉRIL ROJO	ESTÉRIL NEGRO
Granulometría	Continua <5% inf.0,08mm	Continua <5% inf.0,08mm
Densidad (t/m ³)	[2,70-2,73]	[2,74]
Absorción (%)	[5, 6-5, 8]	
Forma		
Índice de Lajas	[36-42]	
Índice de Agujas	[46-51]	
Desgaste Los Ángeles	[36-39] granulometría B [31-46] granulometría A [21-25] arenisca	[31-36]
Equivalente de arena	[30-51]	[38]
Plasticidad	No plástico	LL-[26-29];LP:[19-20];LP:[7-9]
Proctor Modificado		
Densidad máxima (t/m ³)	>1,9	[1,99-2,09]
Humedad óptima	[10,2%-15,5%]	[7,0%-10%]
CBR	>50	<20

Fuente: CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTOS DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX).
Actualización de catalogo de residuos utilizables en la construcción. España 2007

2.3.2 ASPECTOS ESENCIALES DEL CONCEPTO DE PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ESTÉRIL DEL CARBÓN

Los estudios realizados ponen de manifiesto que los estériles poseen un elevado porcentaje de dióxido de silicio, SiO_2 (40-70%). Tiene una importante proporción de aluminio, (10 – 25%).

A ellos los sigue en importancia el óxido ferroso, Fe_2O_3 , óxido de difósforo, P_2O_5 y óxido de dinitrógeno N_2O . El contenido de azufre es variable, en general inferior al 2% (en algunos casos 3,6%). Se puede presentar bajo diversos compuestos químicos, siendo el más frecuente la pirita. Así mismo, los estériles contienen carbono fijo en porcentajes que unas veces descontadas las cenizas y los volátiles, puede llegar al 16% en los estériles de hulla y el 27% en los de antracita. En los estériles rojos, el porcentaje de sílice es aproximadamente el 55% y el de alúmina al 25%. Suelen, los porcentajes de sílice y aluminio, ser superiores al que presentan los estériles negros. El contenido férrico es variable, con valores cercanos al de los estériles negros (5%). Los estériles rojos contienen sulfatos; dependiendo del porcentaje de éstos puede presentar pH ácido⁵².

2.3.3 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE AGREGADOS

Los agregados, también llamados áridos, son materiales inherentes al concreto, de forma granular, los cuales pueden ser artificiales o naturales. En aglomeración con el cemento y

⁵² IBARZABAL, J.L. Y VARCARCE, J.A. Los estériles de lavadero de hulla como material para la ncb. Utilization of colliery spoil in civil engineering, final report project 6220-ec/8/808 European: Coal and steel community, July 1978

con agua en un todo compactado, conforma una piedra artificial, denominada concreto. Los agregados para el concreto se consideran a todos aquellos materiales que tienen una resistencia propia. Los agregados no afectan las propiedades del concreto y garantizan una adherencia suficiente con la pasta de cemento. Los agregados se clasifican según su tamaño, el cual varía desde milímetros hasta varios centímetros en la fracción transversal.

El agregado fino es aquel que tiene partículas de un diámetro inferior a 4,76 mm y mayor de 0,074mm, también llamado arena. Los agregados gruesos son las partículas con un diámetro superior a 4,76mm, al que comúnmente se le denomina grava. Existe otra clasificación según su procedencia (natural y artificial). Se dice que es natural, cuando proveniente de una explotación natural, como el arrastre fluvial (arena y grava de río) o de glaciales (cantos rodados) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Por otra parte, se encuentran los agregados artificiales obtenidos a través de productos y procesos industriales, tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, limadura de hierro, entre otros⁵³.

2.3.4 ELEMENTOS ESENCIALES DEL CONCEPTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CEMENTO

Las propiedades del cemento cambian dependiendo de las materias primas que se usen y los procesos que se utilicen para su producción. El proceso de fabricación se compone de

⁵³SÁNCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Bogotá: Bhandar, 2001.p. 65.

cuatro etapas principales. La extracción y molienda de materias primas, comenzando por la caliza que es la materia prima principal del cemento, la cual se obtiene de recursos naturales. Ella es triturada hasta formar un material de un tamaño no mayor a 20mm de diámetro y posteriormente es almacenada junto con arcilla y otras materias primas. Viene un proceso de homogenización de la materia prima. Aplicando la dosificación adecuada, se crea una mezcla homogénea llamada crudo. Inmediatamente después se hace la producción del clinker, que es la etapa donde se calcina el crudo a una temperatura de 1400 C, y se convierte en clinker. Se sigue con la molienda del cemento, que es el nuevo clinker es triturado en dos etapas diferentes. Después se le adiciona el yeso con el fin de alargar el tiempo de fraguado y así se convierte en cemento⁵⁴.

2.3.5 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla se realiza para determinar los porcentajes de cada uno de los agregados que componen ésta y establecer la más factible, económica, práctica y que cumpla con la calidad y las condiciones que requiere el sistema constructivo de obras civiles. A continuación se nombran las características principales que se deben tener en cuenta, en los parámetros de los materiales para el diseño de mezcla y

⁵⁴LATORRE CAÑÓN, Andrés. Industria del cemento en Colombia determinantes y comportamiento de la demanda. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2008. Pág. 6

en la tabla se encuentran relaciones importantes de las características⁵⁵.

Granulometría de los agregados: este factor es determinante para la acomodación de partículas equitativamente en toda la masa de concreto. Además se relaciona con la interface de pasta de cemento en la mezcla en estado fresco.

Finura de agregados: la cantidad de material retenido en el tamiz, incluyendo tamiz 100, determina el tipo de concreto como grueso en caso de ciclópeo, agregado medio en un estándar normal y agregado fino utilizado en un concreto liviano.

Densidad aparente: se debe determinar la humedad normal de los agregados. Es importante determinar la densidad para determinar tiempo de mezcla, tiempo de fraguado y curado, además de reconocer los empujes a tener sobre la superficie de concreto.

Absorción agregados: determina capacidad de adhesión mecánica entre agregado y cemento.

Masa unitaria de los agregados: ya que en esta se verifica la masa de agregados por unidad de volumen. Es necesaria en densidades compactadas para la capacidad de acomodación de los agregados. En densidades en estado seco es para

⁵⁵HUANCA, Laura. Diseño de mezclas de concreto. Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Marzo, 2006, pág. 2 – 4.

verificar manejabilidad y en el concreto seco para consideraciones de mezcla.

Humedad de agregados: con este se toma la determinación del rango que se va a modificar en la relación agua cemento de mezclas para evitar exceso de fluidez.

Cemento: se debe determinar el tipo de cemento, según sea el uso de la mezcla y la densidad de cemento, para ratificar exactamente el consumo por metro cubico a construir o kilogramo a vaciar.

2.3.6 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE CONCRETO

El concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas de cemento, agregados y agua. El cemento y el agua forman una pasta que rodea a los agregados, constituyendo una materia heterogénea. Algunas veces se añade ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto. El concreto, es considerado universalmente como el material de construcción más versátil. Se utiliza en edificios, puentes, contrafuertes, muros de contención y pavimentos. En su estado plástico, el concreto se puede moldear y vaciar en cualquier cimbra⁵⁶.

⁵⁶ ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EDIFICACIÓN. S.C. Norma NMX-C-111.

2.3.7 ELEMENTOS BÁSICOS DEL CONCEPTO DE MATERIAL CEMENTANTE

Son materiales aglomerantes que tienen las propiedades de adherencia y cohesión requeridas para unir fragmentos minerales entre sí, formando una masa sólida continua, de resistencia y durabilidad adecuadas. Dentro de esta categoría, además de los cementos propiamente dichos, se encuentran materiales empleados con menos frecuencia como las cales, los asfaltos y los alquitranes. Para fabricar hormigón estructural se utilizan únicamente los cementos hidráulicos (utilizan agua para reaccionar químicamente y adquirir sus propiedades cementantes durante los procesos de endurecimiento inicial y fraguado). Entre los diferentes cementos hidráulicos se destaca, por su uso extendido, el cemento Portland. De la misma manera, existen además los cementos naturales y los cementos con alto contenido de alúmina⁵⁷.

2.3.8 ELEMENTOS ESENCIALES DEL CONCEPTO DE GRANULOMETRÍA

La granulometría está definida como la distribución de los tamaños que componen la masa de los agregados. Este se determina mediante un análisis granulométrico, consiste en dividir en material en fracciones de igual tamaño. La medida de cada una de estas fracciones es la que se conoce como granulometría. El material pasa a través de una serie de

⁵⁷ROMO PROAÑO, Marcela .Fundamentos de Hormigón Simple, Bogotá: Escuela Politécnica del Ejército. Capítulo 1.

tamices, que tienen abertura cuadrada y cuyas características se ajustan a la norma NTC-32. La designación de los tamices se hace de acuerdo con la abertura de la malla, medida en milímetros o micras. Para la serie de tamices, empleada para los agregados de concreto, se ha establecido que la abertura de cualquier tamiz es aproximadamente la mitad del tamiz inmediatamente anterior, es decir en una relación 1:2.

Los resultados del análisis granulométrico comúnmente se representan de manera gráfica en curvas granulométricas o línea de cribado. En el eje de las ordenadas se representa el porcentaje acumulado de material que pasa a través de los tamices, en escala aritmética y en el eje de las abscisas se indica la abertura de los tamices. Éste determina la distribución de los tamaños dentro del material, permitiendo visualizar a través de la gráfica que tan fino o grueso es este. También permite detectar excesos de un tamaño en particular⁵⁸.

2.3.9 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Estos se convierten en la herramienta fundamental para determinar las propiedades de las muestras que se utilizan para el diseño de las obras. Existen ensayos de campo y de laboratorio para la determinación de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas. A continuación se hace una breve descripción de los ensayos de laboratorio que se están utilizando.

⁵⁸Ibid.,p.65-78.

Límites de consistencia o de Atterberg. En los suelos finos, su comportamiento está asociado a la cantidad de agua presente en los vacíos del mismo. Para tal fin y como valores empíricos se han aceptado ciertos valores frontera, donde éstos cambian de comportamiento al cambiar la cantidad de agua presente en la muestra. Estos valores frontera son conocidos como límites y son muy utilizados para caracterizar los conjuntos de partículas de suelo, agua, aire y se basan en el concepto de que un suelo fino de acuerdo a su contenido de humedad puede presentar cuatro estados de consistencia.

Gravedad específica. La gravedad específica de un suelo depende de dos factores: los minerales que componen el suelo y el tamaño de las partículas. Dependiendo del tamaño pueden ser granulares gruesos, guijarros o arena, entre otros. Humedad natural. Se busca determinar el contenido de agua en la muestra del material. Ésta se puede hallar de muestras remoldeadas o muestras inalteradas⁵⁹.

Ensayo densidad relativa. Tiene como objeto determinar la cantidad de masa unitaria mínima (suelta) y la masa unitaria máxima (compacta), tanto de los agregados finos como de los agregados gruesos en un estado seco, los cuales serán implementados en la elaboración de este diseño.

Ensayo de rotura de cilindros. Consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados, a una velocidad

⁵⁹ RAMÍREZ, Oscar. Apuntes de clase de geotecnia básica. Tunja: Uptc.2001.Pag 60–77.

prescrita hasta que ocurra una falla. Allí se determinará la resistencia y la calidad de la dosificación de la mezcla en el concreto.

Ensayo rotura de vigas en concreto, método de tres apoyos. Se efectúa para hallar la resistencia a la flexión del concreto. Consiste en elaborar vigas, las cuales serán ubicadas en tres apoyos fijos, donde ejerzan unas reacciones paralelas a la dirección de la carga. Posteriormente serán cargadas con una fuerza puntual, que será ubicada en la tercera parte de la luz de la viga

Ensayo de asentamiento del concreto. Este ensayo tiene como fin determinar el asentamiento del concreto, tanto en las obras como en el laboratorio. Esto se determinara vertiendo concreto en un molde en tres capas hasta llenarlo, luego se quitara el molde y se medirá la altura de la muestra con respecto a la altura del molde⁶⁰.

2.3.10 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE PAVIMENTO RÍGIDO

La superficie de rodadura de un pavimento rígido es proporcional por losas concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores, por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Por su mayor rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy

⁶⁰INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Norma I.N.V.E. -410-07, 136-07, 414-07 y 404-07 Colombia.

reducidas. Salvo en bordes de losas y juntas sin pasa juntas, las deflexiones o deformaciones elásticas son casi inapreciables. Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orillas en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido está construida para la losa de concreto hidráulico y la sub-base, que se construye sobre la capa subrasante⁶¹.

2.3.11 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE MEDIO AMBIENTE

Científicamente el medio ambiente está conformado por la hidrósfera, es decir, océanos, lagos, ríos y agua subterránea. La litósfera es la masa terrestre y la atmósfera es el aire. Los componentes bióticos, son los organismos vivos entre los que se encuentran los virus, bacterias, hongos, plantas y animales. Los componentes abióticos están compuestos por la naturaleza muerta. Todo esto compone el ecosistema. Las perturbaciones de estas relaciones normales son las que constituyen el impacto ambiental. En otras palabras, el medio ambiente se puede definir como todo el espacio físico que nos rodea y con el cual el hombre puede interactuar en sus actividades. El espacio físico es constituido por personas, las contracciones y la naturaleza en general. El resultado de esta

⁶¹ZAGACETA GUTIERRES, Iván y ROMERO ORDOÑEZ, Ramiro, Pavimento de concreto hidráulico premezclado, México: Instituto Politécnico Nacional, 2008. , p. 36.

interacción se denomina impacto ambiental. Para simplificar los problemas medioambientales se recurre a una limitación del espacio físico que más puede verse afectado por el impacto. Este espacio se llama ecosistema o sistema medioambiental⁶².

3. DIAGNÓSTICO

3.1 TIEMPO Y LUGAR

Este proyecto se está llevando a cabo en un tiempo de 18 meses. En este tiempo, en primer lugar se está indagando sobre los estudios previos, que se han desarrollado sobre el estéril del carbón y los diferentes agregados que se han utilizado en el concreto hidráulico. Se está buscando en diferentes bibliotecas y universidades del país, donde se tiene acceso. Así mismo, se están desarrollando los ensayos para hallar las propiedades químicas específicas de la muestra del estéril del carbón de la mina “Los Arrayanes”. Ésta está situada en el departamento de Boyacá, en el municipio de Samacá, específicamente en la vereda La Chorrera, aproximadamente a 40 Km de la ciudad de Tunja. Para la elaboración de los cilindros y las vigas de concreto hidráulico, es necesario el transporte de los agregados fino de la cantera “Altos del Moral” ubicada a 5 Km de la ciudad de Tunja por la vía hacia Bogotá y el agregado fino se traslada desde la cantera “Agregados Santa Lucia” localizada a 20 km de la vía Tunja a Villa de Leyva. El estéril del carbón se transporta de la mina “Los Arrayanes” ubicada en la vereda la Chorrera del

⁶²PANCE DE LEÓN, Julio Montes, Medio ambiente y desarrollo, Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 2001. pág.13 y 14.

municipio de Samacá, Boyacá. Este se está transportando con base en el progreso de los ensayos de laboratorio.

Los ensayos pertinentes para el cumplimiento de los objetivos. Estos tendrán lugar en los Laboratorios de la Universidad Santo Tomás, Seccional de Tunja, ya que ésta cuenta con los equipos necesarios para la elaboración de los ensayos requeridos en el estudio.

3.2 MÉTODO INVESTIGATIVO

El método que se está empleando es el cuantitativo, ayudado por el descriptivo y el explicativo. Ésta se refiere a que el conocimiento de un hecho requiere el análisis de relaciones y esta necesidad es la base de la investigación explicativa que corresponde a hipótesis de causalidad. En esta clase de estudio, el investigador controla y manipula deliberadamente algunas condiciones del objeto o del tema de investigación para producir modificaciones en la variable independiente y para su desarrollo recurre a diseños cualitativos como los experimentos de campo y sigue un razonamiento hipotético – deductivo, poniendo de manifiesto la esencia de los objetos cotidianos⁶³. Consiste en poner de manifiesto la esencia de los objetos estudiados y como desarrollo, o sea, un proceso en virtud del cual se pone de manifiesto el contenido en alguna unidad cuya parte adquiere independencia y puede diferenciarse entre sí. Una cosa es recoger datos, descubrir hechos y describir situaciones o clasificar fenómenos, pero

⁶³ Cfr. CERDA, Hugo. Elementos de la Investigación. Bogotá: Editorial EL Buho. 1998, pp.12-25.

otra cosa muy diferente es saber por qué ocurren, cuáles son los factores que lo determinan, de dónde proceden o cómo se transforman. Cuando el investigador se plantea como propósito el porqué de las cosas, está trabajando al nivel explicativo⁶⁴.

Investigación Descriptiva. La finalidad de la investigación descriptiva es caracterizar una población, un caso, una situación o un fenómeno teniendo como referente una o un grupo de variables y se propone describir “lo que es”, orientando a evaluar ciertos atributos, propiedades o cualquier otro fenómeno. En algunos casos consiste en el registro, el análisis y explicación de las condiciones de un fenómeno tal como se presenta, razón por la cual, observa el objeto y lo describe teniendo en cuenta propiedades o características de mayor o menor relevancia de acuerdo con el problema determinado⁶⁵.

A juicio de muchos investigadores, la descripción y la explicación van estrechamente ligadas y se transforman dialécticamente una en otra. Sin describir los hechos es imposible explicarlos. Por otra parte, la descripción sin la explicación aún no llega a ser ciencia, por tal razón la escuela positivista convirtió la descripción en su instrumento científico principal, en tal grado que sus partidarios llegaron a afirmar temerariamente que el objeto de la ciencia se circunscribe a la “pura descripción de los hechos”. Sin embargo, esta investigación descriptiva de acuerdo con los criterios

⁶⁴ Cfr. Ibid., 20-26.

⁶⁵ Cfr. Ibid., 24-29.

dominantes, estos problemas se pueden principalmente reducir a tres:

Establecer criterios para la selección de los elementos que serán descritos.

Recoger la información pertinente.

Sistematización y presentación

Es importante destacar que una investigación descriptiva no es solamente una observación sistemática, sino que requiere la definición de un problema, para plantear una hipótesis que determine la caracterización del fenómeno, en relación con unas variables y los elementos antes referidos deben estar fundamentados en un saber específico⁶⁶.

Investigación cuantitativa. Así mismo, es una investigación de tipo cuantitativo, ya que al variar los porcentajes de estéril en cada una de las mezclas se aumentara o disminuirá asociado a una cantidad. Lo cuantitativo en una investigación tradicional se reduce a medir variables en función de una magnitud, extensión o cantidad determinada. Aquí la magnitud se refiere a toda propiedad que puede ser medida y la extensión una parte del espacio que ocupa una cosa.

Lo que caracteriza fundamentalmente una investigación o un método de tipo cuantitativo es: permitir la enumeración y la medición, que son consideradas como condición necesaria. La

⁶⁶ Cfr. Ibid., 29-30.

medición debe ser sometida a los criterios de confiabilidad y de validez, permite el uso de las matemáticas y todas aquellas entidades que operan en torno a ella, busca reproducir numéricamente las relaciones que se dan entre los objetos y los fenómenos, se las relaciona con los diseños o investigaciones denominadas tradicionales o convencionales (experimentales, encuestas cuasi experimentales, etc.)⁶⁷.

3.3 RELACIÓN DE HERRAMIENTAS

La elaboración y desarrollo de este proyecto de carácter investigativo requirió básicamente de la asesoría profesional prestada por docentes de la Universidad Santo Tomás. El Ingeniero Héctor Sánchez ha sido el director de proyecto de grado y el Ingeniero Néstor Rafael Perico el director del proyecto de investigación. De otro lado, el uso de herramientas tecnológicas y geotécnicas, que en su medida y alcance han permitido lograr los objetivos propuestos. Entonces se tienen los estériles de carbón como material a estudiar; agregados finos, como la arena que se está trayendo de la cantera Vado casto; agregados gruesos proveniente de la trituradora Castro; cemento; agua; tamices usados para obtener la granulometría de los agregados finos y gruesos, que se están utilizando en el diseño del concreto hidráulico; báscula, la cual permitió conocer los pesos del material que es retenido por los tamices; platón, en el que se pesa la muestra que proporciona el tamiz; horno empleado en el laboratorio para secar las muestras y evaluarlas en su estado no saturado; máquina para desgaste se uso, para hallar la

⁶⁷ Cfr. Ibid., pp. 18-22.

resistencia al desgaste que tienen las gravas y así demostrar si es apta para la mezcla de concreto; cilindros, que son empleados para fundir la mezcla; martillo de goma, que se utiliza para golpear la mezcla cuando está en los cilindros, para evitar que queden poros en ella; varilla que cumple la función de acomodar las partículas gruesas de la mezcla en el interior del cilindro; maquina de los Ángeles necesaria para realizar el ensayo de desgaste, a partir de la carga abrasiva que le generan unas esferas de acero; máquina Marshall, con la cual se obtienen las cargas máximas que resisten a compresión las mezclas al fallar los cilindros; recipiente de medida para la ejecución del laboratorio de densidad de Bulk; varilla compactadora; pala o cuchara de tamaño convencional, y equipo de calibración.

3.4 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN

La población tomada como referente para el estudio y ejecución del proyecto, correspondió a las minas de carbón del Departamento de Boyacá. Como la muestra se tomó a la conocida como “Los Arrayanes” ubicada en el Municipio de Samacá, toda vez que pertenece al contexto geográfico y físico. Es una muestra representativa, dado que allí se ha percibido la problemática existente, en especial por el manejo inadecuado del estéril de carbón, cuyo impacto directo, perjudica el medio ambiente ecológico del sector. Este problema trasciende a la comunidad que lo rodea, toda vez que el efecto ecológico y de toxicidad puede afectar a un entorno mayor, cuando no se le da el óptimo tratamiento que éste exige.

La población de estudio está caracterizada por la homogeneidad que a nivel minero se está dando al almacenar y tratar los estériles de carbón, puesto que es un común denominador en las minas del entorno. Por el inadecuado tratamiento de este material se hace necesario desarrollar este proyecto, persiguiendo dos objetivos: el primero de ellos es el de crear conciencia en los propietarios de las minas para aprender a almacenar y tratar los residuos de producción del carbón y el segundo aspecto es el de adelantar el proceso de utilizar eficazmente los estériles del carbón en la conformación de concreto hidráulico, para pavimentos de vías de la región boyacense, que beneficie a las comunidades, ofreciendo bienestar al usuario dadas las condiciones de resistencia y de durabilidad que de este material se consigue.

3.5 DESARROLLO DE LOS INSTRUMENTOS

Es preciso indicar que la recolección de información, dentro de una investigación, es un proceso riguroso que requiere reconocer diferentes técnicas, mediante objetivos tales como definir las características y el proceso de recolección de la información y describir las principales técnicas de recolección de datos.

Teniendo en cuenta que un instrumento de recolección de información es un recurso para acercarse al fenómeno y determinar el valor que representa cada variable, se hace necesario saber elegir el más acertado, a fin de que al aplicarse, se pueda compilar toda la información deseada, en

procura de analizarla, tabularla y reunir resultados claros, que fundamenten el proceso requerido para la investigación que se adelante. Por tal razón es importante que el instrumento elegido cumpla con un alto grado de validez y de confiabilidad para dar eficiencia al propósito indagado.

Los instrumentos empleados para este proyecto se seleccionaron de acuerdo a la fase requerida. Por eso partió de la observación simple como estrategia primaria para recoger información hasta llegar a la observación científica para tener un nivel de acercamiento mayor al objeto de estudio. Posteriormente se aplicó la entrevista aplicada por el equipo investigador a los personajes responsables de la propiedad y explotación de las minas “Los Arrayanes”, para conocer detalles específicos en torno al proceso de almacenamiento y tratamiento dado al estéril del carbón, así como todo lo que a este tema se relaciona. De este modo finalmente se efectuó el estudio de campo, comenzando por las inspecciones oculares al entorno y a la mina para confrontar lo teórico con las vivencias reales.

3.5.1 CARACTERIZACIÓN ESTÉRIL DEL CARBÓN

Para la caracterización del estéril se tomaron dos muestras de dos estratos diferentes. El primero está ubicado en la superficie de la mina presentando menor resistencia. Este material es muy frágil ya que se fractura con facilidad. El segundo estrato está ubicado en la parte inferior de la mina, donde a primera vista se nota más oscuro y posee mayor dureza respecto a la muestra del primer estrato. En primer

lugar se tomó la muestra del segundo estrato y se realizan los respectivos ensayos de laboratorio. En la fotografía 3 se muestra el estéril del segundo estrato.

FOTOGRAFÍA 3. ESTÉRIL MINA LOS ARRAYANES



Fuente: Autores del proyecto, 9 de Julio del 2012.

3.5.1.1 GRANULOMETRÍAS

Este ensayo tiene por objeto determinar la granulometría, mediante la toma de una muestra de estéril (Fotografía 4) Dado que la muestra después de secado se rompía fácilmente y el material fino se pulverizaba, entonces no fue necesario realizar lavado de esta y se tomó una muestra de 5153,3 g. Se procedió a su separación con una serie de tamices en fracciones granulométricas de tamaños decrecientes (Fotografía 5).

FOTOGRAFÍA 4. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA PARA EL ESTÉRIL.



Fuente: Autores del proyecto, 9 Julio de 2012.

3.5.1.2 DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Se llevó a cabo este ensayo para evaluar la resistencia del estéril. Se escogió una muestra arbitraria y se dividió en tres partes. La primera paso el tamiz $\frac{3}{4}$, la segunda y tercera se retuvo en los tamices $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{8}$ respectivamente. Se tomó un peso aproximado de 3000gr cada uno, para la ejecución de este ensayo de laboratorio en la máquina de los Ángeles. Se verificó que el tambor en donde se dispone el material estuviera limpio. Se puso la muestra (Fotografía 6) y la carga abrasiva, dentro del tambor. En este caso se utilizaron 12 esferas, ya que el procedimiento se llevó a cabo con granulometría. Se puso la velocidad especificada para el ensayo, la cual está comprendida entre 188 y 208 rev/min hasta completar 500 revoluciones. Posteriormente la muestra

resultante del ensayo de laboratorio (Fotografía 7), se separó a través del tamiz No 12.

FOTOGRAFÍA 5. Tamices para granulometría.



Fuente: Autores del proyecto, 9 de julio de 2012

FOTOGRAFÍA 6. Maquina de los Ángeles, con el estéril



Fuente: Autores del proyecto, 10 de Julio de 2012

3.5.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO Y EL AGREGADO GRUESO

Se tomaron dos muestras de arena y dos muestras de grava de diferentes canteras, para efectuar los ensayos y determinar cuál es mejor para la utilización en el proyecto. Con ello se esperaba que mejorara la calidad, para lo cual inicialmente se tomó la arena y la grava donada por el propietario de la ferretería “El Cóndor”, a la cual se denominará agregado grueso 1 y agregado grueso 2. Éstos se puede observar en las fotografías 7 y 8 respectivamente. Con este material se llevaron a cabo los ensayos de laboratorio necesarios para los cálculos del diseño de mezcla. Entre ellos están los siguientes.

3.5.2.1. GRANULOMETRÍA AGREGADOS.

3.5.2.1.1 GRANULOMETRÍA MUESTRA 1.

Este ensayo se realizó para verificar el cumplimiento de la gradación del agregado, especificado en el artículo 500-07 de la norma Invías. Se procedió a separar el material en tamices y a pesar las proporciones retenidas en cada tamiz. En la fotografía 9 se observa la grava lavada y separada. Ejecutando el análisis de esta gradación se determinó un porcentaje de grava del 99,4% y de arena 0,6%. Se efectuó el mismo procedimiento de la granulometría de estéril. En la fotografía 10 se observa parte del procedimiento de lavado del agregado fino 1.

FOTOGRAFÍA 8. Agregado Grueso



Fuente: autores del proyecto, 23 de Julio de 2012

FOTOGRAFÍA 9. Granulometría agregado grueso1



Fuente: Autores del proyecto, 24 de julio 2012

FOTOGRAFÍA 10. Granulometría arena 1



Fuente: Autores del proyecto, 25 de Julio 2012.

3.5.2.1. DESGASTE AGREGADO GRUESO

El ensayo de desgaste en la máquina de los Ángeles de la grava se llevó a cabo para indicar la calidad del agregado. En la Fotografía 11 se observa este procedimiento, donde se verificó que el tambor estuviera limpio para colocar el material y las esferas correspondientes. Se hizo girar el cilindro de manera uniforme hasta completar 500 revoluciones. Una vez terminado este procedimiento, el material resultante se separó en un tamiz No.12.

3.5.3 DENSIDAD BULK

Para este ensayo se procedió a colocar el material en el recipiente, en tres capas de igual tamaño hasta llenarlo. Cada capa se apisonó uniformemente con 25 golpes de varilla, se evitó tocar con la varilla el fondo. Solamente la capa que se deseaba apisonar y al finalizar este procedimiento se enrazo y se peso el material.

FOTOGRAFÍA 11. Desgaste en la máquina de los Ángeles para el agregado grueso.



Fuente: Autores del proyecto, 24 de julio de 2012

El ensayo de la densidad Bulk se le efectúa tanto al agregado grueso como al agregado fino, para determinar el peso unitario y el porcentaje de vacíos que pueden presentar los materiales, al estar en estado suelto y compactado. Para el desarrollo de este trabajo fue necesario llevar a cabo este laboratorio para determinar el peso unitario compactado de los agregados para la ejecución del diseño. El resultado de dicho procedimiento se encuentra en la Tabla 10, como los resultados obtenidos en el ensayo.

3.6 RESULTADOS

3.6.1 CARACTERIZACIÓN ESTÉRIL DEL CARBÓN

3.6.1.1 GRANULOMETRÍAS

Se desarrollaron los ensayos de granulometría y se estableció el cálculo del peso que pasa, lo cual, se utiliza para graficar los límites granulométricos.

3.6.1.2 DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Los resultados de este laboratorio se encuentran en la tabla número 4, donde se halla un desgaste del 45%.

TABLA 4. Resultados ensayo desgaste.

Prueba N°	1
Gradación usada	A
Numero de esferas	12
Numero de revoluciones	500
Peso muestra seca antes de ensayo (gr)	5003,7
Peso muestra seca después de ensayo (gr)	2740,8
Perdidas	2262,9
% Desgaste	45%

Fuente: Autores del proyecto. 26 de Julio de 2012

3.6.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO Y EL AGREGADO GRUESO

3.6.2.1. GRANULOMETRÍA AGREGADOS.

3.6.2.1.1 GRANULOMETRÍA AGREGADO.

En la tabla 5 se muestran los resultados de la granulometría de la grava 1, donada por la “Ferretería el Cóndor” y en la tabla 6 se muestran los resultados de la granulometría de la arena de la misma procedencia. Con el porcentaje retenido se determinó el modulo de finura de 2,09.

TABLA 6. Granulometría agregado fino 1

Tamiz N°	Aber. mm	W corr. g	% Ret. %	% que pasa %
4,00	4,76	22,70	1,41	98,59
8,00	2,36	144,98	9,01	89,58
16,00	1,18	142,18	8,84	80,74
30,00	0,60	84,49	5,25	75,49
50,00	0,30	580,93	36,11	39,38
100,00	0,15	514,94	32,01	7,37
200,00	0,07	116,49	7,24	0,13
Fondo		2,10	0,13	0,00
Suma		1608,80	100,00	
Error (%):		0,00		

Fuente: Autores del proyecto, 30 Julio 2012

TABLA 5. Granulometría grava 1.

Peso del Platón (g):			330	4489,2
Peso muestra sin lavar + platón (g):			4819,2	
Tamiz	Abertura	W ret.	Corre.	% % que pasa
N°	mm	g	g	%
1 ½	38,1	0,00	0,00	100,00
1"	25,4	0	0,00	100,00
¾"	19,05	575,1	0,06	87,19
½"	12,7	1698,00	0,19	49,36
⅜"	9,52	873,5	0,10	29,90
4	4,76	1155,9	0,13	4,15
8	2,36	160,3	0,02	0,58
16	1,18	11,7	0,00	0,32
30	0,6	1,8	0,00	0,28
50	0,3	2,1	0,00	0,23
100	0,15	4	0,00	0,14
200	0,074	3,4	0,00	0,06
Fondo		2,9	0,00	0,00
Suma		4488,7		
Error%		0,0		

Fuente: Autores del proyecto, 30 Julio 2012

TABLA 7. Desgaste agregado grueso 1.

Prueba N°	44
Gradación usada	B
Numero de esferas	11
Numero de revoluciones	458
Peso muestra seca antes de ensayo (gr)	5003,5
Peso muestra seca después de ensayo (gr)	3425,8
Perdidas	1577,7
Desgaste	32%

Fuente: Autores del proyecto. 1 de Agosto de 2012.

3.6.3 DENSIDAD BULK.

El resultado del procedimiento del laboratorio de densidad con el cono de Bulk, se encuentra en la Tabla 8, que son los resultados obtenidos en el ensayo.

TABLA 8. Ensayo Densidad de Bulk agregado grueso

	No Platón	48
	Peso Platón (gr)	203,4
	Peso molde (gr)	4,4
	Φ Molde (m)	0,266
	Altura molde (m)	0,24
	Volumen molde (m ³)	0,013
	Masa unitaria suelta (Kg)	Masa unitaria comp. (Kg)
Peso 1	18,12	19,12
Peso 2	18,16	19,19
Peso 3	17,92	19,3
Promedio	18,07	19,20
densidad Bulk compacta (M)		1109,93
densidad Bulk suelta (M)		1024,70

Fuente: Autores del proyecto. 1 de Agosto de 2012

3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.7.1 CARACTERIZACIÓN ESTÉRIL DEL CARBÓN

3.7.1.1 GRANULOMETRÍAS:

Con los resultados de la tabla 3, se procede a graficar los límites granulométricos. Inicialmente se toma el porcentaje que pasa desde el tamiz con abertura de 3/8" hasta el No. 100. Para realizar el análisis del estéril, como arena, con los límites de la tabla 8 presentados en el artículo 500.5 de la norma

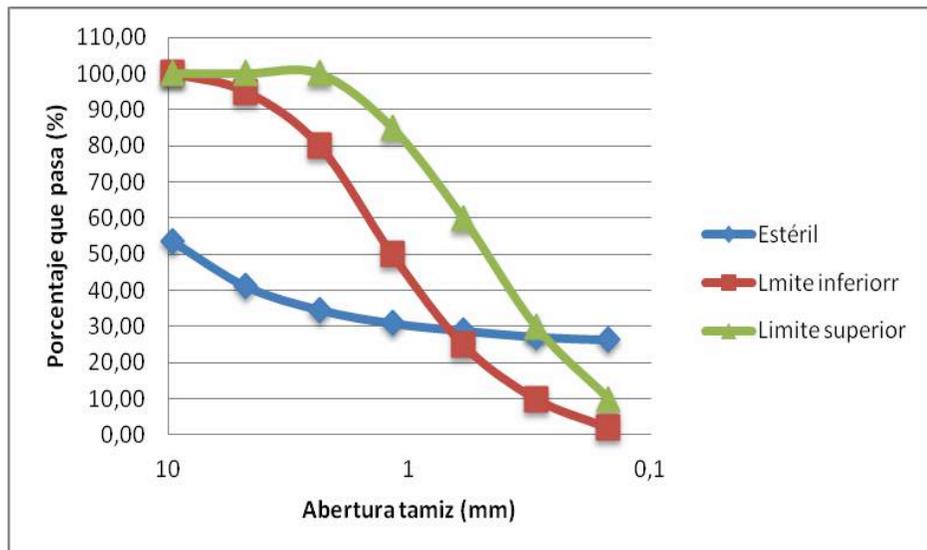
Invias 2007, se obtiene así en la figura 4, donde se denota la necesidad de agregar más partículas gruesas y quitar unas partículas finas.

TABLA 9. Granulometría agregado fino en concreto hidráulico

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
Normal	Alterno	
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	No. 4	95 – 100
2.36 mm	No. 8	80 – 100
1.18 mm	No. 16	50 – 85
600 µm	No. 30	25 – 60
300 µm	No. 50	10 – 30
150 µm	No. 100	2 – 10

Fuente: Artículo 500.5 Invias. 2007

FIGURA 4. Curva granulométrica estéril como arena



Fuente: Autores del proyecto. 10 de Julio del 2012

Por otra parte, para el estéril como agregado grueso, se utilizan los tamices con abertura de 2 ½" hasta No.8, para

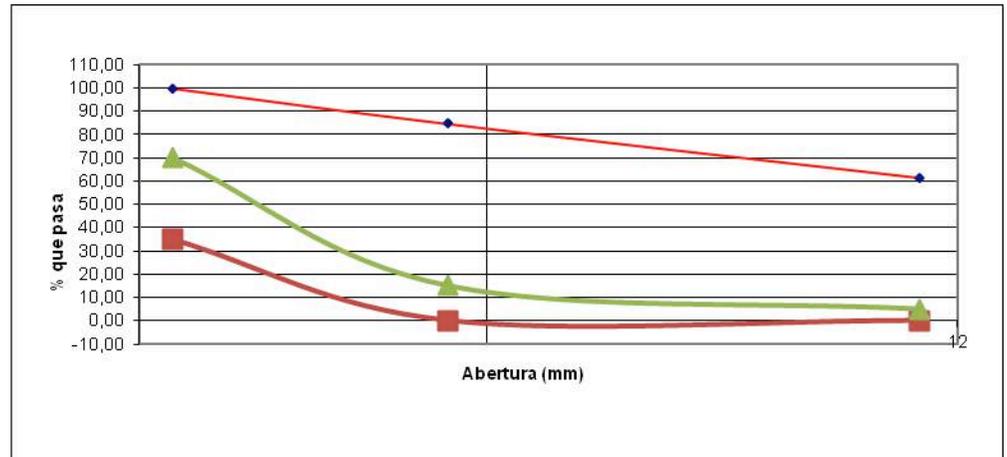
igualmente efectuar la curva granulométrica con los límites dados en la tabla 9, dividido en tres tipos de agregado según el diametro. En la figura 5, figura 6, figura 7, figura 8 y figura 9 se observan las curvas granulometricas de cada uno de los tamaños, para determinar cuál se adapta mejor a la gradación del estéril. En este procedimiento se definió que es necesario adaptar el estéril a la granulometria que se va a utilizar para ejecutar el diseño de mezcla, ya que la curva del estéril no está dentro del límite de ninguna de las curvas granulométricas de los diferentes diámetros.

TABLA 10. Granulometrías agregado grueso en concreto hidráulico

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA				
NORMAL (mm)	ALTERNO	AG1		AG2		AG3
		2" – 1"	1" – No. 4	1½"- ¾"	¾" – No. 4	1" – No. 4
63.0	2 ½ "	100	-	-	-	-
50.0	2"	90 – 100	-	100	-	-
37.5	1 ½ "	35 – 70	100	90 – 100	-	100
25.0	1"	0 – 15	95 – 100	20 – 55	100	95 – 100
19.0	¾"	-	-	0 – 15	90 – 100	-
12.5	½"	0 – 5	25 – 60	-	-	25 – 60
9.5	3/8"	-	-	0 – 5	20 – 55	-
4.75	No. 4	-	0 – 10	-	0 – 10	0 – 10
2.36	No. 8	-	0 – 5	-	0 – 5	0 – 5

Fuente: Artículo 500.5 Invías. 2007

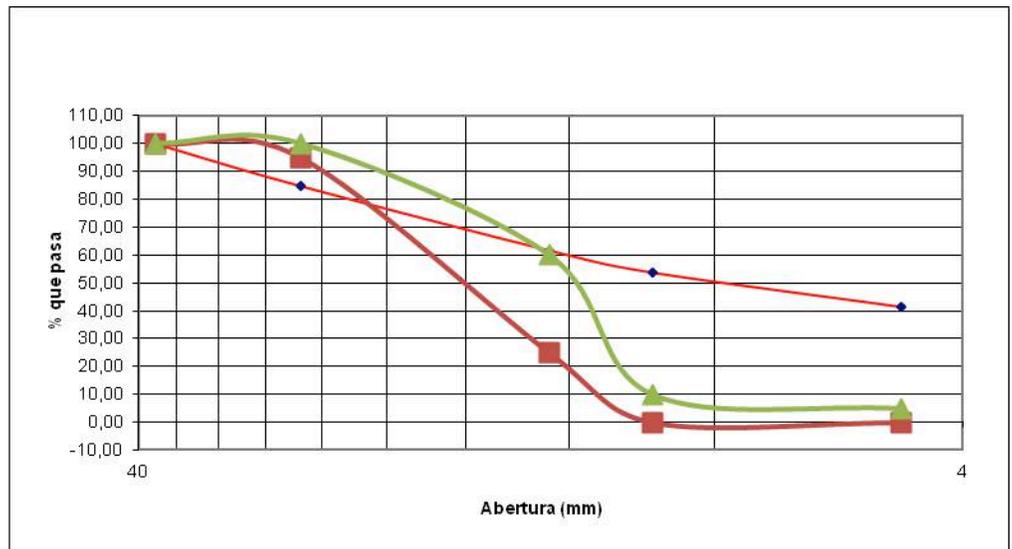
FIGURA 5. Curva granulometría AG1 2"-1"



Fuente: Edna Ávila y Andrés Soto. 12 de Julio 2012

En la figura 5 se observa la curva roja, representado al estéril, totalmente fuera de los límites, determinando que el estéril como agregado grueso de 2" a 1" no es viable.

FIGURA 6. Curva granulometría AG1 1" No. 4

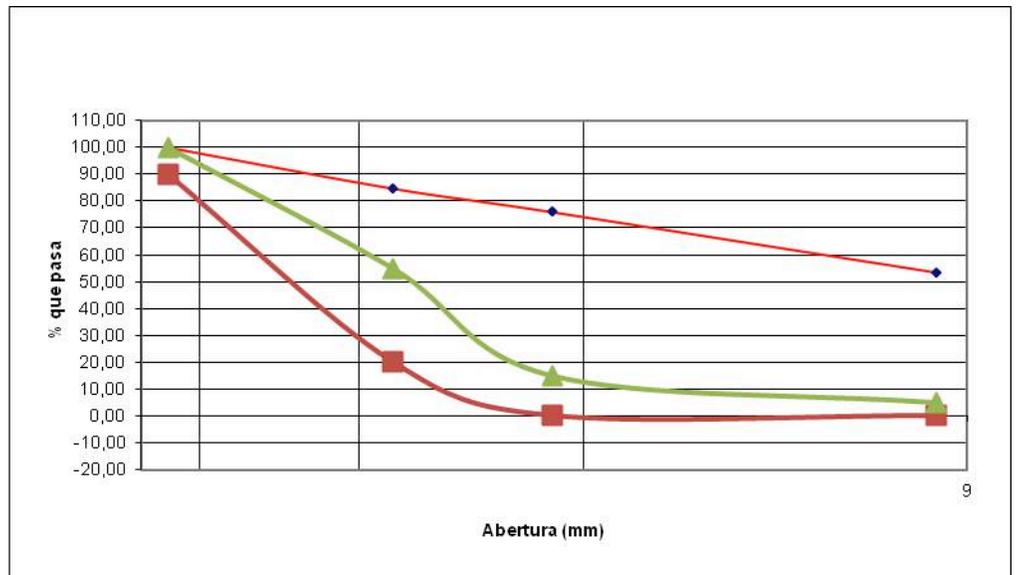


Fuente: Autores de proyecto. 12 de Julio 2012

La figura 6 muestra una curva de estéril un poco más

aceptable que la a anterior, pero es necesaria la adecuación del estéril para el buen funcionamiento. Donde se tiene que disminuir las partículas finas y aumentando partículas gruesas.

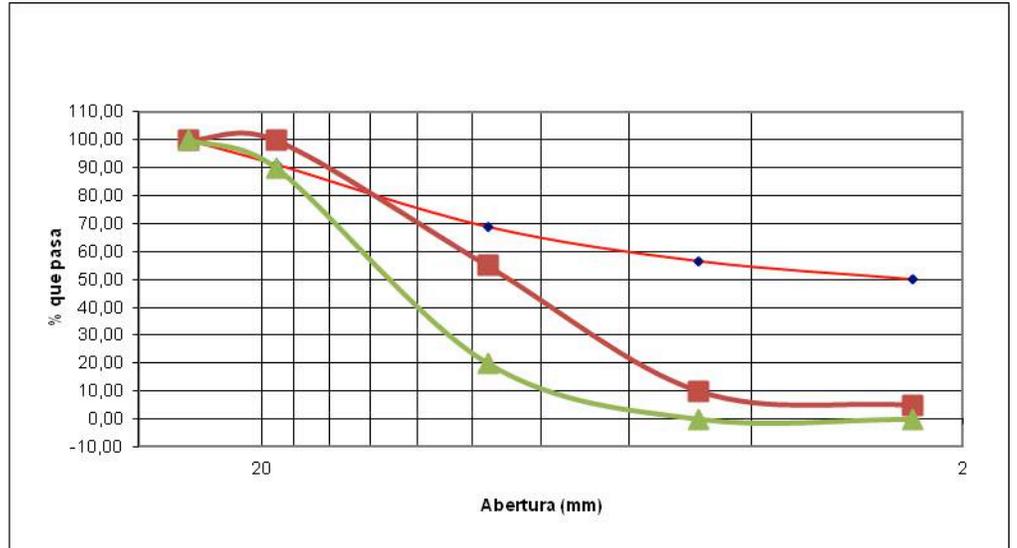
FIGURA 7. Curva granulometría AG2 1 1/2"- 3/4"



Fuente: Autores del Proyecto. 12 de Julio 2012

En la figura 7 se observa que la granulometría del estéril no es apta para agregado tipo 2, de 1/2" a 3/4".

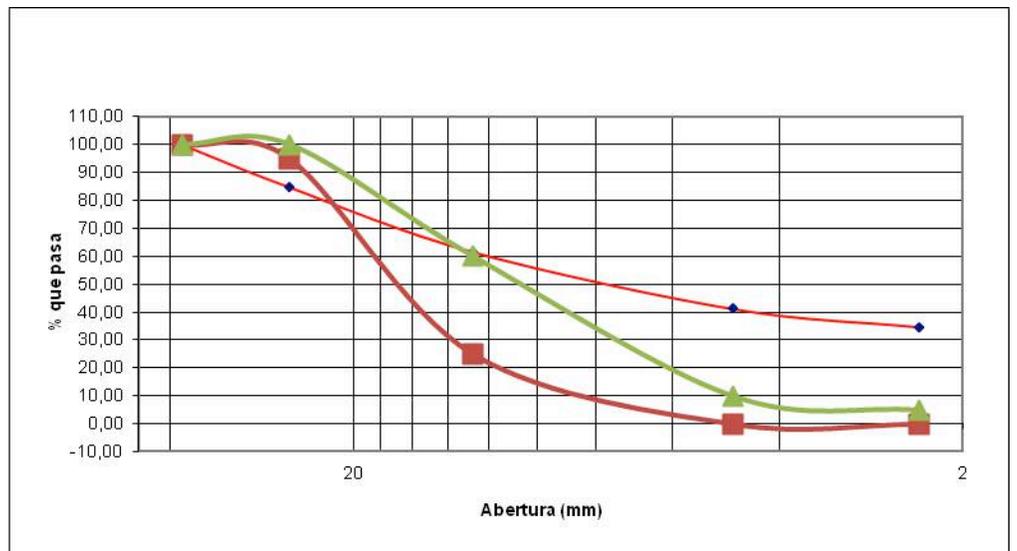
FIGURA 8. Curva granulometría AG2 3/4"-No.4"



Fuente: Edna Ávila y Andrés Soto. 12 de Julio 2012

La figura 8 muestra una curva granulométrica de estéril, que se puede adaptar a los límites del agregado grueso tipo 2 de 3/4 - No.4 al disminuir partículas que pasan el tamiz 3/8 hasta tamiz No.8.

FIGURA 9. Curva granulometría AG3 1"-No.4"



Fuente: Edna Ávila y Andrés Soto. 12 de Julio 2012

La figura 9 muestra la necesidad de adecuar al estéril de carbón, agregando más partículas gruesas y disminuyendo las finas.

3.7.1.2 DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.

El desgaste que presentó el estéril de carbón de la mina “Los Arrayanes” es del 45%. Según los requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico del artículo 500 del Invías el desgaste máximo en la máquina de los Ángeles a 500 revoluciones como es este caso, es del 40%. Pero en el Invías emitió un manual de diseño de concreto para pavimentos rígidos indicando en la Tabla 10, donde el desgaste se encuentra en función del número de camiones en el día, aceptando un desgaste del 45% con menos de 25 camiones por día. Teniendo en cuenta que no se va a reemplazar todo el porcentaje de agregado grueso por estéril sino solo una proporción, se decide manejar una grava con un buen desgaste para que el desgaste del estéril mejore considerablemente.

TABLA 10. DESGASTE RECOMENDADO EN MAQUINA DE LOS ÁNGELES

Fracción granulométrica (mm)	Número de camiones por día			
	>300	150 - 300	25 - 300	<25
4 a 20	< 20	< 25	< 30	< 40
> 20	< 25	< 30	< 35	< 45

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto

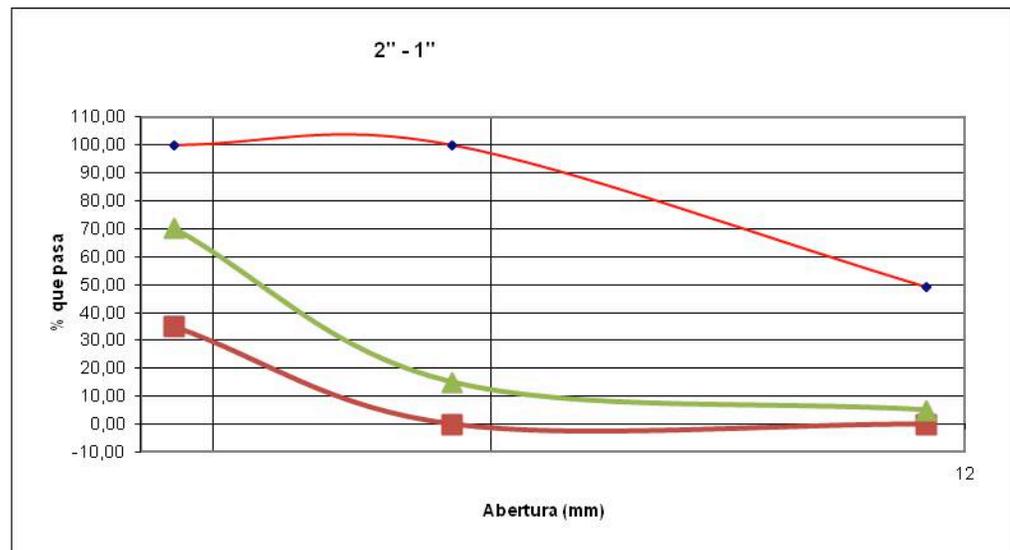
3.7.2. Caracterización del agregado fino y el agregado grueso:

3.7.2.1. Granulometría agregados.

3.7.2.1.1 GRANULOMETRÍA AGREGADO 1

Para verificar el cumplimiento de la gradación del agregado, se utiliza lo especificado en el artículo 500-07 de la norma Invías. Se utilizaron los límites granulométricos de la tabla 5. Posteriormente se graficó la curva en cada uno de los diferentes tipos de gradación.

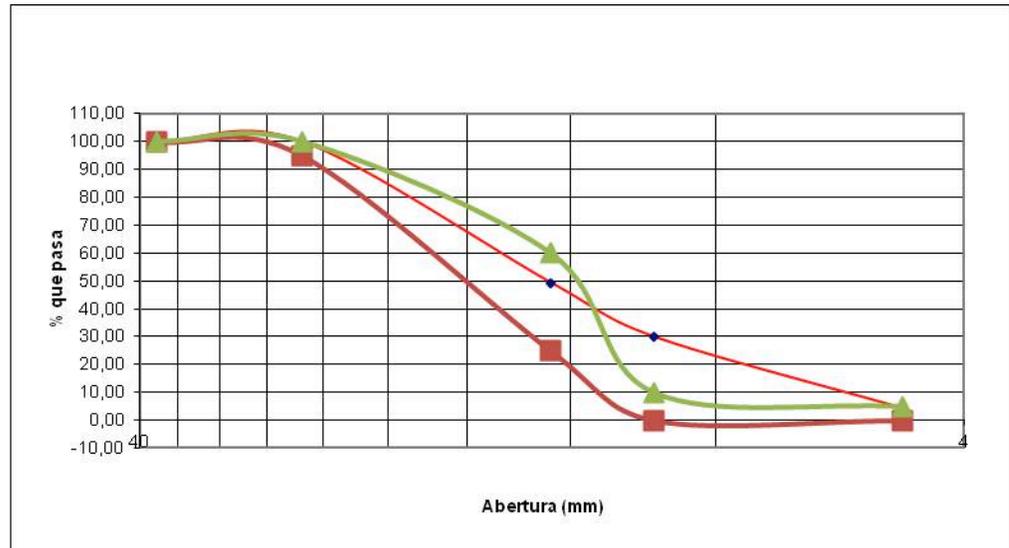
FIGURA 10. Curva granulometría AG1 2"-1"



Fuente: Autores del proyecto. 12 de Julio 2012

En la figura 10 se observa la no viabilidad de utilizar esta muestra como agregado grueso tipo 1, de 2" a 1" al no encontrar ningún punto dentro de los límites granulométricos.

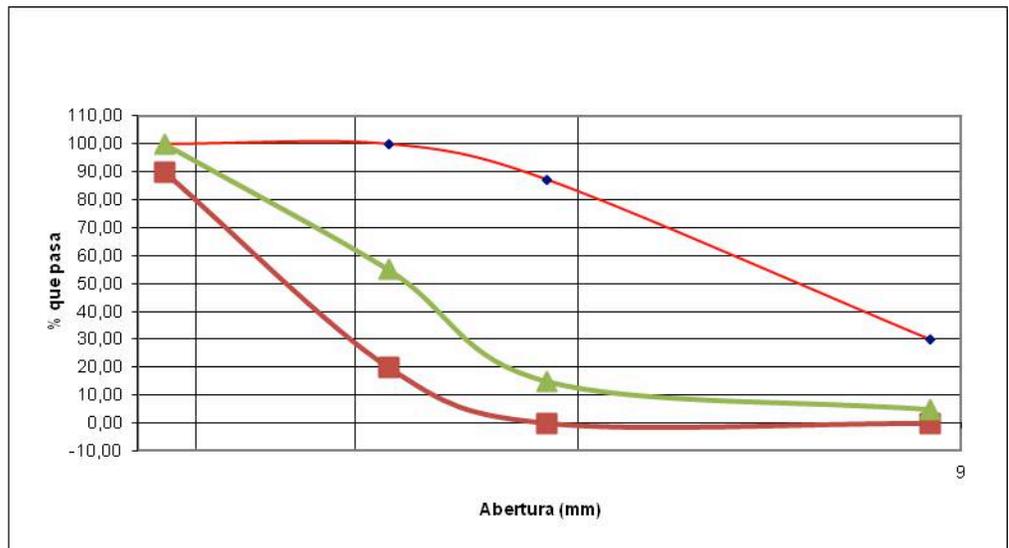
FIGURA 11. CURVA GRANULOMETRÍA AG1 1" No. 4



Fuente: Autores del proyecto. 12 de Julio 2012

La figura 11 muestra la necesidad de adaptar el material, disminuyendo partículas finas, para ubicarse entre los límites granulométricos.

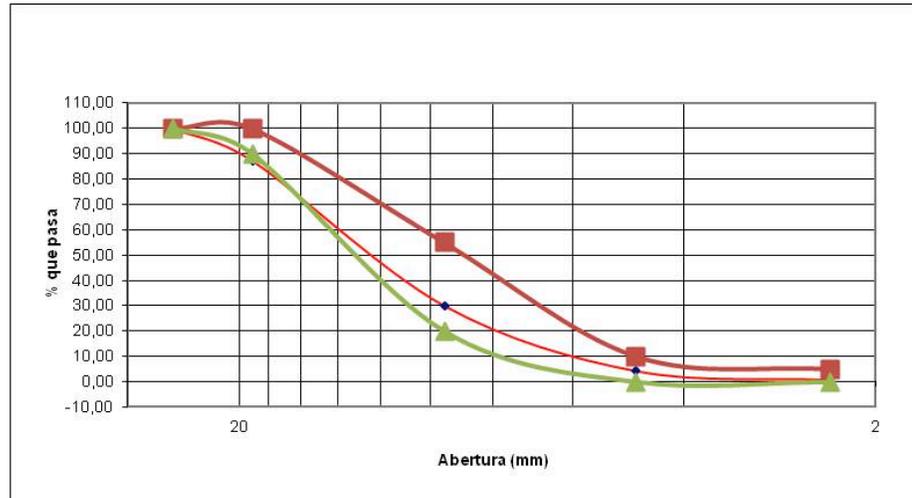
FIGURA 12. Curva granulométrica AG2 1 1/2"- 3/4"



Fuente: Autores del proyecto. 12 de Julio 2012

En la figura 12 se observa, que la muestra no es apta como agregado tipo 2, de diámetros entre 1 ½" a ¾."

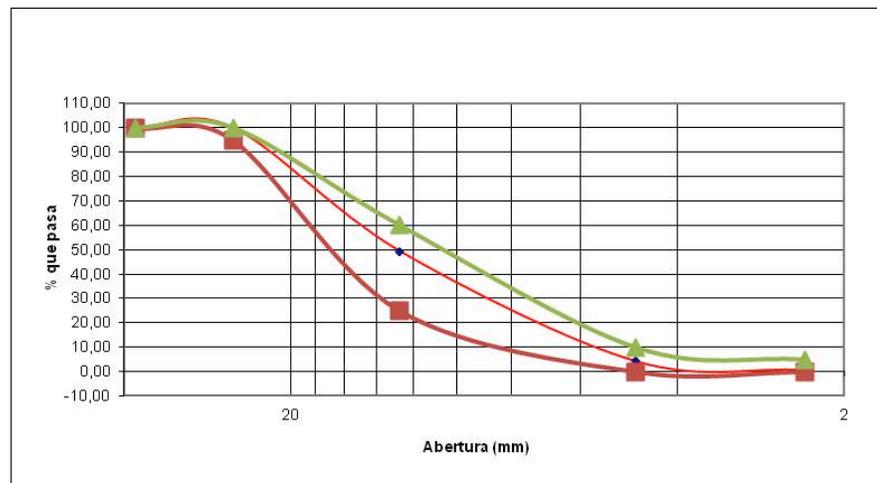
FIGURA 13. Curva granulometría AG2 ¾"-No.4"



Fuente: Autores del proyecto. 12 de Julio 2012

En la figura 13 se observa que la granulometría de este material, se encuentra perfectamente entre los límites del agregado tipo 2 de ¾ a No. 4.

FIGURA 14. Curva granulometría AG3 1"-No.4"



Fuente: Autores del proyecto. 12 de Julio 2012

Esta muestra también funciona, como agregado grueso tipo 3, tal y como se muestra en la figura 14 al estar dentro de los límites granulométricos.

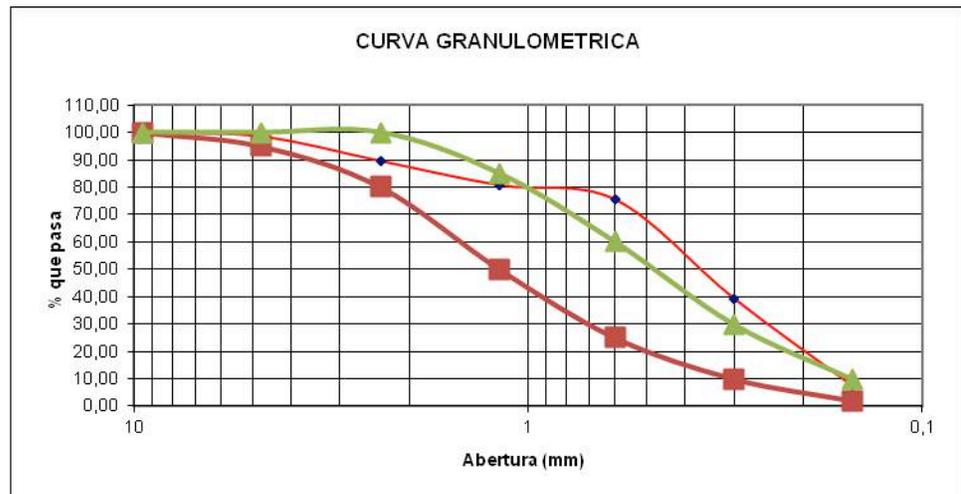
El agregado fino de la muestra 1, presenta la curva granulométrica de la figura 15, donde se observa que el material presenta un salto brusco en su granulometría y no cumple a lo largo de toda la curva, los límites granulométricos de la arena especificados en el artículo 500 de la norma Invías. Se calculó el módulo de finura de este material, especificado en la tabla 10, dando como resultado una finura de 2,1. Según lo especificado en el artículo 500 numeral 500.2.1.5, determinando que el módulo de finura debe encontrarse entre 2,3 y 3,1. Por ello, se hace necesaria la búsqueda de un nuevo material.

3.7.2.1. DESGASTE AGREGADO GRUESO

En los agregados gruesos una de las propiedades físicas importante y su conocimiento es indispensable, en el diseño de mezclas, es la resistencia a la abrasión o desgaste de los agregados. Es importante porque con ella se conoce la durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto para la fabricación de losas, estructuras simples o estructuras que requieran que la resistencia del concreto sea la adecuada para ellas. Este ensayo da a conocer del agregado grueso el porcentaje de desgaste que éste sufrirá, en condiciones de roce continuo de las partículas y las esferas de acero. Esto indica si el agregado grueso que se va a utilizar es el adecuado para el diseño de mezcla y para la fabricación de

concreto, con destino a la construcción de losas y pisos. El choque entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia, entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado, expresándolo como porcentaje inicial.

FIGURA 15. Curva granulometría agregado fino 1



Fuente: Autores del proyecto. 12 de Julio 2012

Como resultado del ensayo la grava cuenta con un desgaste de 32%. Teniendo en cuenta que el ensayo fue realizado a 500 revoluciones por minuto, según la norma Invías, la muestra de grava cumple con el desgaste en la máquina de los Ángeles, porque es inferior al 40%. Entonces, es apta para mezclarla con el estéril, ya que al ser combinadas mejoraría el desgaste de éste, para su utilización.

4. CONCLUSIONES:

A través de la curvas granulométrica del estéril, se observa que el material no cumple con las especificaciones esperadas al no estar ubicados dentro de los límites granulométricos. Se determina, que es necesario un proceso de trituración, para que el estéril sea utilizado como agregado grueso.

Según la curva dada en el ensayo de granulometría, el porcentaje de estéril que paso por los tamices 3/4 al No 100 se puede utilizar como agregado fino, si se extraen las partículas más finas.

El material estéril del carbón, presenta un alto porcentaje de desgaste (45%), teniendo en cuenta que el porcentaje máximo de desgaste para un concreto hidráulico es del 30%, entonces, no se podría utilizar. Sin embargo, no todo el porcentaje de agregado grueso se reemplaza por estéril, sino solo una parte. El estéril se implementa como agregado grueso combinándolo con una grava con excelentes condiciones de desgaste. Además al combinarlo con la pasta cementante, el estéril mejora sus propiedades de desgaste.

El agregado grueso, donado por la ferretería “El Cóndor”, al que se le practicó el ensayo de desgaste, dio como resultado 32%, por lo cual se determinó buscar otro material con mejores resultados en el laboratorio de desgaste en la máquina de los Ángeles. Así se tendrá un mejor funcionamiento del agregado al combinarlo con el estéril de carbón.

Las propiedades de los agregados dependen principalmente de las características de la roca madre de donde proviene.

5. RECOMENDACIONES

Es necesario que el estéril del carbón sea mezclado con cemento, para un mejor desgaste de la muestra.

El material no muestra propiedades cohesivas, por esta razón no es recomendable utilizarlo como material cementante.

6. BIBLIOGRAFÍA

CASAS GUZMAN, Rafael Alberto y ORDÓÑEZ SALGADO, Javier. La Ceniza como agregado en el concreto - su análisis químico y estructural. Bogotá: Universidad Santo Tomás.

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTOS DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX). Actualización de catálogo de residuos utilizables en la construcción. España 2007

CERDA, Hugo. Elementos de la Investigación. Editorial El Buho, Bogotá, 1998.

DÍAZ MOLANO, Beicy Liliana y GRISMALDO RODRIGUEZ, Tania Jimena. Concreto con adicción de escoria granulada pulverizada de siderúrgica de Acerías Paz del Río. Tunja: Universidad Santo Tomás, 2008.

ELÍAS CASTELLS, Xavier. Reciclaje de residuos industriales. España: Ediciones Díaz de Santos, S.A. 2000.

HIGUERA, Pablo y OYARSUN, Roberto. Curso de minería y medio ambiente. España: Creativecommos,

IBARZABAL, J.L. Y VARGARCE, J.A. Los estériles de lavadero de hulla como material para la ncb. Utilization of colliery spoil in civil engineering, final perort project 6220-ec/8/808 European: Coal and steel community, July 1978

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Norma I.N.V.E. Colombia

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y GEOMINERO DE ESPAÑA. Manual de reutilización de resultados de la industria minera, siderometalúrgico y termoeléctrica, Madrid, 1995.

LATORRE CAÑON, Andrés. Industria del cemento en Colombia determinantes y comportamiento de la demanda. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2008.

ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EDIFICACIÓN. S.C. Norma NMX-C-111

PANCE DE LEÓN, Julio Montes, Medio ambiente y desarrollo, Madrid: Universidad Pontifica Comillas, 2001.

RAMÍREZ, Oscar. Apuntes de clase de geotecnia básica. Tunja: Uptc.2001.

RIVERA DÍAZ, Ingrid Alexandra y RODRÍGUEZ TORRES Oscar. Incorporación de sustratos orgánicos producidos en minas de carbón, para la revegetación en zonas de páramo. Avances de investigación en ingeniería, S.A. Bogotá: Universidad Libre. 2010.

ROMO PROAÑO, Marcela .Fundamentos de Hormigón Simple, Bogotá: Escuela Politécnica del Ejército. Capitulo 1.

SÁNCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Bogotá: Bhandar, 2001.

SOTO SOLARES, Ricardo Enrique. Evaluación y análisis de mezclas de concreto, elaborada con agregados de origen pétreo y escoria de acería. Universidad San Carlos, Guatemala, Mayo del 2008.

ZAGACETA GUTIERRES, Iván y ROMERO ORDOÑEZ, Ramiro. Pavimento de concreto hidráulico premezclado, México: Instituto Politécnico Nacional, 2008.