

ESTÉRILES DEL CARBÓN Y SU USO EN CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Edna Shirley Ávila Amezquita¹, Andrés David Soto Rubio¹, Héctor M. Sánchez Abri²

1: Ingeniero Civil, Universidad Santo Tomas. Tunja, Colombia

2: Doctorando en Ingeniería y Ciencia de los Materiales, UPTC. Tunja, Colombia.

* Contacto: hsancheza@ustatunja.edu.co

RESUMEN

Colombia tiene una gran producción de carbón y por ende genera desechos como por ejemplo el estéril del carbón. Se parte de la realidad minera y ecológica del 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 se tomó como referencia para desarrollar este estudio, el cual consistió en utilizar el estéril como un porcentaje del agregado grueso y fino en mezclas de concreto hidráulico, para posteriormente evaluar su resistencia a la compresión y con estos resultados predecir su resistencia a flexión para utilizarlo en las losas de los pavimentos rígidos. Los materiales utilizados en la elaboración de las mezclas de concreto, fueron grava de la planta de trituración Cantera Nobsa, arena de la cantera Vado Castro y cementos Holcim Portland tipo I. Así mismo, se hallaron sus características físicas para la obtención del diseño de mezcla, las mezclas también se sometieron a ensayos de asentamiento. Así pues, se recopiló toda la información resultante de los laboratorios y posteriormente se hizo el análisis de resultados. Las mezclas con estéril en general cumplen con la resistencia de diseño y generan mayor economía al implementar este material.

Palabras claves: *Estéril del carbón, Concreto hidráulico, Agregado fino y grueso, Diseño de mezcla*

ABSTRACT

Colombia has a big coal production and therefore generates wastes such as coal steriles. Based on the mining and ecological reality in Samacá town, pathway La Chorrera; where the mine “Los Arrayanes” is located, with an annual waste production of 823.5 tons. This mine is reference to develop this research. In this study is evaluated the use the sterile as percentage of aggregated, both thick and fine, for hydraulic concrete mixtures. The compression resistance was measured and based on these results was predicted the flexural strength for use in rigid pavement slabs. The materials used in the production of concrete mixtures were: gravel from Crushing Plant Quarry “Nobsa”, sand from Quarry “Vado Castro” and Holcim Portland cement type I. Physical characteristics were evaluated for obtaining blend’s design, the mixes also were subjected to slump tests. The results obtained in Laboratory were compiled and subsequently analyzed. Mixtures with sterile, generally, achieved the design strength and savings could be generated by implementing this material.

Keywords: *Sterile coal, hydraulic Concrete, Aggregate fine and thick, Mix design*

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene importancia debido a 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. Paralelo a esto, el estéril dejará de ocupar grandes espacios impidiendo el impacto visual que este genera al municipio y evitando la degradación que el estéril del carbón produce al tener propiedades mínimas orgánicas, lo cual impide el posterior uso de espacios para agricultura, ganadería, silvicultura, agricultura, entre otros. Así pues, se le da un buen uso de estos residuos de la explotación minera a través de la curación de 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.

Se efectuó el diseño de mezcla para una resistencia de 2000 psi 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 serán sometidas a ensayos de asentamiento. Así se cumple con el objetivo de obtener la dosificación óptima, a partir del establecimiento de las resistencias 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. 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, puesto que al mejorar las vías se aporta al desarrollo económico y a la calidad de vida inicialmente de los habitantes de la ciudad Tunja y Samacá.

2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 Caracterización estéril del carbón

2.1.1. Granulometría.

Se efectuó el laboratorio de granulometría con una muestra representativa del estéril del carbón tal y como sale de la mina. Los resultados se graficaron con límites granulométricos artículo Invias 500-07. La arena representa el 9,6% de la totalidad de la muestra de estéril. Debido a que el estéril no se encuentra en ninguna de las curvas granulométricas ya que en su mayoría posee partículas gruesas, se hizo necesario la adecuación del estéril, a través de un proceso de trituración, en este mismo procedimiento se extrae mayor cantidad de agregado fino, para que funcione como arena, dando como resultado una gradación más acorde a los límites granulométricos.

2.2. Caracterización de los agregados gruesos y finos.

Se ejecutaron los laboratorios de desgaste, equivalente de arena, humedad, densidad de bulk (masa suelta y compacta), gravedad específica y absorción a la arena de “Vado Castro”, la grava de triturados Nobsa, el estéril como grava y arena. En la tabla 1 se observan los resultados de los laboratorios para comparar con los parámetros de la norma Invias, y en la tabla 2 se encuentran los resultados de los laboratorios necesarios para el diseño de mezcla.

Tabla 1. Calidad de los agregados pétreos

ENSAYO	ESTÉRIL	ARENA	GRAVA	NORMA INVIAS ARTICULO 500-07
Módulo de finura	3,75	1,44		2,3 – 3,1
Desgaste en la maquina los Ángeles	45%		24%	< 40%
Equivalente de arena	68%			% min 60

2.3 Diseño de mezcla, elaboración y curado de muestras de concreto.

El diseño de mezcla se desarrolló con el método de Fuller y Tomson para una resistencia de 2000 psi, una resistencia promedio requerida de 3000 psi y un asentamiento de 3”. Para el estudio de estéril como grava se reemplazó el 5%, 10%, 15%, 20% y 25% en el volumen de agregado grueso y para analizar el estéril como arena se sustituyó el 40%, 50%, 60% y 70% de estéril en el volumen de agregado fino. Se procedió a la elaboración de mezclas de concreto para posterior encoframiento y curado de cilindros, efectuando dos muestras por cada porcentaje en dos mezclas con diferentes condiciones climáticas para efectos estadísticos, así se obtienen cuatro cilindros por porcentaje en cada una de las edades (3, 7, 28, 56 días), adicionalmente se elaboraron muestras sin estéril del carbón. Para un total de 160 muestras, se concibieron 20 mezclas las cuales fueron evaluadas con el ensayo Slum donde se obtuvo un asentamiento promedio de 3”.

Tabla 2. Resultados de algunos ensayos de caracterización física

Material/ Característica	Estéril como arena	Estéril como grava	Grava de Nobsa	Arena Vado Castro
Peso unitario compacto (kg/m ³)	936,95	1.442,3	1.674,33	1.211,88
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1.027,97	1.298,86	1.505,8	1.056,22
Humedad (%)	0,23	0,23	0,17	0,14
Absorción (%)	2,97	3,84	1,06	2,24

2.4 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

En este paso se buscó determinar la resistencia a la compresión de los cilindros mezclados con estéril como agregado fino y grueso. Esta se halló a través del ensayo de resistencia a compresión de cilindros en concreto estipulado en la norma Invias especificación 410. En la figura 1 Se encuentra el resumen de todos los resultados promediados de las resistencias de las muestras falladas a compresión en las diferentes edades y con las mezclas de concreto con adiciones de

estéril como grava en los porcentajes ya estipulados. De la misma manera, en la figura 2 se encuentra toda la información con respecto al estéril remplazado un porcentaje del agregado fino, con las respectivas edades de falla y resultados de resistencia.

2.5 Módulo de rotura del concreto y costos por metro cubico de concreto

2.5.1. El módulo de rotura o resistencia a flexotracción.

Es indispensable para efectuar el diseño de pavimento rígido, siendo un parámetro que controla el agrietamiento por fatiga del pavimento, originada por la carga repetitiva de camiones.

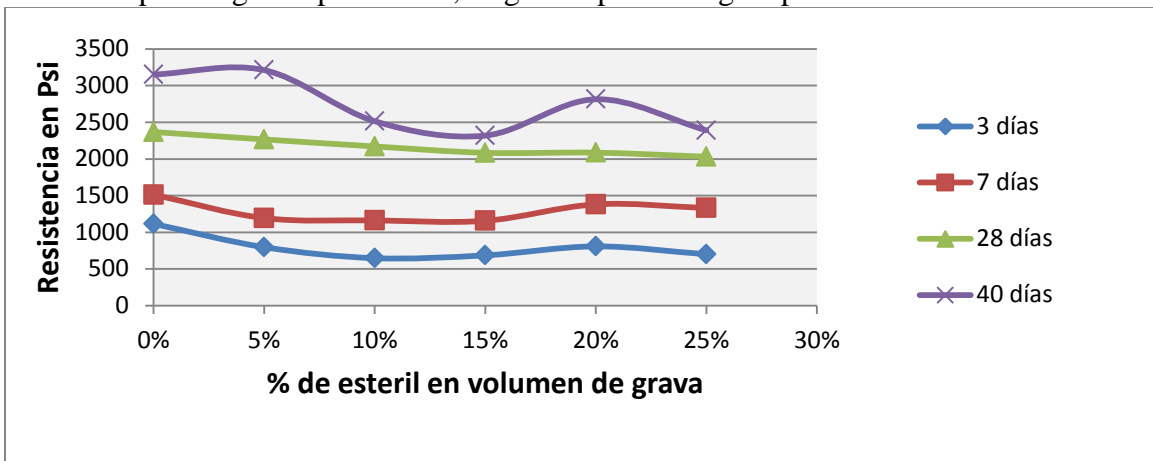


Figura 1. Resistencias, estéril como grava.

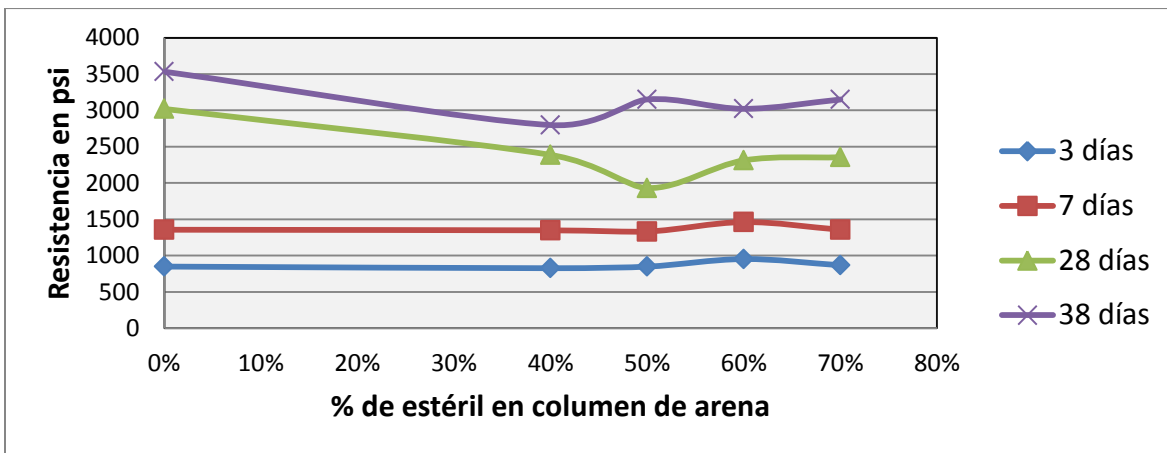


Figura 2. Resistencias, estéril como arena.

Como este proyecto esta guiado a la construcción de pavimentos rígidos, utilizando el concreto acá diseñado como superficie de rodadura o losa, es necesario hallar el módulo de rotura. La norma Ashto 93 para el diseño de pavimento rígido permite estimarlo a través de la correlación de las resistencias a compresión del concreto evaluadas a los 28 días de fraguado. Dando los resultados de la Tabla 3.

2.6 Costo de materiales en mezcla de concreto con estéril.

Se evidenció un ahorro hasta del 2% con respecto a la muestra sin estéril del carbón, basando en el costo de material por metro cubico.

3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El estéril del carbón extraído de la mina, no cumple con las especificaciones granulométricas al no estar ubicados dentro de los límites de porcentajes que pasan por cada tamiz. Se determinó, que el estéril debe pasar por un proceso de trituración, para que obtenga mejor gradación y más homogeneidad en la granulometría.

Tabla 3. Módulo de rotura mezclas de concreto con estéril

Porcentaje de estéril como grava	Módulo de rotura $S'c$ (Mpa)
5%	4,0
10%	3,9
15%	3,8
20%	3,8
25%	3,8
0%	4,1
Porcentaje de estéril como arena	Módulo de rotura $S'c$ (Mpa)
40%	4,1
50%	3,7
60%	4,0
70%	4,1
0%	4,6

El resultado de este proceso clasificó al estéril como arena que mejoró la gradación de la arena de Vado Castro, de esta manera el empalme entre estos agregados fue ideal para el rango que se debe trabajar para concretos hidráulicos. El material estéril como grava, presentó un alto porcentaje de desgaste (45%), pero el estéril mejora esta condición al combinarlo con una grava de alta resistencia al desgaste como la proporcionada por la cantera Nobsa. El estéril como grava, se puede utilizar en la totalidad del volumen solo cuando se maneje un factor granulométrico mayor a 20mm y un número de camiones por día menor 25, debido a su desgaste. El estéril cumple con el parámetro de equivalente de arena para agregados finos, al poseer el 68%, verificando que posee pocos limos o arcillas, que debilitarían la unión con la pasta cementante.

La proporción que presentó un mejor comportamiento de resistencia a compresión en el estudio de estéril como grava a los 28 días, es la muestra testigo, seguida de la mezcla con 5% de estéril como grava, pero a los 40 días la mejor resistencia la obtuvo la mezcla con el 5% de material en estudio, seguido por la mezcla sin estéril. En el caso de estudio de estéril como arena la mezcla con mejor resultado de resistencia la adquirió la mezcla sin estéril, seguida por la mezcla con 40% de estéril como arena. Al cabo de los 38 días, la mezcla sin estéril sigue siendo la de mejor resistencia, prosigue la mezcla de 50% con 3151 psi.

Las mezclas de concreto con estéril como grava reemplazando el 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de volumen de agregado grueso y las que contienen estéril como arena, reemplazando el 40%, 60% y 70% del volumen del agregado fino, cumplen con la resistencia de diseño de 2000 psi a la edad de diseño, es decir 28 días. Todas las mezclas con estéril del carbón aumentaron su resistencia al paso del tiempo, pero no en la misma proporción que la mezcla sin estéril del carbón. Esto indica que el estéril aumenta su resistencia en menor proporción con respecto a una mezcla sin estéril.

Las mezclas con el 10%, 15%, 20% y 25% de estéril como grava en el volumen del agregado grueso, se pueden utilizar en concretos hidráulicos para pavimentos rígidos, en vías con un número de camiones por día menor a 25 y las mezcla con 5% de estéril como grava, 40%, 60% y 70% de estéril como arena, son aplicables para tránsitos entre 25 y 159 camiones por día. Según el módulo de rotura hallado por aproximación a través de la correlación con resistencias a la compresión.

En las muestras con estéril, se halló una disminución de costos desde 0,2% hasta 2% para las mezclas con mayor contenido del material en estudio. Una de las muestras con buenos resultados de resistencia y adicionalmente buenas condiciones de ahorro en costos es la muestra con 70% de estéril como arena en el volumen del agregado fino, contando con \$3.109 pesos menos por metro cubico comparado con una mezcla sin estéril. Asumiendo un tramo de un kilómetro, 6 metros de calzada y 20 centímetros de espesor, representa un ahorro de \$3`730.000 pesos en el material de los agregados para la construcción de un pavimento rígido.

Se determinó como mezcla optima, la que contiene 40% de estéril como arena en el volumen de agregado fino, ya que presentó la mayor resistencia a los 28 días de las mezclas con estéril. Cabe anotar que se verificó el cumplimiento del asentamiento de diseño de 3". Adicionalmente, esta mezcla cuenta con un módulo de rotura aproximado de 40 kg/cm² siendo de tipo MR2 y por ello se puede aplicar en la construcción de pavimentos rígidos en vías con tránsito de camiones menor a 159 por día. Con respecto a los costos, esta mezcla presenta un ahorro de \$1.776 pesos por metro cubico, asumiendo un tramo de un kilómetro de longitud, 6 metros de ancho y 0,20 metros de espesor, representa un ahorro de \$2`131.200 pesos colombianos.

Aunque los resultados de resistencia a compresión y módulo de rotura fueron positivos, es necesario estudiar la durabilidad de las mezclas de concreto expuestas en este estudio para determinar su utilización en losas de pavimentos rígidos y demás construcciones en las que se puedan aplicar este estudio. Para así, encontrar la aplicabilidad del proyecto ya que si responde de forma positiva se mejora el impacto ambiental al evitar que estos estériles ocupen espacios necesarios para la agricultura, ganadería, silvicultura entre otros, permitiendo el crecimiento normal de las plantas. Evitando el contacto con el agua, que por efectos de escorrentía produce turbiedad y contaminación de ríos. Impidiendo el impacto visual y mal aspecto a la vereda y lo más importante, impediría la toxicidad que genera el estéril al ser respirado por seres humanos disminuyendo la posibilidad de enfermedades respiratorias.

4 AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Santo Tomás de Tunja y al Ingeniero Angelo Amezquita por su apoyo.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Instituto Nacional de Vías. “Normas de ensayos”. Colombia, 2007
2. Centro de estudios y experimentos de obras públicas (cedex). “Actualización de catálogo de residuos utilizables en la construcción”. España, 2007.
3. Asociación colombiana de productores de concreto (asocreto). “Tecnología concreto tomo 1-material, propiedades y diseño de mezcla”. Tercera edición. Colombia, 2010.
4. Sánchez, Héctor. “Apuntes de Clase de Pavimentos”. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás Tunja, 2011.