

BASES DE CARRETERAS CON ESCORIAS NEGRAS DE ACERÍA

ROAD BASES WITH BLACK STEELWORKS SLAG

Maile H. Boza Regueira¹, Eunices Sánchez Soler², Julio César Castro Jerez³

¹Prof. Asistente de la Universidad de Holguín, Cuba; mboza@uho.edu.cu, ²Prof. Auxiliar de la Universidad de Holguín, Cuba; eunice@uho.edu.cu

RESUMEN

Las bases de carretera constituyen un elemento importante dentro de la estructura del pavimento. Estas se realizan mayormente con áridos de origen natural extraídos frecuentemente de canteras. Los mismos constituyen recursos no renovables y su explotación trae aparejada cuantiosos daños ambientales. Se sabe, que en la actualidad la reutilización de los residuos se ha convertido en una práctica sostenible para contribuir al cuidado del planeta. Por ello, el presente trabajo persiguió la finalidad de evaluar la posibilidad de utilizar las escorias negras de la planta de aceros inoxidables ACINOX, Las Tunas para la conformación de bases de carreteras. Se basó en el análisis de las características de dicho residuo, la aplicación de los ensayos pertinentes, así como del estudio y comparación con los materiales de base usados tradicionalmente. A partir de estos resultados se pudo verificar que las escorias de ACINOX Las Tunas cumplen los requisitos necesarios para emplearlas como árido grueso en bases de carretera. Se comprobó que la resistencia al desgaste de estas escorias supera en un 39 % a la del árido convencional. Se realizó un análisis económico que valoraba la inclusión de la escoria negra como material de base en la circunvalación sur del municipio Las Tunas, actualmente en reparación. El mismo demostró que sería más factible el empleo de este residuo, pues su lugar de depósito se ubica a dos kilómetros de la circunvalante, mientras que la cantera utilizada para ello se localiza 42 kilómetros.

Palabras clave: bases de carreteras, escorias negras de acería; cantera; granulometría; medioambiente.

ABSTRACT

Road bases are an important element within the pavement structure. They are mostly made with natural aggregates extracted frequently from quarries. These are non-renewable resources and their exploitation entails considerable environmental damage. It is known that today the reuse of waste has become a sustainable practice to contribute to the care of the planet. For that reason, the present investigation pursued the purpose of evaluating the possibility of using the black slag of the stainless steel plant ACINOX, Las Tunas for the conformation of road bases. It was based on the analysis of the characteristics of this residue, the application of the pertinent tests, as well as the study and comparison with the base materials used traditionally. From these results it was possible to verify that the ACINOX Las Tunas slag meets the necessary requirements to use it as a coarse aggregate in road bases. It was proven that the wear resistance of these slags is 39% higher than that of conventional aggregate. An economic analysis was carried out to evaluate the inclusion of black slag as a base material in the south ring road of the municipality of Las Tunas, which is currently being repaired. The same showed that it would be more feasible to use this waste, as its place of deposit is located two kilometers from the ring road, while the quarry used for it is located 42 kilometers.

Keywords: road bases, black steel mill slag; quarry; granulometry; environment.

1. INTRODUCCIÓN

El uso irracional y acelerado de los recursos naturales acapara la atención de no pocos en el planeta. El hombre en su afán de satisfacer sus necesidades ha llegado a actuar de manera irresponsable en lo que a utilización de los bienes ofrecidos por la naturaleza se refiere. Esto ha traído como consecuencia irreparables pérdidas al medio ambiente. Factores como el crecimiento poblacional y el demandado aumento de las obras de construcción agravan lo anterior. Se impone en nuestro andar diario una mentalidad superior en cuanto a minimización y gestión de recursos. Estas acciones, que aún son incipientes, se deben multiplicar con el pasar de los años, para así contribuir a la disminución de los recursos en su forma originaria.

Los áridos de origen natural están considerados la segunda materia prima más utilizada en el planeta, sólo superada por el consumo de tan preciado líquido como el agua. Esto presupone una extenuación paulatina de las canteras de las cuales se extraen dichos materiales. Su demanda como recurso no renovable supera los volúmenes extraídos y surge la necesidad de reemplazarlos por materiales alternativos como, por ejemplo, los residuos generados por las producciones industriales.

En tal sentido la industria siderúrgica destaca por generar grandes volúmenes de residuos sólidos entre los que sobresalen las escorias resultantes de su proceso productivo. Estas no son más que un subproducto de la fundición en la purificación de los metales. Constituyen una mezcla de óxidos metálicos con algunos sulfuros y átomos de metal. Aparecen en nuestro contexto alrededor de 3000 años atrás con el inicio de la producción del hierro de forma sistemática en Asia y su posterior extensión a Europa. (Payne, 2017)

Las escorias obtenidas de la producción del acero se componen fundamentalmente de calcio, hierro y silicato de magnesio. Su clasificación, o contenido de dichos componentes principales, depende de la tecnología con que se obtenga el acero. La misma se encuentra subordinada al tipo de horno empleado que puede ser: Horno Siemens Martin, horno al oxígeno y horno de arco eléctrico (HAE).

El proceso de obtención de las escorias de HAE reviste una singular importancia por ser la tecnología empleada en Cuba. Además, presenta un notable desarrollo en las más variadas geografías del planeta. Se emplean en muchas partes del mundo, en la fabricación del cemento, como agregados en la fabricación de hormigón, como material de base y sub base en los pavimentos, en la estabilización de subrasante y en la carpeta asfáltica como parte del ligante bituminoso.

Importantes trabajos publicados desde la década del 90 han expuesto la idoneidad e incluso la excelencia de la utilización de las escorias de HAE como material en capas de base. La experiencia en Estados Unidos, Bélgica, Japón, Alemania, Países Bajos y Australia ha demostrado que la escoria de acero, debidamente seleccionada, procesada, con edad adecuada y probada, puede ser utilizada como base granular en las carreteras con un número muy favorable de propiedades mecánicas, incluida la muy alta estabilidad y la solidez. En el propio Estados Unidos la práctica supera los 40 años, y debido a los buenos resultados en el uso del agregado, las autoridades aeronáuticas, hace varios años autorizaron la utilización de 750 mil toneladas de escoria de acería para la base de la pista de aterrizaje del aeropuerto internacional de Pittsburg, el que ha cumplido su función desde entonces. (Choque, 2012). Italia también cuenta con una activa participación en el uso de las escorias de HAE, autores como Passeto y Baldo (2011), dan fe de lo anterior. España es un país que se ha posicionado a la vanguardia en este tema. En la Comunidad Autónoma del País Vasco, por citar algún ejemplo, se han realizado numerosos tramos en los que el 100% del árido utilizado en las bases granulares procede del HAE. (CEDEX, 2013)

Latinoamérica tampoco queda rezagada, países como Brasil, Argentina y Chile hacen uso de este residual en bases y sub bases. En Río de Janeiro, por ejemplo, se seleccionaron tres tramos de una avenida con altos volúmenes de tránsito en el parque industrial de Santa Cruz. Según Sánchez (2016) el árido de escoria presentó buenas características como coeficiente de desgaste inferior al 20% y un índice CBR superior al 100%. En Chile se usaron, más de 2 millones de toneladas de escoria en la construcción de una serie de caminos en las comunas de las localidades de Puchuncaví y Quintero, que generó un ahorro al estado en cerca de 525 millones de pesos.

En Cuba, aún no se ha aprovechado potencialmente todos los beneficios de los residuos siderúrgicos en cuestión. A pesar de ello, se han presentado algunos trabajos que invitan al aprovechamiento de dicho

residuo siderúrgico como material alternativo para la construcción de viales de mayor resistencia. En la región central, por ejemplo, la escoria negra se ha empleado en la reparación de la Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara; aquí se utiliza escoria de la producción siderúrgica a partir de las propiedades químicas del material, que permiten su empleo en los trabajos de pavimentación. (Payne, 2017)

En el trabajo que realiza Díaz *et. al*, (2012) sobre las escorias de ANTILLA de acero en La Habana se logra realizar una caracterización de este material como árido fino y grueso. En el caso del árido fino este resultó ser una arena gruesa que presenta una granulometría discontinua, elevado por ciento de huecos, altos pesos específicos y unitarios, y bajo porcentaje de absorción de agua e impurezas. El árido grueso, por su parte, presenta una granulometría continua, un tamaño máximo de árido de 25.4 mm, elevado por ciento de huecos, altos pesos específicos y unitarios, y bajos por ciento de absorción de agua e impurezas. Según datos ofrecidos por el ingeniero Pedro Fournier, la capital nacional el MICONS hizo uso de un volumen de escoria en la fábrica Antillana de Acero. La misma tuvo la función de base de relleno para el montaje de una subestación eléctrica. Los resultados han sido altamente satisfactorios.

Al emplearse este subproducto en construcción de infraestructura vial se evita explotar nuevas canteras, se mantiene el paisaje de la zona; pues, como no requiere procesar los agregados se reduce el consumo de energía y combustibles, y se subyugan las emisiones de CO₂ al ambiente. (Carrillo y García, 2012).

De hecho, esta sentencia de Carrillo resulta muy interesante si se analiza que en la provincia Las Tunas existe una planta de aceros inoxidable que emplea esta misma tecnología y se ubica a menos de un kilómetro de la circunvalante norte que se encuentra en reparación en los momentos de la investigación. En dicha planta se generan 2 toneladas de escoria blanca por cada colada de acero y de 6 a 8 toneladas de escoria negra, para un promedio anual de 14 mil seiscientas toneladas de esta última. La misma, resulta la de mayor urgencia pues se genera un monto mucho más considerable y carece aún de solución alguna. Actualmente se depositan en rellenos sanitarios todos los volúmenes de escoria que se generan como resultado del proceso productivo. Además, existen grandes cantidades acopiadas que se han almacenado en este mismo lugar durante años y actúan como agentes contaminantes del medio ambiente. Por lo cual esta investigación reviste gran importancia para la localidad y puede ser analizada desde dos aristas fundamentales: económica y medioambiental. La primera se centra en el incremento de los precios en el mercado de los áridos de origen natural y los elevados costos de transportación de estos desde la cantera ubicada a 30 kilómetros de la circunvalación de Las Tunas. La segunda se basa en la disminución de la explotación de recursos no renovables, la reutilización y reducción de residuos industriales, la restauración del paisaje y mejor aprovechamiento de los suelos.

2. METODOLOGÍA

Esta investigación se basa en la realización de los ensayos de laboratorios definidos en la NC-255: 2005 para comprobar si las escorias de acería pueden emplearse como bases de carreteras tipo Macadam. En aras de conocer más sobre las características técnicas de la vía y la tecnología constructiva a emplear se conversa con el Ing. Boza, especialista del grupo técnico a cargo de la construcción de la carretera. El mismo expone que el pavimento tendrá un espesor de 40 cm por proyecto. La subbase poseerá 20 cm de espesor de un suelo A1. La capa base contará con 10 cm de espesor y el material usado será Macadam. Sobre la capa anterior se situarán dos capas de hormigón asfáltico caliente denso y semidenso, de 4 y 3 cm respectivamente. Por último, se conformará una capa de rodadura de 3 cm de espesor.

El material de subbase proviene de las canteras El Parazo y La EIDE mientras que el material de base es traído de la cantera José Rodríguez. Basados en las investigaciones antes expuestas, la importancia de la obra y la lejanía a la que se encuentra la cantera de Las Parras, se valora la sustitución total de los áridos de la base por escoria de HAE. Para verificar si esto es posible se deben realizar los ensayos establecidos a los materiales granulares que pueden usarse como Macadam. En la tabla 1, se listan los mismos, con su norma y una breve descripción y procedimiento.

Tabla 1. Ensayos para verificar la calidad de los áridos en bases granulares

Ensayos	Norma	Procedimiento
Determinación partículas de arcilla	NC 179:2002	<ol style="list-style-type: none"> 1. Secar la muestra hasta un peso constante. 2. Separar las partículas de arcilla mediante tamizado. 3. Determina el por ciento que representa de la muestra total
Partículas planas y alargadas	NC 189:2002	<ol style="list-style-type: none"> 1. Separar de manera visual las partículas con forma plana y alargadas (aquellas que resulten dudosas deben medirse con un pie de rey) 2. Determina el por ciento que representa de la muestra total.
Granulometría	NC 178:2002	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pasar la muestra por una tamizadora 2. Pesar el material retenido en cada tamiz 3. Obtener las curvas granulométricas
Desgaste de Los Ángeles	NC 188:2002	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar en la máquina de Los Ángeles la muestra y la carga abrasiva. 2. Hacer girar hasta alcanzar 500 revoluciones a 30 y 33 rpm. 3. Lavar y secar en la estufa el material retenido en el tamiz No.16 4. Pesarlo. La diferencia de peso se reporta como el por ciento de desgaste

El coeficiente de desgaste de Los Ángeles constituye uno de los más relevantes pues incide directamente en la resistencia que tendrá la base. Por ello, se valida estadísticamente los resultados obtenidos en este. Antes de realizar los ensayos, primero debe realizarse un muestreo de los materiales a ensayar.

Toma de muestras

Se toma una muestra del material de base (rajoncillo) empleado en la circunvalante de la ciudad de Las Tunas para tomarlo como referencia o muestra patrón. Esta fue recolectada el 20 de marzo de 2018 de la propia circunvalación. La escoria de HAE muestreada proviene del relleno sanitario de la planta ACINOX Las Tunas. El vertedero se encuentra aproximadamente a unos 500 metros de la fábrica. La escoria es recogida el día 19 de marzo de 2018. Se verifica de forma visual que la misma estuviera adecuadamente envejecida, a partir de los conocimientos adquiridos en la revisión bibliográfica y teniendo en cuenta la información brindada por trabajadores de la zona acerca de las que llevan más tiempo en deposición. Ambas muestras se envasaron en sacos y se trasladaron a la ENIA del municipio Holguín para realizar los ensayos pertinentes. Se cuidó que la escoria no se contaminara con arcillas u otras materias extrañas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos fueron realizados cumpliendo los requerimientos establecidos en las normas cubanas correspondientes a cada uno de los parámetros como se indica en la tabla 1. En la tabla 2, se puede apreciar un resumen de los mismos y en la figura 1 se observa una muestra de ambos materiales.

Tabla 2. Resultados de los ensayos realizados a las escorias y la muestra patrón

Ensayo	Requirimiento NC255:2005	Muestra Patrón	Escoria de HAE
Granulometría	Uniforme	Uniforme	Uniforme
Partículas de arcilla	Libre de arcilla	Libre de arcilla	Libre de arcilla
Planas y alargadas	20 % máx	0 %	0 %
Abrasión	40 % máx	20,46 %	12,68 %



(a)



(b)

Figura1. Muestra de rajoncillo (a) y escoria de HAE utilizada en los ensayos

Finalmente se hace una validación estadística del ensayo de Los Ángeles por ser el más concluyente en el uso de cualquier árido en la construcción de bases granulares. Se utiliza para ello el software Statistical Product and Service Solutions (SPSS). Este programa es un sistema amplio y flexible de análisis estadístico y gestión de la información. Al igual que el resto de aplicaciones que utilizan como soporte el sistema operativo Windows el SPSS funciona mediante menús desplegables, con cuadros de diálogos que permiten hacer la mayor parte del trabajo simplemente usando el puntero del ratón. Su aplicación fundamental está orientada al análisis multivariante de datos experimentales. (Méndez y Cuevas, 2017).

Se selecciona un tamaño de muestra de 10. Luego de introducir los datos en el software se obtienen una serie de estadísticos descriptivos como los mostrados en la tabla 3:

Tabla 3. Resultados estadísticos del ensayo de abrasión de Los Ángeles

Descriptivos		Escoria	Rajoncillo
Media		4365.70	3976.89
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4327.74	3936.53
	Límite superior	4403.66	4017.25
Mediana		4376.50	3976.54
Varianza		2816.46	3995.50
Desviación estándar		53.07	3182.37
Mínimo		4265.00	56.41
Máximo		4423.00	3890.00
Error estándar		16.78	17.84

Valoración técnica de la propuesta

Luego de revisar los resultados de los ensayos es conveniente analizar cuan positivo puede resultar su utilización en la construcción de bases de carreteras. Al confrontar los resultados de los ensayos practicados a ambos materiales (ver Tabla 2) se comprueba que ambos materiales cumplen con los requerimientos establecidos por la norma cubana en cuanto a granulometría, partículas libres de arcilla y partícula planas y alargadas. Además, se aprecia que en estos aspectos los resultados arrojan valores muy similares. Las mayores diferencias se encuentran en el ensayo de abrasión donde la escoria presenta una resistencia superior al rajoncillo en aproximadamente un 39 %.

Por estas razones es posible afirmar que las escorias de HAE se pueden utilizar como sustituto del rajoncillo en las bases tipo Macadam para la construcción de carreteras. Esto se debe a que las escorias de HAE de ACINOX Las Tunas presentan propiedades ventajosas, entre las que destacan:

- Presentar una forma cercana al cubo (Figura 1), lo cual posibilita que haya un mayor tranque entre las partículas y un mayor rozamiento interno. Todo esto se traduce en una resistencia mecánica mucho más elevada de la base en su conjunto.
- Poseer un coeficiente de desgaste muy inferior que el del árido utilizado tradicionalmente (Tabla 2). Lo cual es una mediada de su excelente comportamiento ante cargas abrasivas y la poca degradación de sus propiedades mecánicas a lo largo del tiempo.

Valoración económica

Desde el punto de vista económico se observa por una simple evaluación de costos que el rajoncillo se compra a 18.97 pesos el metro cúbico. Para construir 1 metro lineal en la circunvalante sur se necesitan 10 metros cúbicos lo que da un costo de 189.70 pesos por cada metro lineal de carretera. La escoria de HAE se desecha, o sea que está libre de costos. Su costo de transportación es mucho menor que el del rajoncillo dado que este se traslada desde la cantera de Las Parras, distante a aproximadamente treinta kilómetros, y las primeras se depositan a tan solo dos kilómetros de la circunvalación. En estudios posteriores se puede realizar un análisis de costo más profundo pues estas escorias requieren ser transformadas a una granulometría específica. Esto es fácilmente subsanable si se lleva a cabo la instalación de un molino para la trituración del residuo siderúrgico lo cual sería de todas formas mucho más factible que transportar el árido convencional de la cantera a la obra en cuestión.

Valoración medioambiental

No puede hacerse a un lado el análisis medio ambiental que, de manera indirecta tributa con un carácter muy positivo la presente investigación, pues se habla de reducir o eliminar áreas que se usan actualmente como vertederos. Estas escorias de ACINOX se acopian constantemente en un lugar que deteriora el paisaje (ver figura 2), además limita el uso de los suelos y al ser depositadas en un lugar a cielo abierto actúan como agentes contaminantes del medio ambiente. Por lo tanto, al reutilizar este residuo se evita la explotación de canteras y se solucionan algunas de las problemáticas planteadas anteriormente.



Figura 2. Relleno sanitario para el depósito de las escorias.

Si analiza el problema desde otra arista se debe tener en cuenta otro ensayo muy importante para la valoración ambiental que es el de lixiviación. Este importante método se basa en la disolución de una muestra sólida con ácido acético durante 24 horas. En nuestro país no existen normas para verificar el grado de contaminación o los efectos negativos que pueda ocasionar el manejo de las escorias siderúrgicas. Carballo (2015) plantea en su tesis de grado que según la Instrucción Española EHE-1999 cuando no se tienen los antecedentes sobre la naturaleza de los áridos disponibles, se les realiza ensayos de identificación mediante análisis mineralógicos, petrográficos y físicos.

En Cuba el Centro de Investigaciones Metalúrgicas efectuó el análisis de lixiviación y eco toxicidad a las escorias negras y blancas de la Empresa Siderúrgica José Martí, más conocida como Antillana de Acero. En el mismo la concentración de metales pesados en la escoria de HAE, se encuentra por debajo del límite tóxico de acuerdo a la Legislación Europea.

Tabla 4. Óxidos principales presentes en las escorias de ACINOX Las Tunas y Antilla de Acero

Óxidos	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Cr ₂ O ₃	MnO
Escoria de planta ACINOX (%)	34	16	3,1	4,6	1,2	6,3
Escoria de planta José Martí (%)	29.65	15.76	4.1	4.48	1.14	1.16

Al comparar entre los porcentajes de óxidos más representativos de las escorias de HAE generadas en las plantas ACINOX Las Tunas y José Martí (ver tabla 4), se puede apreciar que las mismas poseen características similares. Debido a lo anterior se puede suponer que las primeras presentan resultados análogos a las segundas, en cuanto al análisis de lixiviación. Por consiguiente, se asume que las escorias de HAE no presentan riesgos de lixiviado y son medioambientalmente aceptables al ser usadas en obras de construcción.

4. CONCLUSIONES

1. Según los ensayos establecidos por la NC 255: 2005 se comprobó que las escorias de HAE cumplen con los requerimientos técnicos para su uso en bases de carreteras y a su vez, poseen características similares al árido convencional de la cantera Las Parras en cuanto a granulometría, partículas de arcilla y partículas planas y alargadas.
2. El ensayo de abrasión demostró que la escoria de HAE de ACINOX Las Tunas supera en un 39 por ciento la resistencia del árido convencional procedente de la cantera Las Parras lo cual enfatiza las ventajas de su inclusión como árido grueso en bases de carreteras.
3. La utilización de escorias de HAE en bases de carreteras constituye una propuesta técnica, económica y medioambientalmente factible pues reduce los costos de construcción y además contribuye a la minimización de los impactos ambientales provocados por estos residuos y la explotación de canteras que demanda la construcción.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carballo Ricardo, J. A. (2015). *Propuesta de utilización de escorias siderúrgicas en hormigones de 20 MPa*. (Tesis de Grado no publicada). Universidad de Holguín. Cuba
- Carrillo Gil, A., y García García, E. (2012). *Uso de las escorias de acería de horno de arco eléctrico en obras viales*. Pisco, Perú
- CEDEX (diciembre de 2013) *Catálogo de residuos utilizados en construcción*. Recuperado de: <http://www.cedexmateriales.es>

- Choque Hinojosa, R. D. (2012). *Viabilidad para el uso de la escoria de acería eléctrica como agregado mezcla asfáltica en la ciudad de Chimbote*. Huancavelica, Perú. (Tesis de grado). Recuperado de: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/224>
- Díaz, N., Soto, O. Soto, I. (2012). Evaluación de escoria de acería de horno eléctrico para su empleo como material de construcción, Minerva. *Pesquisa e Tecnologia*, 6(3), 313-320, Recuperado de: https://scholar.google.com/cu/scholar?lookup=0&q=Evaluaci%C3%B3n+de+escoria+de+acer%C3%ADa+de+horno+el%C3%A9ctrico+para+su+empleo+como+material+de+construcci%C3%B3n+&hl=es&as_sdt=0,5
- Méndez Valencia, S., & Cuevas Romo, A. (4. febrero 2017). *Fibao*. Abgerufen am 16. Recuperado de: www.fibao.es
- NC-255: 2005. *Carreteras. Colocación de Macadam por penetración. Código de buenas prácticas. Oficina de Normalización*. La Habana, Cuba
- NC-178: 2002. *Granulometría. Oficina de Normalización*. La Habana, Cuba
- NC-179: 2002. *Determinación de las partículas de arcilla. Oficina de Normalización*. La Habana, Cuba
- NC-188: 2002. *Áridos gruesos. Abrasión. Método de ensayo. Oficina de Normalización*. La Habana, Cuba
- NC-189: 2002. *Determinación de las partículas planas y alargadas. Oficina de Normalización*. La Habana, Cuba
- Pasetto, M., & Baldo, N. (2011). Mix design and performance analysis of asphalt concretes with electric arc furnace slag. *Construction and Building Materials*. 25 (8). 3458-3468.
- Payne Delíz, D. (2017). *Estabilización de la subrasante de carreteras empleando escorias de acería*. (Tesis de grado no publicada) Universidad de Holguín, Cuba
- Sánchez A, H. M. (2016). *Estado del arte de las escorias negras de horno de arco eléctrico. L'esprit Ingénux 7* (1). Recuperado de: <http://siecsa.com/siec-se-convierte-valorizador-escorias-aceria-horno-arco-electrico/>