

# EFFECTO DEL USO DE DESPERDICIO DE UNA SIDERURGICA EN BASES Y SUBBASES GRANULARES

## EFFECT OF THE USE OF STEEL MILL WASTES IN GRANULAR BASES AND SUBBASES

Por / By Fredy Reyes, Oscar Reyes

### Resumen

La Universidad Militar Nueva Granada y la Universidad Javeriana adelantaron una investigación conducente a determinar la viabilidad del empleo del desperdicio generado por la siderúrgica de Boyacá (Colombia), en la mejora de las propiedades físico-mecánicas de bases y subbases granulares utilizadas en la construcción de pavimentos. Los ensayos ejecutados para determinar los cambios en las propiedades mecánicas del material granular fueron el ensayo de proctor estándar, proctor modificado y C.B.R. Como conclusión se obtuvo que el índice de resistencia (C.B.R.) y la densidad del material se incrementó hasta en un 15%.

**Palabras clave:** Estructura de pavimento, desperdicio de alto horno de una siderúrgica, ensayo proctor, C.B.R.

### Abstract

The Nueva Granada Military University and Javeriana University implemented an investigation aimed at determining the viability of the use of wastes generated by the iron and steel industry of Boyacá (Colombia), with a view to improve the physical mechanical properties of granular bases and subbases in the construction of pavements. The tests performed to determine the changes in the mechanical properties of the granular material were the standard and modified Proctor and C.B.R. tests. As a conclusion, it was established that the resistance index (C.B.R.) and the density of the material increased by up to a 15%.

**Keywords:** Pavement structure, waste of high oven from a steel plant, proctor and CBR test

## 1. INTRODUCCION

Los crecientes problemas ambientales y energéticos del planeta se convierten en una variable primordial para la ejecución de cualquier obra civil. En el caso particular de la infraestructura vial el incremento de las cargas por eje en los vehículos pesados, el desarrollo de la tecnología automotriz y la carencia de materiales granulares con propiedades mecánicas y físicas acorde con las necesidades, han hecho que las instituciones de investigación adelanten procesos para desarrollar aditivos, los cuales generan o estabilizan las propiedades mecánicas de las capas que conforman la estructura de pavimento. Prueba de ello son las investigaciones sobre materiales del tipo polímeros que se introducen en las capas asfálticas, el empleo de cemento o cal en las bases y subbases granulares y aceites sulfonados en las subrasantes (IDU, 2000).

Con la preocupación del impacto ambiental que generan algunos materiales en el ambiente, se desarrollaron diferentes investigaciones en los laboratorios de la Universidad Militar Nueva Granada y Pontificia Universidad Javeriana, con el fin de determinar la influencia que tiene el desperdicio generado en el proceso de la elaboración del acero en las capas de bases y subbases granulares que conforman una estructura de pavimento.

### 1.1. Marco Teórico

Cuando se habla de siderúrgica se refiere a la fabricación del acero. En la época antigua 3000 a.c. se utilizaban adornos de hierro, los cuales eran endurecidos mediante tratamientos térmicos, de ahí empezó el tratamiento del hierro para llegar a diferentes aleaciones. El proceso consistía en calentar el mineral de hierro y carbón vegetal, donde se reducía el mineral a una masa de una escoria formada por impurezas metálicas y cenizas de carbón vegetal, luego se golpeaba y se extraía el hierro. En la actualidad los materiales para fabricar el arrabio o hierro colado son el mineral de hierro, el coque y la caliza. El coque se quema para calentar los altos hornos y libera monóxido de carbono (CO), el cual al arder se combina con los óxidos ferrosos reduciendo el hierro metálico.

Durante el proceso de elaboración del acero, se elimina una capa de metal fundido más liviana llamada escoria, por elementos químicos como la cal (CaO), periclase (MgO) y CaF<sub>2</sub> ferrocacinato (Escorias Siderurgias, 1985).

Al hacer la evaluación de las escorias se obtienen dos tipos, la escoria de reducción y la escoria de aceración. En el primer caso el residuo es de fusión de minerales fundamentales y cenizas como carbón vegetal, y el segundo, de hornos eléctricos que utilicen agentes oxidantes como el oxígeno gaseoso, los cuales generan escoria de aceración.

La escoria de cuchara, se forma a partir de la fusión de impurezas de minerales agregados en el proceso de aceración de producción del acero, con el fin de separar los óxidos como la alúmina y el sílice que permite hacer la mezcla necesaria para la elaboración del acero. La extracción de la escoria líquida de cuchara se hace aproximadamente a 1400°C, por ser esta la temperatura a la cual se hace la colada (Fagua, 2001). El enfriamiento puede ser rápido o lento dependiendo del proceso

de extracción, si el enfriamiento es rápido se puede obtener escoria granulada con la característica de endurecerse al contacto con el agua y se obtiene escoria cristalizada si el enfriamiento es lento. (López, 2002).

La escoria de aceración se separa durante y al final del proceso, obteniendo escoria con características diferentes tanto física como químicamente. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo de la producción de la escoria en el proceso siderúrgico.



Figura 1. Proceso siderúrgico

Usualmente las escorias son utilizadas en el mejoramiento de cementos, que les retarda el comportamiento de fraguado volviéndolo más lento. Con respecto a este estudio, no se encontró ni en la literatura internacional ni nacional información sobre el uso de escorias en bases y subbases granulares.

## 1.2. Metodología

El desarrollo de la investigación experimental se realizó en primera instancia con la caracterización del material granular con los ensayos de granulometría, contenido de materia orgánica, desgaste en la máquina de los Ángeles, equivalentes de arena, límites de Atterberg entre otros (Tabla 3). Posteriormente se determinaron las propiedades mecánicas y físicas del material para utilizar como reemplazo del granular (desperdicio de la siderúrgica).

Con las características mecánicas del material granular y las curvas granulométricas SBG-1 (subbase granular), BG-1 y BG-2 (Bases granular tipo 1 y tipo 2) (INVIAS, 1998), se procedió a realizar el ensayo proctor estándar y modificado a cada una de ellas, esto con el objeto de determinar la humedad óptima y con esta realizar los ensayos de CBR, cuyos resultados corresponden a la muestra patrón para todos los ensayos.

Las granulometrías empleadas para la investigación con desperdicio de alto horno corresponden a las curvas medias de las bases y subbases granulares del Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 1998), en las cuales se procedió a reemplazar material por desperdicio de los tamaños retenidos en los tamices No. 10, 40, 200 y fondo. Adicionalmente, pensando en procesos constructivos en obra, se realizó el reemplazo como un porcentaje del peso total de las muestras. (1.5, 2.5, 3.5, 5.0, 6.5 y 8.0%).

Para analizar la incidencia del desperdicio en las propiedades del material granular, se calculó la variación porcentual de las propiedades con respecto a la muestra patrón sin inclusión de desperdicio.

## 2. PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS DE LAS ESCORIAS Y MATERIAL GRANULAR

La escoria posee una alta fluidez, permitiendo el movimiento libre de los gases, y por su elevada temperatura aumenta su viscosidad y su solidificación, haciendo que se formen masas o grumos de escoria fina. La escoria granulada o enfriada al aire, presenta un color grisáceo y la escoria granulada o enfriada con agua es usualmente de color más claro.

Las variaciones químicas se encuentran en rangos limitados y están compuestas principalmente por óxidos como el Sílice, Alúmina, Cal y Magnetita, la proporción depende de los minerales utilizados en la elaboración del acero.

La composición mineralógica de la escoria depende de su composición química, encontrándose la ackermatita donde predomina la periclase (MgO) (Escorias Siderúrgicas, 1982), y la gelinita que está compuesta por alúmina, entre los más representativos. En la Tabla 1 se encuentra la composición de la escoria de la Siderúrgica de Boyacá, empleada en el estudio.

Tabla 1. Composición de la escoria de la Siderurgia de Boyacá

Compuesto		Porcentaje (%)
Óxido de Calcio	CaO	46.5
Óxido de Silicio	SiO <sub>2</sub>	19.6
Óxido de Hierro	FeO	0.7
Óxido de Magnesio	MgO	1.2
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01
Azufre	S	0.7
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.15

Fuente: Siderúrgica de Boyacá, 2001.

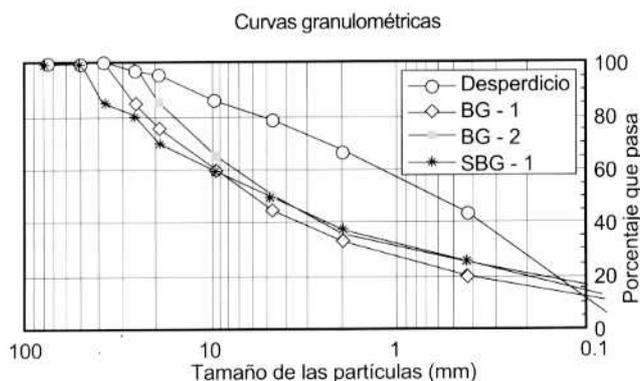
La escoria se extrae de la colada a una temperatura de 1400 °C, lo cual genera pérdida de cualquier contenido de materia orgánica. Esta pérdida pudo ser comprobada en esta investigación por la determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición.

En la Tabla y Figura 2, se tiene la granulometría de la escoria de la Siderúrgica de Boyacá y el material granular empleados en la investigación.

**Tabla 2. Granulometría material granular y escoria de la Siderúrgica de Boyacá**

Tamiz	Tamiz (mm)	% Pasa SBG-1	% Pasa BG-1	% Pasa BG-2	% Pasa Desperdicio
1 1/2"	37.50	85	100	100	100.00
1"	25.00	80	85	100	96.80
3/4"	19.00	70	75	85	95.48
3/8"	9.50	60	60	65	86.18
4	4.75	50	45	50	78.34
10	2	37.5	32.5	35	66.16
20	0.85	28	26	30	53.72
40	0.425	25	20	25	42.70
80	0.2125	20	16	22	30.49
100	0.15	14	13	17	16.86
200	0.075	12	10	15	5.61
Pasa 200		0	0	0	0.00

Fuente: Ensayo de Laboratorio Universidad Militar Nueva Granada.



**Figura 2. Curvas granulométricas del material granular y el desperdicio**

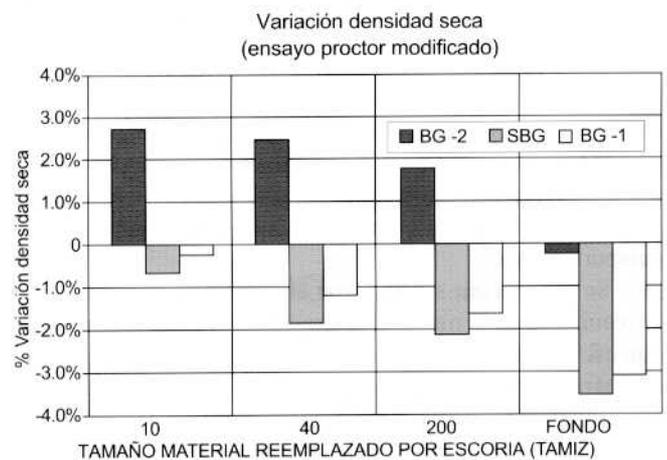
Los resultados obtenidos en la caracterización del material granular son los que aparecen en la Tabla 3.

**Tabla 3. Resultados ensayos caracterización material granular. Universidad Militar Nueva Granada**

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Contenido materia orgánica	AASHTO T 267	3.84%
Desgaste máquina de los Ángeles	ASTM C 131	25.4%
Equivalente de arena	ASTM D 2419	30%
Relación de peso unitario-humedad (Proctor Modificado)	ASTM D 1557	8.0 – 8.5%
Relación de soporte del suelo (C.B.R.)	ASTM D 1883	70-100%

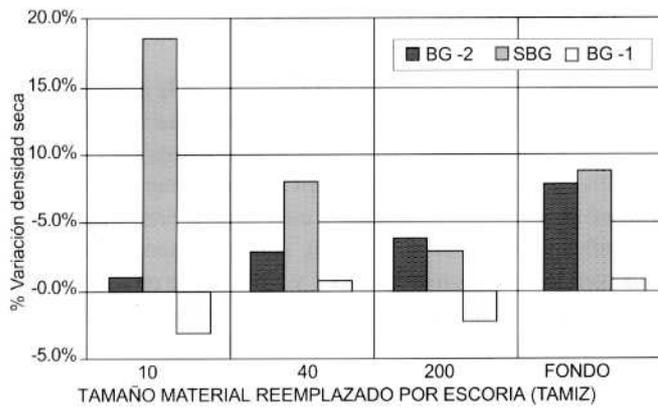
### 3. ANALISIS DE RESULTADOS

En la Figura 3 se presenta la variación en la densidad seca con la adición de desperdicio de alto horno para los diferentes tipos de granulometría. Únicamente se presenta mejora entre 1 y 3% en la granulometría tipo BG-2 y ésta mejora aumenta cuando se reemplaza material por escoria de tamaño más grueso (tamaños retenidos tamiz No. 10). Adicionalmente se observa que para las granulometrías BG-1 y SBG existe un decremento acentuado de la densidad a medida que se reemplaza el material granular por desperdicio con partículas más finas. Esto se debe a que existe una mala acomodación de las partículas finas en los vacíos de la mezcla, presentándose en los dos tipos de granulometrías con más presencia de vacíos.



**Figura 3. Variación de la densidad seca**

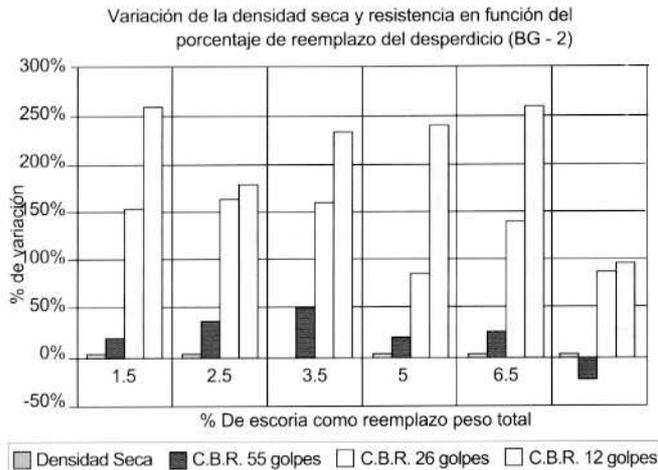
En la Figura 4 se muestra la variación de la resistencia con el ensayo C.B.R. con la adición del desperdicio de alto horno para diferentes tipos de granulometría. Se resalta que para subbases granulares se encontró que sin importar el material de reemplazo, siempre se presentaba incremento de la resistencia. El resultado más óptimo encontrado en el estudio fue para la subbase granular SBG, con un tamaño de escoria del tamiz No. 10, con un porcentaje de incremento de 18%. Para la base granulares BG-2, todos los porcentajes determinaron incremento de la resistencia, su valor máximo (8%) se obtuvo para el reemplazo con material pasa tamiz No. 200. Para la base granular BG-1, los resultados no fueron satisfactorios, ya que no se presentaron incrementos significativos, hasta el punto de obtener un descenso para los reemplazos de pasa tamiz No. 10 y 200.



**Figura 4. Variación de la resistencia (ensayo C.B.R.)**

En la Figura 5, se presenta la variación en la densidad seca y la resistencia con el ensayo C.B.R. a diferentes niveles de compactación con la adición de desperdicio de alto horno para la base granular tipo 2. Los resultados presentados en esta gráfica son representativos también para los materiales de base granular tipo 1 y subbase granular, donde se presentó el mismo comportamiento.

Se observa que sin importar el porcentaje de escoria que se reemplace en la muestra, la densidad presenta incrementos que oscilan entre 0.22% y 3.6%. De igual manera, se percibe que para niveles de compactación de 12 y 26 golpes siempre existe un incremento de la resistencia y dicho valor oscila entre 80 y 260%, sin embargo, para la compactación mayor (55 golpes), para porcentajes altos de reemplazo por escoria (8%), se presenta un descenso de la resistencia en 23%.



**Figura 5. Variación densidad y C.B.R.**

## 4. CONCLUSIONES

Mediante este proceso experimental se estudiaron diferentes opciones de mejoramiento o estabilización de las propiedades de las bases y subbases granulares según curvas granulométricas medias del Instituto Nacional de Vías, encontrando que al introducir desperdicio del alto horno de la Siderúrgica de Boyacá, se incrementó la densidad seca en un 2.7% (BG2 con Tamiz No. 10) y la resistencia de las bases y subbases granulares en términos de CBR entre 0.8 y 18.7%. De igual manera se pudo concluir que el cambiar materiales de diferentes tamaños (tamices No. 10, 40, 200 y fondo), se presentaba incremento de la densidad y la resistencia mediante el análisis de los ensayos de proctor y C.B.R. de laboratorio.

Se observó que para los materiales de granulometría más abierta (con mayor presencia de vacíos) el porcentaje de variación de la densidad seca desciende hasta el 3.5% cuando se reemplaza con un tamaño de escoria fino, debido a que existe una mala acomodación del material de escoria en los vacíos de la mezcla.

Por último, se reemplazo por material de desperdicio de alto horno con respecto al peso total de las muestras de material de la granulometría media de base granular tipo 2, obteniendo incrementos en densidad y resistencia sin importar el nivel de compactación ni el porcentaje que vario entre el 1.5 y 8.0%.

Su posible utilización lograría incrementar la resistencia y densidad de la estructura de pavimento, especialmente donde no se dispone de materiales de calidades óptimas o los métodos convencionales que son de difícil ejecución.

Como recomendación final, es necesario continuar con este tipo de investigaciones, empleando diferentes rangos de dosificación, combinando dos o más materiales y evaluando otros parámetros, como son: módulos dinámicos, ensayos de fatiga, ahuellamientos y anisotropía, que pueden intervenir en la resistencia y durabilidad de las soluciones propuestas.

## 5. REFERENCIAS

- AASHTO T-267 (1986), Determination of Organic Content in Soils by Loss of Ignition
- ALCALDÍA MAYOR SANTA FE DE BOGOTÁ – IDU, (2000), Uniandes. Manual de Diseño de Pavimentos para Santa Fe de Bogotá.
- ASTM C131 (2003), Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine
- ASTM D2419 (2002), Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate
- ASTM D1557 (2002), Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup>(2,700 kN-m/m<sup>3</sup>))
- ASTM D1883 (1999), Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils
- BOWLES, J. (1982), Manual de Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil. Segunda Edición. Mcgraw Hill. México.
- ESCORIAS SIDERÚRGICAS (1985), Memoria Técnica De Las Primeras Jornadas Técnicas De Escoria Siderúrgicas.
- FAGUA, N. (2001), Estabilización de Bases y Subbases con la Escoria de la Siderúrgica de Boyacá. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS – INVIAS, (1998), Normas de Ensayo de Materiales Para Carreteras. Tomo I Y II. Bogotá.
- LÓPEZ, M. L. (2002), Uso de Escoria para Mejorar Bases y Subbases Granulares. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.
- REYES, F.A. (2003), Diseño Racional de Pavimentos. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.

---

**Fredy Reyes**

Pontificia Universidad Javeriana  
Bogotá, Colombia

---

**Oscar Reyes**

Universidad Militar "Nueva Granada"  
Bogotá, Colombia