

# Pavimento permeable con escoria

## Permeable Pavement with Escoria

Perico-Granados Néstor Rafael; Carlos Andrés Reyes Rodríguez;  
Ángel Geraldine Alvarado Robayo; Angie Barrantes Duarte;  
Edwin Padilla González; Heidy Madeleine Arévalo Algarra;  
Jheyson Suárez Réatiga.

Fundación Universitaria Juan de Castellanos  
Facultad de Ingeniería

Correo-e: nestorrafaelpericogranados@gmail.com; careyes@jdc.edu.co.



## Resumen

El concreto permeable es una mezcla de agua, cemento y agregado grueso de un solo tamaño y genera un material estructural poroso. Es una alternativa para el revestimiento de vías, senderos, parqueaderos, jardines, entre otros espacios y tiene como uno de sus resultados el que mejora el control de aguas lluvias. Para innovar en el tema del pavimento ecológico, en la presente investigación se indagó sobre las dosificaciones óptimas de los agregados del concreto, con uso de agregado grueso y fino proveniente de la escoria de alto horno de Acerías Paz de Río. Se investigó sobre el proceso para diseñar un concreto poroso y se hizo la caracterización del material, en especial la grava y el proveniente de la escoria de alto horno. Se diseñaron 3 mezclas para los cilindros de concreto con diferentes porcentajes de agregados, en especial los gruesos. Para el primer ensayo se usaron dos muestras con porcentajes 50/50 y 70/30 de agregado grueso y escoria, para el segundo se trabajó con 45 % de escoria gruesa 45 % de grava y 10 % de escoria fina, para el tercer ensayo se usó 45 % de escoria gruesa, 45 % de grava y 10 % de escoria fina, pero con diferente cantidad de agua. De los cilindros se determinó el porcentaje de absorción, porcentaje de vacíos, la porosidad, el caudal que pasa por los cilindros de las muestras 2 y 3 y la resistencia del concreto.

**Palabras clave:** concreto permeable, drenaje, pavimento rígido, porosidad, proyecto.

## Abstract

Pervious concrete is a mixture of water, cement and coarse aggregate of a single size and generates a porous structural material. It is an alternative for the coating of roads, trails, parking, gardens, among other spaces and has as one of its results which improves the control of rainwater. To innovate in the topic of ecological paving, in the present investigation it was inquired about the optimal dosages of the aggregates of the concrete, with the use of coarse and fine aggregate coming from the blast furnace slag of the Acerías Paz de Río. The process was investigated to design a porous concrete and the characterization of the material was made, especially the gravel and the one coming from the blast furnace slag. Three mixtures were designed for concrete cylinders with different percentages of aggregates, especially coarse ones. For the first test, two samples with 50/50 and 70/30 percentages of coarse aggregate and slag were used, for the second, 45% of coarse slag 45% of gravel and 10% of fine slag were used, for the third test it was used 45% coarse slag, 45% gravel and 10% fine slag, but with different amounts of water. From the cylinders, the percentage of absorption, percentage of voids, porosity, the flow through the cylinders of samples 2 and 3 and the strength of the concrete were determined.

**Key words:** Permeable concrete, Drainage, Rigid pavement, Porosity, Project.

Para citar este artículo: Perico-Granados, N.R.; Reyes-Rodríguez, C.A., Alvarado- Robayo, A.G., Padilla-González, E., Arévalo-Algarra, H.M., Suárez-Réatiga, J., "Pavimento Permeable con Escoria" In L'Esprit Ingenieur. Vol. 12-1, pp. 41-53.

## 1. INTRODUCCIÓN

Como una lamentable consecuencia del crecimiento poblacional y la reconversión industrial, hoy se enfrentan problemas ocasionados por los residuos industriales. Sin embargo, incursiona el enfoque de gestión, considerando el aprovechamiento de estos, a través de manejos integrales. Al respecto, se recuperan los desechos y se reincorporan al ciclo económico y productivo de forma efectiva con su reutilización o reciclaje (Guerrero Sierra et al., 2019). En este sentido, la industria siderúrgica para la obtención del acero usa como materia prima en unos casos la chatarra de hierro o acero. Sin embargo, con ello genera gases que emite a la atmósfera y sólidos que son conocidos como escoria. Se calcula que las cantidades de residuos generados por tonelada de acero fabricado son: 110 a 150 kg de escoria negra, de 20 a 30 kg de escoria blanca, entre 18 a 28 kg de polvo de acería, de 4 a 10 kg de refractario y 1,3 a 2 kg de electrodos (Araque y García, 2011). En Colombia la planta siderúrgica Acerías Paz de Río produce aproximadamente 512. t/día de residuos sólidos, con cerca de 120 de ellos como escoria. Una parte de esta se deja enfriar y posteriormente se pasa a molienda, se empaca y es vendida para usarla como abono fosfórico (Marín, 2014).

Por otro lado, el concreto permeable se caracteriza por su alta porosidad, que permite el paso del agua a través de su estructura, como una solución sustentable y se constituye en una relación amigable con el ambiente (Perico-Granados, et al., 2013). Esta característica se produce por su alto contenido de vacíos interconectados, en un orden de 15 % a 35 %, dependiendo de los materiales usados y la aplicación. Con ellos se reducen materiales y se conduce el agua de forma aprovechable. Al respecto, el concreto permeable se compone de cemento Portland, de un agregado grueso uniforme y agua. Este normalmente no contiene agregado fino o si lo contiene, su porcentaje es bajo (Torres, 2010). Igualmente, uno de sus componentes es la escoria como agregado grueso, con ahorro importante de materiales. Los resultados en investigaciones de este tipo han permitido observar beneficios en el concreto como permeabilidad, durabilidad, incremento en la resistencia ante la reacción álcali-sílice y reducción considerable en los costos del material (Hernández, Durán, y Bustos, 2014). El pavimento permeable o poroso tiene ventajas tanto estructurales como económicas, dado que es una alternativa viable para la mitigación de la escorrentía superficial, en áreas que presentan caudales pico o con posibles inundaciones. De esta manera, parcialmente reemplaza la necesidad de tratamiento de aguas pluviales como sumideros y cunetas, que en muchos casos son costosos y poco prácticos para determinadas situaciones (Gallo y Posada, 2017). En este artículo se dan a conocer los resultados obtenidos sobre el estudio desarrollado para concreto permeable, con diferentes porcentajes de escoria y muy poco de agregado fino, con base en el método de proyectos. Para este propósito, se llevaron a cabo exposiciones, en diferentes momentos y auditorios, para incrementar la construcción del conocimiento (Perico, Sánchez y Medina, 2014). Igualmente, para cimentar más el proceso de aprendizaje y recordar por más tiempo los conocimientos se promovió el pensamiento crítico y las didácticas activas, como el sentido del trabajo (Perico-Granados, et al., 2012) y (Perico-Granados, et al., 2014). Finalmente, con este procedimiento se buscó la relación adecuada y la proporción de los materiales, para encontrar en el concreto una resistencia óptima.

## 2. MARCO TEÓRICO

La norma INVÍAS (Instituto Nacional de Vías) da pautas para llevar a cabo diversos ensayos, que fueron necesarios para el desarrollo de la investigación.



## 2.1 ENSAYO INV E-213-13 (Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino)

Este método tiene por objetivo determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de los agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamizado (Instituto Nacional de Vías INVÍAS, 2018). El agregado grueso es la masa mínima de la muestra de agregado grueso para el análisis granulométrico, después de secada la muestra, que depende del tamaño máximo nominal del agregado, teniendo en cuenta la Tabla 1:

**Tabla 1.** Tamaño máximo nominal y masa mínima de muestra.

Tamaño máximo nominal. Tamices con aberturas cuadradas mm (pg)	Masa mínima de la muestra de ensayo (kg) lb
9.5m (3/8)	1(2)
12.5 (1/2)	2(4)
19.0 (3/4)	5(11)
25.0 (1)	10(22)
37.5 (1 ½)	15(33)
50.0 (2)	20(44)
63.0 (2 ½)	35(77)
75.0(3)	60(130)
90.0(3 ½ )	100(220)
100.0(4)	150(330)
125.0(5)	300(600)

Fuente: (Instituto Nacional de Vías INVÍAS, 2018, pág. 3)

En este ensayo se calcula el porcentaje que pasa, el porcentaje total retenido, el porcentaje de las fracciones de diferentes tamaños redondeados a 0.1 %, con base en la masa total de la muestra inicial seca.

## 2.2 ENSAYO INV E-218-13 (Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de los Ángeles)

Se refiere al procedimiento a seguir para medir la resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaño menor a 37.5 mm (1 ½") por medio de la máquina de los Ángeles. Es usado como un indicador de la calidad relativa, en la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos. Para este ensayo se calcula el porcentaje de pérdidas, por medio de la diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra ensayada, expresada como tanto por ciento de la masa original usando la siguiente expresión:

$$\% \text{ pérdidas} = \frac{P1 - P2}{P1} * 100 \quad (1)$$

Donde P1 es la masa de la muestra seca antes del ensayo en gramos y P2 es la masa de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz 1.70 mm (No. 12) en gramos (Instituto Nacional de Vías INVÍAS, 2018).

**2.3 ENSAYO INV E-238-13** (Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato micro-deval)

En este ensayo se describe un procedimiento para medir la resistencia a la abrasión de una muestra de agregado grueso utilizando el aparato micro-deval. Es una medida de la resistencia a la abrasión y de la durabilidad de agregados pétreos, como resultado de una acción combinada de abrasión y molienda con esferas de acero en presencia de agua. Se determina la pérdida por abrasión micro-deval, redondeada a 0.1%, usando la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje de pérdidas} = \frac{A - B}{A} * 100 \quad (2)$$

Donde A es la masa de la muestra inicial y B es la masa de la muestra final (Instituto Nacional de Vías INVÍAS, 2018).

**2.4 ENSAYO INV E-223-13** (Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso)

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica general empleada para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas como el concreto hidráulico, concreto asfáltico y otras que se dosifiquen o analizan sobre la base de un volumen absoluto. En este caso se tuvo en cuenta la densidad relativa aparente, la cual es la relación entre la densidad aparente del agregado y la densidad del agua a una temperatura indicada. La expresión usada es:

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{A - C} \quad (3)$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100 \quad (4)$$

Donde A es la masa al aire de la muestra seca al horno en gramos, B es la masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca en gramos y C es la masa aparente de la muestra saturada en agua en gramos (Instituto Nacional de Vías INVÍAS, 2018).

**2.5 NORMA ASTM C 1688/C 1688 M-08** (Método de prueba estándar para la densidad y el contenido de vacíos de concreto permeable recién mezclado)

Por este método de prueba se puede determinar la densidad del concreto recién mezclado y ofrece fórmulas para calcular el contenido de vacío del concreto permeable. Estos parámetros se determinan por medio de las siguientes expresiones:

$$D = \frac{M_o - M_m}{V_m} \quad (5)$$

$$U = \frac{T - D}{T} * 100 \quad (4)$$

Donde D es la densidad del concreto en Kg/m<sup>3</sup>, Mm es la masa de la medida en Kg, Vm es el volumen de la medida m<sup>3</sup>, Mo es la masa de la medida rellena con hormigón en m<sup>3</sup>, U es el porcentaje de vacíos en el hormigón fresco permeable, incluidos los vacíos de aire atrapados en la pasta de concreto, T es la densidad teórica del hormigón computado sobre una base aérea (ASTM, 2008).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se orientó el desarrollo con base en la forma apropiada para elaborar proyectos de investigación formativa (Perico-Granados, Caro y Garavito, 2015). Se consultaron los autores que permitieran el acercamiento con el tema de investigación, con videos, lecturas, conversatorios y otros elementos para construir el conocimiento para la elaboración de ensayos (Perico, Acosta, y Perico Martínez, 2014). Al respecto, se comenzó con el lavado de los agregados gruesos, para disminuir las partículas finas que contienen la grava y la escoria, para pasarlos por los tamices desde el

de ¼ hasta el número 4, que es el mínimo para clasificar las gravas. En este sentido, la escoria producida en Acerías Paz de Río está clasificada como litificada, fósforo y perificada. Al respecto, mediante el ensayo de micro deval se determinó la resistencia que contiene cada uno de estos tipos de escoria, buscando la de menor desgaste. Para el ensayo se usaron 3000 gr de muestra de cada una de las escorias, se sumergió el material en agua durante 24 horas. Luego, se le añadieron las esferas con un peso total de 1250 gr a la muestra y se pusieron en el equipo para el ensayo de Micro deval, con una duración de 16 minutos a 500 RPM (revoluciones por minuto). En el caso de la grava, el ensayo de desgaste se hizo en la máquina de los Ángeles, usando una muestra de 5000 gr con 11 esferas según el método B de las especificaciones del INVIAS (Instituto Nacional de Vías). La duración de este ensayo fue de 20 minutos con una frecuencia de 500 RPM. Para los agregados gruesos se hizo el ensayo de gravedad específica y absorción usando 3000 gr de muestra tanto de grava como escoria.

Se hicieron 3 fundiciones; en la primera se tuvo como base un concreto de 3000 PSI, usando una relación 1:2:3. La cantidad de cemento fue constante y se variaron los contenidos de agua-cemento. Para la muestra 1 se determinó usar 50 % de grava y 50 % de escoria, en cilindros medianos de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura. Para los cilindros obtenidos de esta fundición se llevaron a cabo varios ensayos. Para el primero de ellos, el de densidad aparente, se pesaron los cilindros, se sumergieron en agua durante 10 minutos, se sacaron y pesaron de nuevo y por último se pesaron los cilindros bajo el agua. Para determinar los componentes de la norma ASTM (porosidad, densidad y porcentaje de vacíos), se pesaron los cilindros a temperatura ambiente, se saturaron los cilindros durante 2 veces o las necesarias cada 24 horas para encontrar una variación menor al 0.5 %, luego de encontrar la variación se sometieron los cilindros a baño de María durante 5 horas consecutivas. Por último, se determinó el caudal que pasa por los cilindros y su resistencia. En la fundición 2 se hizo con varilla y martillo de goma para dos cilindros. Para los otros dos cilindros la vibración se dio con martillo de goma. Se determinó en este caso el porcentaje de absorción por inmersión y baño María. En la fundición 3 se elaboraron 6 cilindros y en estos se usó escoria fina y se determinó el porcentaje de absorción.

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Para agregado grueso (escoria y grava)

Para estos agregados gruesos se usó el tamizado donde se especificó que el tamaño nominal es el del tamiz No. 8 (3/4 de pulgada).

**Tabla 2.** Micro deval y desgaste de los ángeles para la resistencia

Tipo de material	Tipo de prueba	% de desgaste	Cantidad de muestra	Conclusión
Escoria litificada	Micro-deval	86%	3000 gr	Material altamente desgastante
Escoria Fósforo	Micro-deval	38%	3000 gr	Material ligeramente compacto
Escoria perificada	Micro-deval	42%	3000 gr	Material ligeramente compacto
Grava	Máquina de los ángeles	20%	5000 gr	Material aceptable

Fuente: Autores

El ensayo de desgaste de los materiales tanto en la máquina de los Ángeles, como en el equipo de Micro deval, se hace para caracterizar los materiales gruesos. En este proceso se observó que la escoria litificada presentó un desgaste de 86 %, que es muy alto y que no permite su uso como agregado grueso, pero sí como agregado fino. Al contrario, la escoria fosfórica tuvo un desgaste de 38 %, menor que la escoria perificada que fue del 42 %. Entonces, la mejor escoria para ser usada como agregado grueso fue la escoria fosfórica, que sí cumple, aunque está casi en el límite, con la norma INVÍAS. Al respecto, para un pavimento de concreto hidráulico, el INVÍAS en el artículo 500-13, especifica que el porcentaje de desgaste para agregado grueso es de 40 % en la máquina de los Ángeles. Para el caso del uso del equipo de Micro-deval es de 30 % (Instituto Nacional de Vías INVÍAS, 2013). De la misma manera, el porcentaje de absorción es otro factor importante para este concreto. En la tabla 3 se muestra este porcentaje para gravas y escoria.

**Tabla 3.** Porcentaje de absorción de la grava y escoria

MATERIAL	ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN
Grava	118.5	3.95
Escoria	152	5.06

Fuente: Autores

Con respecto a la absorción de los materiales gruesos, como la grava fue de 3.95 %, que es alto para el uso en estos concretos, dado que este porcentaje en unos casos es de 1.55 % (Gallo y Posada, 2017). Igualmente, puede ser de 0.75 %, donde a menor absorción la resistencia es menor (Ferreira y Torres, 2014). Para el caso de la escoria, presenta una absorción de 5.06 %, en comparación con escoria granulada esta tiene un valor de 3.29 % (Ochoa, Grimaldo, Orjuela, y Muñoz, 2018). La escoria aplicada al concreto genera cambios en la variación de la absorción, donde a mayor porcentaje de escoria en el concreto, menor es la absorción (R. Cruz, Pérez, Acosta, y Castillo, 2013). Con base en los ensayos para determinar la resistencia y el porcentaje de absorción, se determinaron tres diferentes diseños de mezcla para obtener otros aspectos importantes a considerar en un concreto permeable. Se hizo mediante experimentación entre la combinación de escoria y grava con un factor de agua-cemento que se varía según el diseño de mezcla.

#### A. FUNDICIÓN 1

Basados en una proporción de materiales para un concreto compacto de 3000 psi, se pudo determinar la siguiente dosificación, sustituyendo los agregados finos.

**Tabla 4.** Dosificación para la fundición 1.

	Cemento (1)	Grava (2)(50%)	Escoria (3)(50%)	Agua
<b>Muestra 1</b>	1 gr	2.5 gr	2.5 gr	0.38 L
	Cemento (1)	Grava (2)(70%)	Escoria (3)(30%)	Agua
<b>Muestra 2</b>	1 gr	3.5 gr	1.5 gr	0.41 L

Fuente: Autores

Para esta primera fundición se obtuvieron los resultados observados en la Tabla 5. Cabe resaltar que la investigación fue con base en el ensayo y el error. Se usaron los resultados de la prueba de densidad aparente y se determinó la gravedad específica aparente, la cual fue de un valor de 20.06 %. Se determinó que en el momento de una lluvia inicial se perderá el 20 % de agua debido a que los agregados del concreto absorben este porcentaje. Las pruebas de saturación superficialmente secos indican un porcentaje de absorción de 8.13 % y las de saturación a baño de María indican un porcentaje de 9.08 %.

Igualmente, allí se estableció el porcentaje de vacíos en estas muestras con un 18.4 %. En el estudio titulado “Permeabilidad y porosidad en concreto” se observan porcentajes de vacíos entre 7 y 24 %, con una absorción total entre 2,29 y 8,72 %. Se observa que, en comparación con el presente estudio, el porcentaje de vacíos se encuentra dentro de estos rangos. Sin embargo, el porcentaje de absorción a baño María es mayor, teniendo en cuenta que los cilindros cuentan con agregado de escoria (Vélez, 2010). Por lo general un concreto permeable presenta un porcentaje de vacíos de 15 a 25 %, cumpliendo en este caso las muestras realizadas (NRMCA, 2011).

**Tabla 5.** Resultados obtenidos para la fundación 1.

PRUEBA DE DENSIDAD APARENTE					
DESCRIPCIÓN DE PRUEBA	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3
	Cilindro 1 (gr)	Cilindro 2 (gr)	Cilindro 1(gr)	Cilindro 2 (gr)	Cilindro 1 (gr)
Cilindros secos	1957.8	2016.1	2285.1	2329.7	2366.2
Cilindros hidratados (10 min)	1994.2	2061.6	2318.9	2371.7	2403.4
Cilindros sumergidos	1072.6	1115.8	2001.6	1292.2	1309.7
PRUEBA DE SATURACIÓN SUPERFICIALMENTE SECOS					
% ABSORCIÓN		MUESTRA 1		MUESTRA 2	
	CILINDRO 1		CILINDRO 2		
% absorción superficialmente secos	0.02%		0.10%		
% absorción después de la inmersión	8.13				
PRUEBA DE SATURACIÓN A BAÑO MARÍA					
Peso muestra		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
	CILINDRO 2		CILINDRO 1		
Aire superficialmente seco (gr)	2374		2426		
Sumergido (gr)	1306.2		1335.9		
% absorción después de baño de María	9.08				
% de vacíos	18.4				

Fuente: Autores

**B. FUNDICIÓN 2**

Para este caso, se tiene la siguiente dosificación, para 4 cilindros.

**Tabla 6.** Dosificación para la fundición 2.

COMPONENTES DE PESO PARA NORMA ASTM				
COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	MUESTRA 1		MUESTRA 2
		Cilindro 1 (gr)	Cilindro 1(gr)	
A	Peso de la muestra seca en el aire	2261.4		2608.4
B	Masa saturada superficialmente seca	2498.9		2869.3
C	Masa saturada superficialmente seca después de baño maría	2524		2790.3
D	Masa bajo el agua después de baño maría	1321.2		1507.9
% DE ABSORCIÓN				
		MUESTRA 1	MUESTRA 2	
		Cilindro 1	Cilindro 2	
	% absorción por inmersión	10.50%	14.6%	
	% de absorción a baño maría	9.08%	9.08%	
	% Porosidad	16%		
	Caudal	/12 seg		

Fuente: Autores

**C. FUNDICIÓN 3.**

Para este caso se tiene la siguiente dosificación para 6 cilindros de concreto.

**Tabla 7.** Dosificación para la fundición 3.

	Cemento (1)	Grava (2)(45%)	Escoria gruesa (3)(45%)	Escoria fina (3)(10%)	Agua
Muestra 1	3500 gr	6400 gr	6400 gr	1620 gr	1100 L

Fuente: Autores

Los resultados con respecto a esta fundición son:

**Tabla 8.** Resultados para fundición 3.

<b>CAUDAL Y PERMEABILIDAD</b>			
	<b>MUESTRA 1</b>		<b>Caudal (ml/seg)</b>
	<b>Cantidad agua</b>	<b>Tiempo de absorción</b>	
Cilindros vibrados con martillo de goma	600 ml	8.10 seg	74.07
Cilindros vibrados con varilla y martillo de goma	600 ml	8.42 seg	71,25

Fuente: Autores

Para la compactación de las muestras se usó el martillo de goma y se produjo una vibración suave, debido a que si se realizaba con varilla de compactación se obtiene un asentamiento de los agregados finos y la porosidad se alterará. Sin embargo, para determinar el uso de varilla o martillo de goma es importante establecer el asentamiento de la mezcla, dado que si esta es mayor o igual a 25 mm se usa varillado y para menores a este valor debe usarse solo el vibrado (Solano, 2009). La compactación es un factor que influye en la resistencia a la compresión y en la permeabilidad del concreto, dado que genera la eliminación de vacíos y altera la permeabilidad de las muestras (Cardona, 2017).

#### 4.2 Resistencia de los cilindros de concreto permeable

Los cilindros de concreto se sometieron a curado durante diferentes días y para determinar la resistencia de cada uno de ellos se sometieron estos a una carga, hasta fallarlos. Los resultados se observan a continuación:

**Tabla 9.** Resultados de resistencia de los cilindros.

	<b>Tiempo de curado</b>	<b>Diámetro promedio</b>	<b>Resistencia</b>			<b>Peso</b>
	(días)	(cm)	(kgf)	PSI	MPa	(gr)
Fundición 2	48	9.76	5736	1043.28	7.19	2848.9
Fundición 3	7	9.78	3268	594.28	4.09	2666
Fundición 3	14	9.86	3820	694.71	4.78	2736.2
Fundición 3	21	9.98	4021	731.28	5.04	2723.4
Fundición 3	60	9.45	8462	1538.57	10.60	2684
Cilindro testigo	48	7.03	1450	533.57	3.67	100.49

Fuente: Autores.

Para obtener una comparación más acertada sobre la resistencia del concreto poroso estudiado en esta investigación, se elaboró una viga de 53 cm de largo, 15 cm de ancho y 15 cm de alto, la cual soportó 646 kgf. Se comparó con otros estudios y la resistencia se encuentra entre 500 y 700 kgf (Calle, Archila, y Vargas, 2014). Se observa que las muestras que fueron sometidas a mayor tiempo de curado, presentan una resistencia mayor, pero estos valores son bajos con respecto a otros estudios, debido a que se encuentran resistencias entre 10.68 y 19.45 MPa (Porrás, 2017). Es importante recalcar que la resistencia se obtiene dependiendo de la dosificación y en comparación con otros trabajos experimentales se encuentra que esta investigación obtiene valores positivos frente a esos consultados. En este último el esfuerzo se presenta entre 3.9 y 8.8, en comparación con la investigación desarrollada de la cual se obtuvieron valores entre 3.67 y 10.60 MPa (León y Rosero, 2016). Este tipo de soluciones alternativas además de generar un aumento en la utilización de material residual siderúrgico permite el control de aguas de escorrentía y así disminuyen parcialmente la ocurrencia de deslizamientos y/o inundaciones que siempre son dañinas para la integridad de las personas.

## 5. CONCLUSIONES

La escoria litificada se debe usar solo como agregado fino por su alto desgaste y la escoria fosfórica si se puede usar como agregado grueso por que cumple con las normas al respecto.

El pavimento con escoria presenta resultados positivos para drenar las aguas de escorrentía superficial y arroja resistencias aceptables. Se recomienda continuar con las investigaciones en este sentido.

Con la utilización de escoria en la construcción de concreto permeable o poroso se disminuye la contaminación ambiental, dado que así se

le da un uso y se evita que sea almacenada en depósitos, con problemas de degradación del ambiente.

Para crear concretos permeables o porosos es fundamental tener en cuenta la relación de agua-cemento, ya que este es un factor que lo hace poroso y en lo posible debe estar cercano al 0.31, como se encontró en esta investigación. Para evitar el asentamiento de los agregados el tipo de vibrado que se le debe llevar a cabo sólo envuelto en papel vinipel y vibrado únicamente con martillo de goma.

Con el concreto permeable, construido en vías de flujo vehicular liviano se disminuyen las inundaciones y se evita que haya agua en abundancia en las vías, cuando está lloviendo. Si hay agua y un vehículo necesita frenar de emergencia este se puede deslizar por la película de agua que se encuentra en las vías.

Con el concreto permeable hay un control a las aguas lluvias y se pueden conducir con más facilidad y menos peligro cuando llueve. Así disminuye parcialmente el incremento en el caudal de los efluentes y puede disminuir la erosión por el lavado que genera el agua.

## 6. REFERENCIAS

- Araque, L. M. P., y García, D. P. S. (2011). Análisis de la valorización de escorias negras como material agregado para concreto en el marco de la gestión ambiental de la siderúrgica Diaco. municipio Tuta Boyacá. Universidad de la Salle, Bogotá, D.C.
- ASTM, A. S. for testing and materials (2008). Standard test method for density and void content of freshly mixed pervious concrete. Recuperado de [http://www.necementshippers.com/uploads/1/3/5/5/13550031/astm\\_c1688.pdf](http://www.necementshippers.com/uploads/1/3/5/5/13550031/astm_c1688.pdf)
- Cabello, S., Campuzano, L., y Sánchez, C. (2015). Concreto poroso: constitución, variables influyentes y protocolos

para caracterización. Revista Científica Cumbres, 1(1). Recuperado de <http://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres/article/view/4/5>

- Calle, Y., Archila, O., y Vargas, J. (2014). Análisis de la tecnología apropiada para la disposición de aguas lluvias, caso de estudio parque industrial Santo Domingo del municipio de Mosquera - Cundinamarca. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, D.C. Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1735/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20REVISION%20COMPLETA%2020%20ENERO%202015.pdf>
- Cardona, H. (2017). Propiedades mecánicas y de filtración en hormigones permeables con cemento portland e hidráulicos. Universidad San Francisco de Quito, Quito. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6500/1/131601.pdf>
- Cruz, C., Segovia, A., González, M., Lizárraga, L., Olguín, F., y Rangel, Y. (2014). Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperado de: <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6287/>
- Cruz, R., Pérez, L., Acosta, D., y Castillo, K. (2013). Propiedades del concreto con sustitución de escoria de horno de cubilote como agregado fino y escoria granulada. Revista Colombiana de Materiales, 1(5), 291-296.
- Ferreira, D., y Torres, K. (2014). Caracterización física de agregados pétreos para concretos caso: vista hermosa (Mosquera) y mina Cemex (Apulo). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, D.C. Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1655/1/TRABAJO%20DE%20INVESTIGACION%203%2093N.pdf>
- Gallo, C. A., y Posada, E. M. (2017). Diseño de un pavimento en concreto poroso con adición de agregados de concreto reciclado para la construcción de un modelo a escala. Universidad de la Salle, Bogotá, D.C. Recuperado de: [http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3082/Dise%F1o\\_aplicacion\\_concreto.pdf?sequence=1](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3082/Dise%F1o_aplicacion_concreto.pdf?sequence=1)
- Guerrero Sierra, H. F., Vega, M. E., Acosta Castellanos, P. M., González Cuenca, D., Molina O, D., Montes Ramírez, A. M., Vivas Cortés, O., Otálora Buitrago, A., Rúa Castaño, J. R., Garzón Romero, E., Suárez Reina, K. S., Neu, T., Zimmermann, L., Hernández Bernal, J. A., Castiblanco Roa, L. N., Castillo Lozano, A. D. P., García Estévez, J., Villanueva Parra, P. A., Mora Lemus, G., ... Vargas Prieto, A. (2019). Estudios sobre medio ambiente y sostenibilidad: una mirada desde Colombia. In Estudios sobre medio ambiente y sostenibilidad: una mirada desde Colombia. Universidad Santo Tomas. <https://doi.org/10.15332/LI.LIB.2019.00178>
- Hernández, R. A. C., Durán, D. M. F., y Bustos, L. P. (2014). Reemplazo del agregado fino por escoria de horno de Cubilote para la fabricación de concreto, 10, 6.
- INVÍAS, Instituto Nacional de Vías. (2013). Capítulo 5 - Pavimentos de concreto. INVÍAS - Ministerio de transporte. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos1>
- INVÍAS, Instituto Nacional de Vías. (2018, diciembre 20). Normas de ensayo de materiales para carreteras - Sección 200. INVÍAS. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos1>
- León, C., y Rosero, G. (2016). Optimización del diseño de una mezcla de hormigón permeable a partir de tres distintas graduaciones. Universidad Central de Ecuador, Quito. Recuperado

- de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7870/1/T-UCE-0011-243.pdf>
- Marín, G. H. C. (2014). Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del proceso siderúrgico. Universidad Nacional de Colombia, Manizales- Colombia.
- NRMCA, N. R. M. C. A. (2011). El concreto en la práctica. NRMCA. Recuperado de: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP38es.pdf>
- Ochoa, R., Grimaldo, G., Orjuela, M., y Muñoz, C. (2018). Análisis del uso de escoria granulada en la fabricación de mezclas asfálticas para pavimentos, 39(37), 14.
- Perico, N., y otros (2012). Primeros pasos en la formación de docentes de Ingeniería civil, Tunja: Universidad Santo Tomás, en: [http://www.ustatunja.edu.co/images/01-USTATunja/05-USTA-Tunja-ProgramasAcademicos/Pregrado/IngenieriaCivil/2017/Documentos/Primeros\\_pasos\\_en\\_la\\_formacin\\_de\\_docentes\\_de\\_Ingeniera\\_Civil.pdf](http://www.ustatunja.edu.co/images/01-USTATunja/05-USTA-Tunja-ProgramasAcademicos/Pregrado/IngenieriaCivil/2017/Documentos/Primeros_pasos_en_la_formacin_de_docentes_de_Ingeniera_Civil.pdf)
- Perico-Granados, N., Gómez, M., Calixto, M., y Bravo, V. (2013). Construcción sustentable del pavimento rígido. Caso: Troncal Central del Norte. Revista *L'esprit Ingenieur*, 4(1). Recuperado de: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingenieur/issue/view/73>
- Perico, N., Acosta, P., y Perico M., N. (2014). El ensayo para formar profesionales reflexivos. *Ingenio Magno*, 5(1), 111–119. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/885>
- Perico-Granados, N., Antolínez, M., y Rivera, J. (2014). Incidencia de las condiciones laborales en el clima del aula. Revista *Quaestiones Disputatae*, N 15, pp. 19-31. en: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/qdisputatae/article/view/838/811>
- Perico-Granados, N., Sánchez, H., y Medina, J. (2015). Elementos para exposiciones orales en la formación profesional, *Quaestiones Disputatae*, Vol.: 8(16), 69-82
- Perico-Granados, N., Caro, C., y Garavito, L. (2015). El proyecto en la investigación formativa, *Tunja: Investigium Ire*, V 9, pp. 166-174, en: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ivestigium/article/view/1156/1122>
- Porras, J. (2017). Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Recuperado de: [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7109/metodologia\\_diseno\\_concretos\\_permeables\\_respectivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7109/metodologia_diseno_concretos_permeables_respectivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Solano, C. (2009). Análisis de flexo tracción del concreto permeable. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6253/analisisdela-flexotracciondelconcretopermeable.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres, L. E. (2010). Tecnología del concreto permeable o ecológico en la construcción. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Vélez, L. (2010). Permeabilidad y porosidad en concreto. *Revista Tecnológicas*, 169-187.

