

ADOQUINES DE CONCRETO: PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y SUS CORRELACIONES

JUAN FERNANDO ARANGO LONDOÑO¹

Resumen

Este artículo presenta los resultados de los ensayos de diferentes propiedades físico-mecánicas realizados sobre una muestra de adoquines producidos en Colombia, que constituye la base experimental para la actualización de la norma NTC 2017 “Adoquines de concreto para pavimentos” del ICONTEC. Un total de 40 muestras, provenientes de 10 productores colombianos diferentes, fueron ensayadas en desarrollo del proyecto de investigación “Nuevo método para determinar la resistencia al desgaste de pisos”, realizada en convenio entre el grupo de investigación en Materiales y Tecnologías de la Construcción –MYTEC del Instituto Tecnológico Metropolitano, el Instituto de Productores de Cemento (ICPC) y la empresa productora de prefabricados INDURAL S.A.

Se determinaron las variables físico-mecánicas de las muestras con base en diferentes normas, se discuten y recomiendan las variables a ser controladas en la norma de calidad de producto en Colombia. Se reporta el valor para la resistencia a la abrasión a ser incluido en la norma de producto, y de forma adicional, se presenta la densidad de acabado de pisos en adoquines para efecto del cálculo de cargas muertas de diseño en estructuras (puentes y edificaciones).

1 Ingeniero civil y especialista en estructuras de la Universidad Nacional de Colombia. Estudiante de Doctorado Estudios en Ciencia y Tecnología, y Gestión de Innovación Tecnológica en la Universidad del País Vasco-UPV/EHU. Líder del grupo MYTEC del ITM. Investigador principal del proyecto “Desgaste de pisos” convenio ITM-ICPC-INDURAL. Email: juanarango@itm.edu.co; juarangol@mixmail.com

Palabras clave

Adoquines, Norma, Ensayos, Resistencia, Desgaste, Abrasión, Módulo de rotura, Compresión, Tracción indirecta, Absorción, Densidad, Carga, Puentes, Edificios.

Abstract

This paper shows the testing results for different physical properties of paving blocks. The test were driven over 40 samples from 10 different producers in Colombia, in order to build up experimental data base towards an actualization of NTC 2017 “Concrete paving blocks”, published by the Instituto Colombiano de Normas Tecnicas –(ICONTEC). This paper is derived from de research program “New Test Method for Determining Abrasion Resistance in Floor Materials”, developed at Instituto Tecnológico Metroplitano ITM at Medellín (Colombia), under agreement with Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC) and IN-DURAL S.A.

Physical-Mechanical properties for paving-blocks to be specified in Colombian standards are examined, and the upper value for abrasion resistance were determined. It is also introduced the density of concrete block paving as load for structural design.

Key words

Paving blocks, Standards, Tests, Resistance, Abrasion, Transverse load, Compression, Splitting, Absorption, Density, Load.

1. INTRODUCCIÓN

El control de calidad de los materiales de construcción se realiza con base en la verificación de algunas características físico-mecánicas, las cuales son especificadas en las normas de producto. Estas normas presentan también los valores y rangos en que se deben encontrar las propiedades analizadas con el fin de emitir juicios sobre la conformidad de estos productos y, por tanto, garantizar un mínimo de calidad al comprador y al usuario. De todas las características físico-mecánicas posibles de ser controladas en un material de construcción, en las normas técnicas de producto se seleccionan sólo algunas, debido a que determinados ensayos son difíciles de implementar, son poco confiables, no están disponibles por motivos técnicos o económicos, o bien porque algunas de estas características se pueden correlacionar entre sí, de tal forma que si se cumple con una de éstas, que es controlada por la norma, se controla otra de forma indirecta.

Con motivo de la actualización de la Norma Técnica Colombiana NTC 2017 “Adoquines de concreto para pavimentos”, editada por el ICONTEC, el Instituto Tecnológico Metropolitano y su grupo de investigación en Materiales y Tecnologías de la Construcción (MYTEC), en convenio con el Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC) y la empresa productora de prefabricados INDURAL S.A de Medellín, adelantaron la investigación “Nuevo método para determinar el desgaste de pisos”². Para los ensayos se contó con el suministro de muestras procedentes de diferentes productores ubicados en las principales ciudades colombianas.

2 El proyecto de investigación en desgaste de pisos entregó, además, bases experimentales para la actualización de las normas NTC 1085 “Baldosa de cemento” y NTC 2849 “Baldosas con superficie de grano-terrazo. Resultados de estos trabajos se pueden encontrar en otros artículos [Arango, 2004; Arango 2004a] y se encuentran en el borrador de actualización de estas normas.

Este artículo³ entrega algunos resultados finales de este proyecto de investigación, específicamente los relacionados con las correlaciones y tendencias encontradas en las propiedades adoptadas por las norma NTC 2017 y las norma europea prEN 1338, así como el análisis crítico de los ensayos especificados en la norma vigente NTC 2017.

2. METODOLOGÍA EMPLEADA

Los ensayos se condujeron de acuerdo con las normas NTC 2017 [Icontec, 2004], prEN 1338 [CEN, 1997] e ISO 4108 [ISO, 1980], sobre 40 muestras provenientes de 10 productores de adoquines ubicados en diferentes regiones colombianas. Como criterio de selección, se especificó la selección y envío de 10 especímenes provenientes de un mismo lote de producción. Todas las muestras de adoquines ensayadas fueron de sección rectangular, para uso en tráfico peatonal y vehicular. Se solicitó explícitamente que se incluyera, por cada productor, al menos una muestra proveniente de un lote del que se conocieran problemas de cumplimiento en alguna de las características cubiertas por la norma vigente de producto. No se incluyó, para la investigación, el ensayo de unidades conformadas por capas de materiales diferentes (duocapa o similares). Todas las unidades en el momento de ejecución de los ensayos tenían una edad superior o igual a 28 días.

Las propiedades físicas y mecánicas analizadas y las respectivas unidades adoptadas fueron: Módulo de rotura (M_r), en MPa; Absorción (Aa), en porcentaje; Densidad (D), en kg/m^3 ; Tracción indirecta (T_i), en MPa, Resistencia a la compresión (R_c), en MPa; Resistencia a la abrasión (Ih), en mm. Para la realización de los ensayos de tracción indirecta, se observaron las normas prEN 1338 e ISO 4108. Las otras variables se ensayaron de acuerdo con lo establecido en la norma NTC 2017 vigente. Sin embargo, para la

3 Agradezco los aportes y observaciones de los árbitros anónimos que revisaron este artículo. Sus acertados comentarios han permitido ciertamente llevarlo a otro nivel.

resistencia al desgaste, se aplicó el borrador de norma desarrollado en este mismo proyecto de investigación, que posteriormente se adoptaría por el Icontec como la norma NTC 5147. No se realizaron ensayos de resistencia al deslizamiento (*skid resistance*), debido a la no disponibilidad en el país, al momento del desarrollo de la fase de ensayos, del equipo correspondiente. No se condujeron ensayos de resistencia al congelamiento y descongelamiento por las condiciones tropicales colombianas.

3. RESULTADOS

Las figuras 1 a 5 presentan los resultados obtenidos para los ensayos conducidos sobre las muestras ensayadas. Se muestra además la línea de tendencia de los datos.

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la tabla 1 se resumen las estadísticas de regresión obtenidas para un ajuste lineal⁴ de las variables en estudio.

La diversidad de la muestra analizada se refleja en los bajos coeficientes de correlación obtenidos. Sin embargo, la tendencia de los datos entrega una perspectiva de interés concerniente en las relaciones entre las diversas variables físicas y mecánicas de las propiedades de los adoquines y los procesos empleados para su fabricación (maquinaria, curado), materias primas (cemento, agregados, aditivos) y diseños de mezclas, que son utilizados por las diferentes empresas. La dispersión de los datos también proporciona herramientas para considerar los ensayos que serán especificados para el control de calidad del producto en su respectiva norma técnica.

4 Se realizaron regresiones logarítmicas ($y=m*b^x$) y exponenciales del tipo $y=m*x^b$, obteniéndose en general un coeficiente de correlación igual o inferior al obtenido mediante una regresión lineal de la forma $y=m*x+b$. No se presentan, en este artículo, los resultados obtenidos con esos modelos. Información detallada de las regresiones logarítmicas y exponenciales se encuentran en el informe final del proyecto de investigación.

FIGURA 1. MÓDULO DE ROTURA

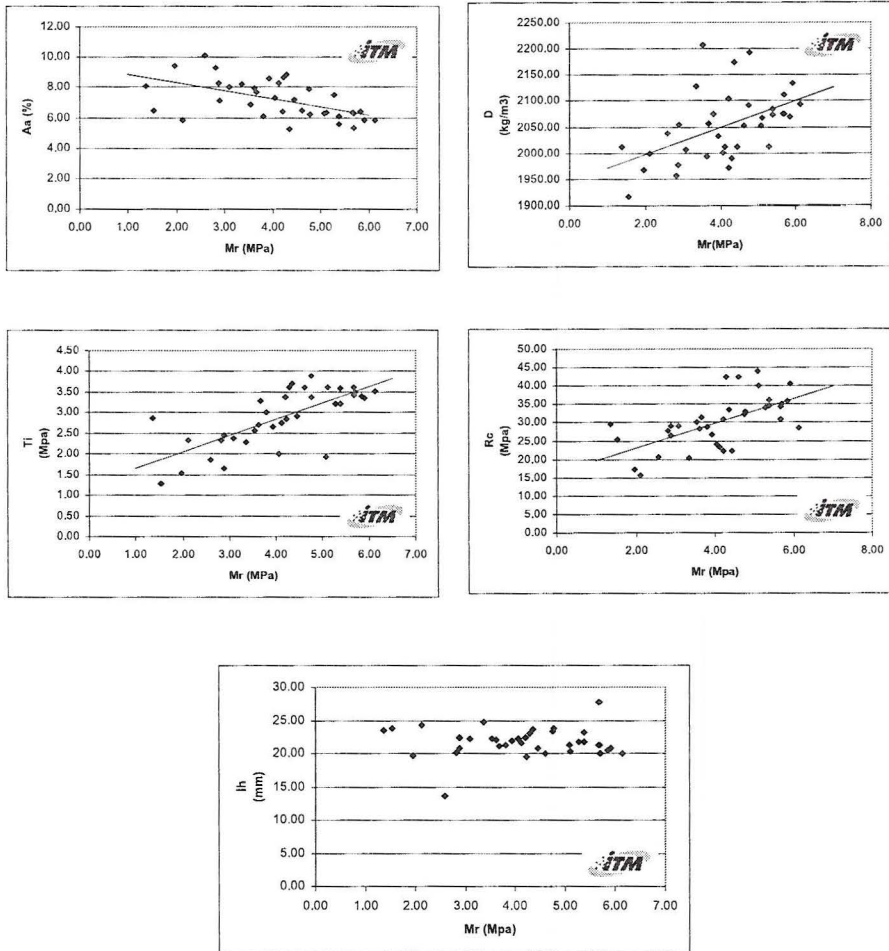


FIGURA 2. ABSORCIÓN

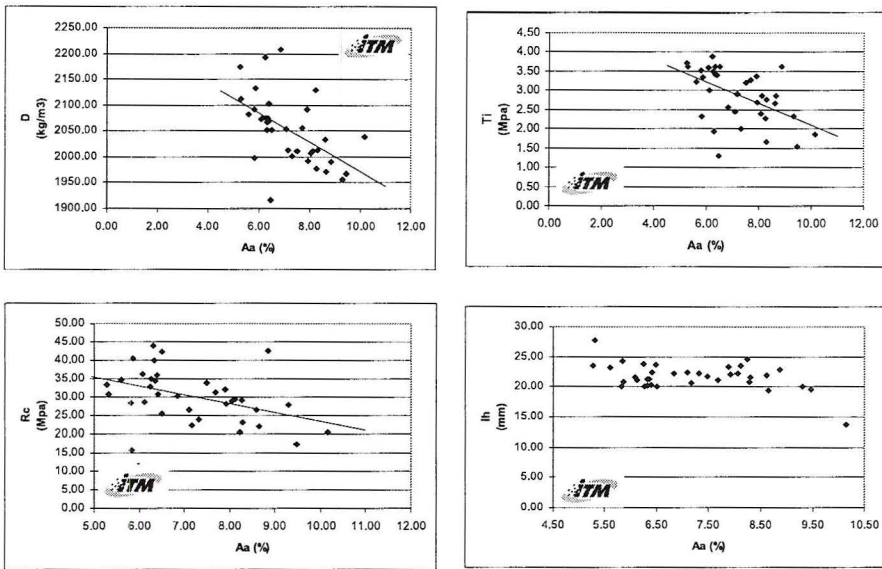


FIGURA 3. DENSIDAD

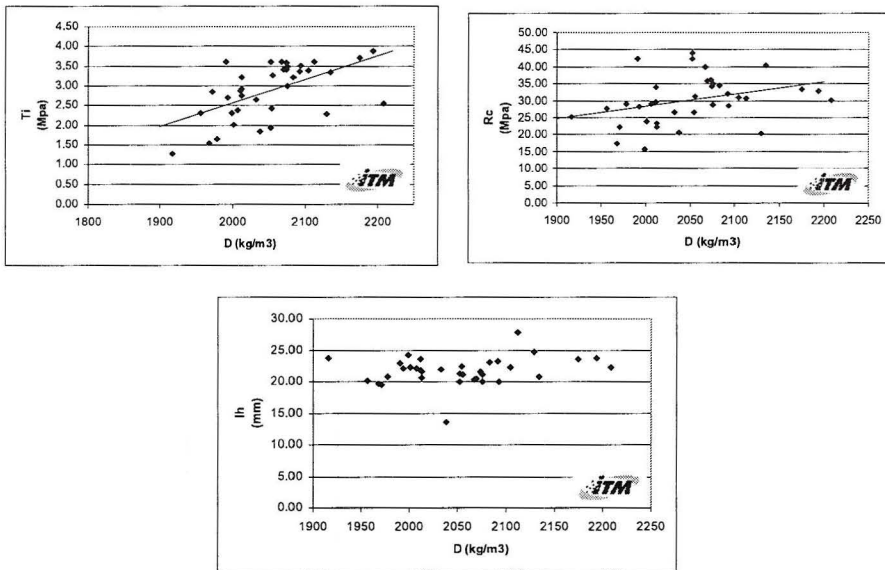


FIGURA 4. TRACCIÓN INDIRECTA

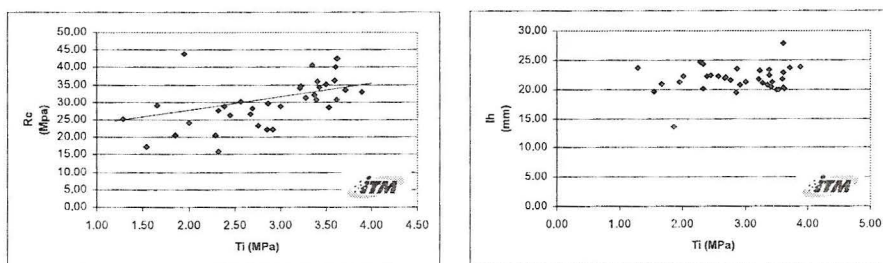
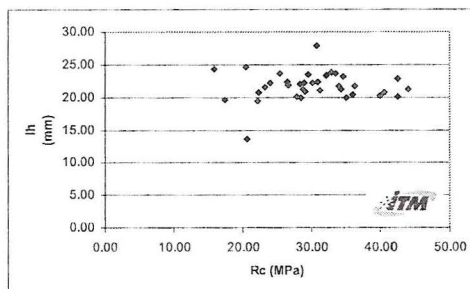


FIGURA 5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



La diversidad de la muestra ensayada, sólo permite analizar las tendencias⁵ en las diferentes relaciones consideradas. Por ejemplo, que a mayor densidad, mayor será la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción indirecta y, por tanto, el módulo de rotura, o bien que a mayor densidad, menor será la absorción⁶. También

5 Se enfatiza, que los resultados muestran tendencias suponiendo que el productor busca cumplir con los criterios de conformidad del producto. Bien podrían encontrarse, por ejemplo, casos de altas densidades, pero bajas resistencias como consecuencia de la baja presencia de cementantes en un espécimen.

6 Poon y Chan [2007], encontraron relaciones similares para el comportamiento de la densidad y la absorción en adoquines fabricados, incluyendo como agregados en los adoquines materiales provenientes de reciclaje de demoliciones; sin embargo, estos últimos presentaron mayor absorción en relación con muestras de control fabricadas sin inclusiones.

TABLA 1. RESULTADOS DE REGRESIÓN LINEAL DE LA FORMA $y = m \cdot x + b$

Propiedad	Mr-Aa	Mr-D	Mr-Ti	Mr-Rc	Mr-lh
m	-0,536	25,720	0,397	3,358	-
b	9,389	1946,203	1,249	16,375	-
r2	0,300	0,258	0,534	0,383	-
	Propiedad	Aa-D	Aa-Ti	Aa-Rc	Aa-lh
	m	-28,365	-0,281	-2,365	-
	b	2255,828	4,900	47,186	-
	r2	0,290	0,257	0,182	-
	Propiedad	D-Ti	D-Rc	D-lh	
	m	0,006	0,036	-	
	b	-9,502	-43,283	-	
	r2	0,328	0,116	-	
	Propiedad	Ti-Rc	Ti-lh		
	m	5,87	-		
	b	13,29	-		
	r2	0,34	-		
	Propiedad	Rc-lh			
	m	-			
	b	-			
	r2	-			

pueden encontrarse tendencias de la influencia de las variables, examinando la pendiente de la recta de regresión, es decir, la razón de cambio entre las diferentes propiedades.

El mejor coeficiente de regresión lineal obtenido (0,53) es para la relación entre el módulo de rotura y la resistencia a la tracción indirecta. Se sabe que existe una relación directa entre ambas propiedades, al inducirse la falla por la generación de tensiones de tracción en el concreto, sin embargo, el coeficiente de correlación obtenido para la muestra ensayada se puede calificar como bajo.

Para la muestra ensayada no se observa correlación alguna entre las diferentes características y la longitud de huella obtenida en el ensayo de resistencia a la abrasión. Lo anterior se evidencia al analizar la disposición de los datos sobre una franja predominantemente horizontal, la cual indica la independencia de la variable (lh). En la resistencia a la abrasión influyen diversas características de los materiales. Se ha encontrado [Arango, 2004 y 2004a] que tanto la pasta de cemento como el mortero presentan menor resistencia a la abrasión que los agregados y, a la vez, que diferentes tipos de agregados proporcionan para los pisos diferente resistencia a la abrasión, en función de su dureza. También se ha reportado [Poon & Chan, 2006] que la adición de material cementante en mezclas para la fabricación de adoquines, en forma de puzolanas, incrementa la resistencia a la compresión, pero no aporta incrementos significativos en la resistencia a la abrasión.

Intuitivamente se podría esperar que al mejorar las diferentes características mecánicas de los adoquines se obtuviera mayor resistencia a la abrasión, por ejemplo, a mayor módulo de rotura mayor resistencia a la abrasión. Sin embargo, los resultados obtenidos demuestran que ésta es una propiedad particular resultante de los materiales y métodos utilizados en la fabricación de los adoquines, bastante independiente de las otras características mecánicas ensayadas. Debido a la diversidad en el origen de las muestras y la falta de información específica, no se puede realizar el análisis sobre la influencia del proceso productivo o de los agregados en la resistencia a la abrasión. Todo ello hace considerar que la realización del ensayo de resistencia a la abrasión deba especificarse como un ensayo obligatorio para determinar la calidad del producto.

El módulo de rotura es controlado básicamente por la resistencia a la tracción directa del adoquín⁷, que a su vez se asocia con el

7 Si bien es cierto que en el ensayo se inducen esfuerzos de compresión y de tracción, la resistencia a la tracción de los adoquines de hormigón se encuentra entre el 4% al 15% de la resistencia a la compresión (ver tabla 2, columna Rc/Ti). De allí que al presentarse una distribución lineal de esfuerzos por no ser un material reforzado, con iguales magnitudes de tensiones de compresión y tracción durante el ensayo, la menor resistencia sea la que controle el ensayo de módulo de rotura, a saber, la resistencia a la tracción directa del hormigón.

desarrollo de cementación sobre la superficie de las partículas de agregados⁸. Por su parte, el ensayo de módulo de rotura supone la aplicación de una carga concentrada relativamente alta, sobre un plano cuyas dimensiones se calculan por medio del procedimiento del rectángulo inscrito [Icontec, 2004], el cual es medido directamente sobre las caras expuestas del adoquín y no sobre el área efectiva⁹. La evidencia que para la muestra ensayada se observa una relación desviación estándar/promedio en el módulo de rotura mayor que para las propiedades relacionadas, a saber, la resistencia a la tracción indirecta y la resistencia a la compresión, permitiría inferir que este ensayo amplifica el efecto de estas propiedades¹⁰.

TABLA 2. ESTADÍSTICAS BÁSICAS DE LOS RESULTADOS

Valor	Mr (MPa)	Aa (%)	D (kg/m ³)	Ti (Mpa)	Rc (Mpa)	lh (mm)	Ti/Rc (%)	Mr/Rc (%)	Mr/Ti (%)
Máximos	6.13	10.15	2208.36	3.89	43.98	27.81	14.66	21.50	2.61
Mínimos	1.37	5.27	1916.42	1.29	15.83	13.67	4.42	4.63	0.48
Promedio	4.12	7.18	2052.05	2.88	30.19	21.74	9.73	13.73	1.43
Desviación estándar	1.29	1.26	66.24	0.70	6.97	2.20	2.09	3.56	0.34
Desviación Est./ Promedio	0.312	0.175	0.032	0.242	0.231	0.101	0.215	0.260	0.239

- 8 Este fenómeno es conocido como *interfacial transition zone (ITZ)*. El desarrollo de la cementación en la interfase está relacionado principalmente con la absorción de los agregados, y el grado de saturación al momento de la realización de la mezcla, que permite o impide el ingreso de partículas de cemento en suspensión en el agua y que por tanto se desarrolle adherencia química y mecánica. También se relaciona con la cantidad de materiales finos que se pueden ubicar en la zona de contacto de tal forma que se disminuya el volumen de vacíos.
- 9 El área efectiva se determina por el mismo procedimiento de desplazamiento de agua para la absorción y expresa el volumen de material presente, al descartarse el área de vacíos y poros abiertos. El área neta promedia se obtiene de la relación entre el volumen neto y una de las dimensiones de la pieza, normalmente, la dimensión perpendicular al plano de interés sobre el cual se quiere determinar dicha área.
- 10 Partiendo de la premisa que se ha observado correctamente el procedimiento de ensayo en relación con la velocidad de carga y el posicionamiento de la pieza en la máquina.

Sin embargo, la relación desviación estándar promedio, en los ensayos de módulo de rotura por flexión, y módulo de rotura por tracción indirecta (tabla 2), sugiere que el ensayo de rotura por flexión es menos confiable que el ensayo de módulo de rotura por tracción indirecta. En una pieza pequeña como los adoquines, las diferencias entre la longitud de la luz libre estimada cuando se determina el rectángulo inscrito y la longitud "real" con que se realiza el ensayo, tienen efecto significativo en el cómputo del valor del módulo de rotura por flexión. La ubicación de la pieza en la máquina de ensayos y los espesores de las líneas que se dibujan de los ejes de carga y de apoyo (Icontec, 2004), difícilmente logran garantizar el ajuste entre la longitud de luz libre teórica y la longitud de luz lograda en la máquina de ensayos. Por otra parte, algunos de los ensayos de flexión realizados registraron planos de falla desviados respecto al plano de falla teórico¹¹ sobre el cual se realiza el cálculo del módulo de rotura por flexión. Esto se debe a que, a pesar de que el adoquín se considere un material homogéneo, no se puede garantizar la disposición final de los agregados, la homogeneidad de la mezcla de los diferentes materiales constitutivos, así como la uniformidad en la compactación. La norma de ensayo vigente no presenta criterios de aceptación o rechazo en el caso de que se presenten planos de falla desviados durante el ensayo, ni criterios de corrección de los cálculos por estas desviaciones.

De forma adicional, las relaciones R_c/M_r y M_r/T_i (tabla 2), demuestran que en función de la relación de confiabilidad de estimación indirecta, por el criterio de la razón entre la desviación estándar y la desviación promedio, es más apropiado el control indirecto de la resistencia a la compresión (R_c) y el módulo de rotura por flexión (M_r), por medio del ensayo de módulo de rotura por tracción indirecta, al presentar para la muestra un valor de 0,215.

11 Es decir, con un ángulo de desviación de hasta 20 grados respecto al eje de aplicación de carga por la máquina de ensayo.

Lo anterior sugiere la inconveniencia de realizar el control de calidad de producto para el módulo de rotura con base en el procedimiento vigente (módulo de rotura por flexión), debiéndose realizar investigaciones adicionales que permitan ajustar los valores obtenidos para el módulo de rotura, en el caso de desviación del plano teórico de falla, o bien, adoptar como procedimiento normativo el ensayo de módulo de rotura por tracción indirecta. Con base en los resultados presentados en la tabla 2, se sugiere que se debería adoptar el ensayo de módulo de rotura por tracción indirecta como normativo para el producto¹², el cual controlaría de forma indirecta la resistencia a la compresión.

De las bajas correlaciones para la absorción con las otras características analizadas (tabla 1), se observa que ésta debe ser controlada de forma independiente. La absorción del material está directamente relacionada con el ensuciamiento de las unidades y con la resistencia al congelamiento y descongelamiento.

El promedio de longitud de huella de desgaste obtenida, que expresa de forma indirecta la resistencia a la abrasión, fue de 21,7 mm. Para efectos de normalización, teniendo en cuenta la confiabilidad del ensayo, se puede asumir un valor máximo de 23 mm, obtenido como el promedio de las muestras ensayadas más media desviación estándar. Este valor es compatible con el recomendado por otras normativas [CEN, 1997; CEN 2004; Municipio de Medellín, 2003]. De acuerdo con los resultados obtenidos en las muestra ensayadas y teniendo en cuenta la diversidad de las mismas, se estima que este valor para la resistencia a la abrasión será fácilmente alcanzado por la mayoría de productores con los materiales y equipos utilizados en la actualidad. Sin embargo, la presencia de longitudes de huella tan altas como 27 mm en las muestras ensayadas, desestima la posibilidad de que este ensayo no sea requerido como normativo, y antes refuerza la necesidad de

12 Incluso a pesar de que este ensayo implica mayor trabajo de laboratorio en relación con los cortes necesarios para ajustar el tamaño del espécimen.

controlar esta variable para el producto¹³. Valores altos de resistencia a la abrasión representan un pobre desempeño en condiciones de servicio del material (tráfico), en relación con la comodidad del tránsito peatonal, de efectos adversos sobre la comodidad en el flujo vehicular y un incremento en la fatiga de todo el sistema de pavimento [Arango, 2004].

De los ensayos realizados, se puede determinar, a partir de los valores de densidad y absorción, los valores de diseño para efecto del cálculo de cargas de acabados en adoquines sobre estructuras de puentes y de edificaciones. Convenientemente, se puede asumir un valor de 2.200 kg/m^3 (tabla 2), obtenido como el producto de la densidad promedia y la absorción ($2.052,05 \text{ kg/m}^3 * (1+0,0718)$). Este valor resulta coincidente con los valores recomendados por la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-98 para concreto simple, no reforzado, fundido en sitio [AIS, 1997]. Lo significativo de este valor de densidad, para cálculo de cargas, se encuentra en que las características de porosidad de los adoquines son muy diferentes a un concreto simple vaciado en sitio y vibrado, pero sin condiciones de saturación, lo cual implica un incremento en la carga muerta del material.

5. CONCLUSIONES

Se determinaron las correlaciones entre la absorción, la densidad, el módulo de rotura por flexión, la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción indirecta (módulo de rotura por tracción) y la resistencia a la abrasión, a partir de una muestra significativa de adoquines producidos en Colombia. La muestra se seleccionó

13 No se puede argumentar que era previsible encontrar valores altos para la resistencia a la abrasión al solicitarse expresamente el envío de muestras con problemas conocidos de cumplimiento de norma. Como ya se observó, la resistencia a la abrasión es independiente de las diferentes propiedades controladas por la norma vigente (es decir sin actualizar) y, por otra parte, la resistencia a la abrasión no era determinada en Colombia sino hasta la realización del presente proyecto de investigación.

de tal forma que se incluyeron muestras de productos que bien cumplieran o no con las especificaciones de la norma de producto vigente al momento de la investigación.

La resistencia al desgaste no tiene asociación alguna con las otras características mecánicas analizadas, comportándose como una variable independiente, por lo cual se debe especificar como un ensayo de control de calidad de producto de forma independiente, sin que sea controlado indirectamente a partir de otras variables. Para efectos normativos, se recomienda la especificación de una longitud de huella máxima en el ensayo de resistencia a la abrasión de 23 mm, correspondiente al promedio de las muestras ensayadas más media desviación estándar. De acuerdo con el promedio y desviaciones estándar obtenidas en el ensayo de la muestra nacional, este valor de resistencia a la abrasión podrá ser alcanzado por la mayoría de productores; sin embargo, se observaron resultados tan altos como 27 mm que representan una baja comodidad de tránsito y fatiga del sistema de pavimento, lo cual refuerza la necesidad de que el ensayo sea implementado como normativo en el control de calidad de producto.

De las variables físicas examinadas sobre muestras heterogéneas, con bajo grado de afinidad en los procesos de fabricación y de materiales, se observó que existe una correlación entre los ensayo de módulo de rotura por flexión, la resistencia a la tracción indirecta y de la resistencia a la compresión de los adoquines. Del comportamiento de estas variables, se observa que es conveniente que la norma de producto reemplace el ensayo de módulo de rotura por flexión, vigente, por el ensayo de módulo de rotura por tracción indirecta como control de calidad de producto, al presentar menor desviación estándar, con lo que se controla de mejor forma otras variables mecánicas relacionadas.

En resumen, las variables que por sus características y correlaciones deben ser controladas para la conformidad de producto son: absorción (Aa), módulo de rotura por tracción indirecta (Ti), resistencia a la abrasión por medio de longitud de huella (lh). Propiedades tales como la densidad deben ser reportadas como

variables accesorias, no normativas, para el diseño de estructuras o bien para clasificación de los adoquines en función de rangos de densidad. No se entregan resultados analíticos para la resistencia al deslizamiento, los cuales podrán adoptarse con referencia a normas internacionales.

Se encontró que para fines de estimación de cargas sobre estructuras (edificaciones y puentes), se puede asumir que la carga de acabados con adoquines aporta una densidad de 2.200 kg/m^3 , que incluye los efectos de saturación de agua en el pavimento que aporta un incremento de carga de aproximadamente 7% de la masa seca del pavimento de adoquines.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su gratitud a las empresas prefabricadoras que colaboraron con este proyecto por medio del suministro y envío de materiales, así como al ITM, al ICPC y a INDURAL. De forma especial agradece también al Msc. Germán Guillermo Madrid, al Esp. Juan Carlos Rincón Hurtado, los estudiantes del programa de Tecnología en Construcción de Acabados Arquitectónicos y los técnicos del Laboratorio de Materiales del ITM que hicieron parte del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS): 1997 “*Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente*”. Bogotá: AIS.
- ARANGO, Juan Fernando: 2004. “Análisis comparativo de desgaste de pisos, normas NTC 1085 y 2849”. *En: Tecno-Lógicas* No. 12. p. 83-92.
- ARANGO, Juan Fernando: 2004. “Nuevo método para la determinación del desgaste de pisos”. *En: Tecno-Lógicas* No. 12 p. 93-101.
- ARANGO, Juan Fernando: 2005. Modelo de vida útil del pavimento de larga vida –PLV–. *En: Tecno-Lógicas* No. 12. p 9-21.
- CEN, 1997. *Concrete Paving Blocks. Requirements and test methods*. Bruselas. EN-1338-Draft paper.
-

- CEN, 2004. *Concrete Paving Blocks. Requirements and test methods*. Bruselas. EN-1338.
- ICONTEC, 1976. *Baldosa de cemento*. NTC 1085. Bogotá.
- ICONTEC, 1977. *Baldosas con superficie de grano-terrazo*. NTC 2849. Bogotá.
- ICONTEC, 2002. *Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de material para pisos y pavimentos mediante arena y disco metálico ancho*. NTC 5147. Bogotá.
- ICONTEC, 2004. *Adoquines de concreto para pavimentos*. NTC 2017. Bogotá.
- ISO, 1980. *Concrete-Determination of tensile splitting strength of test specimens*. ISO 4108. Génova.
- Municipio de Medellín: 2003, *Manual de Espacio Público –MEP–*. Medellín.
- POON, Chi-Son, CHAN, Dixon. 2007. "Effects of contaminants on the properties of concrete paving blocks prepared with recycled concrete aggregates". En: *Construction and Building Materials*. Elsevier. Disponible en línea desde 2005.
- POON, Chi-Son, CHAN, Dixon. 2006. "Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick". En: *Construction and Building Materials*. Elsevier (20). Disponible en línea desde 2005.