

## ESTUDIO DE CONCRETO ELABORADO CON CAUCHO DE RECICLADO DE DIFERENTES TAMAÑOS DE PARTÍCULAS

C. ALBANO<sup>1,2\*</sup>, N. CAMACHO<sup>1</sup>, M. HERNÁNDEZ<sup>3</sup>, A. J. BRAVO<sup>1</sup>, H. GUEVARA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Caracas, Venezuela.

<sup>2</sup>Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Centro de Química, Laboratorio de Polímeros, Caracas, Venezuela.

<sup>3</sup>Universidad Simón Bolívar, Departamento de Mecánica, Caracas, Venezuela.

\*e-mail: calbano@ivic.ve / carmen.albano@ucv.ve

Recibido: marzo de 2007

Recibido en forma final revisado: enero de 2008

### RESUMEN

Con la finalidad de minimizar el impacto ambiental que generan los neumáticos luego de transcurrida su vida útil, surge como objetivo fundamental del presente trabajo, analizar la influencia de la adición de la raspadura de las bandas de rodamiento de los neumáticos a los compuestos de concreto, a través de ensayos destructivos y no destructivos. Los estudios sobre resistencia a la compresión y a la tracción realizados a los compuestos a la composición de 5% en peso, así como con diferentes tamaños de partícula de caucho reciclado (grueso  $\geq 1,19\text{mm}$ , fino  $< 1,19\text{mm}$ , «al azar») a la edad de 28 días, indican que la adición de caucho de tamaños de partícula denominados «fino» y «grueso» disminuye estas propiedades mecánicas. En cambio, para el compuesto con 5% en peso de caucho de tamaño «al azar», los valores de estas propiedades mecánicas no presentan variaciones significativas al compararlos con el concreto tradicional. Por otra parte, la velocidad de pulso ultrasónico del compuesto con partículas de caucho «al azar» a los 28 días de curado presenta el mismo comportamiento que el concreto tradicional. Similar conducta muestran el módulo de elasticidad y la impedancia acústica.

*Palabras clave:* Concreto-caucho; Comportamiento mecánico, Velocidad de pulso ultrasónico, Raspadura de bandas de rodamiento; Módulo de elasticidad; Impedancia acústica.

### STUDY OF CONCRETE WITH SCRAP RUBBER OF DIFFERENT PARTICLE SIZE

#### ABSTRACT

With the purpose of diminishing the environmental impact that the tires produce after their life cycle has ended, it arises as the main target of the present work, the analysis of concrete compounds modified with scrap rubber from tire treads, through destructive and nondestructive testing. The studies on compressive strength and tensile strength made to compounds with 5 wt% of scrap rubber, with different particle size (coarse  $\geq 1.19\text{mm}$ , fine  $< 1.19\text{mm}$ , «random») at an age of 28 days, indicate that the addition of fine and coarse particles decrease these mechanical properties. However, for the compound with 5 wt% of «random» particle size, the values of these mechanical properties do not present significant variations when comparing them with the traditional concrete. On the other hand, the speed of ultrasonic pulse of the compound with «random» rubber particles at 28 days of cure presents the same behavior as the traditional concrete. Similar conduct is observed for the dynamic modulus and the acoustic impedance.

*Keywords:* Concrete-rubber, Mechanical behavior, Speed of ultrasonic pulse, Scrap rubber from tire treads, Elasticity's modulus, Acoustic impedance.

#### INTRODUCCIÓN

Los desechos de caucho han recibido gran atención en los últimos años debido al gran volumen que se genera y a su

dificultad para eliminarlos y/o reutilizarlos. Solamente en España durante esta década se están generando cada año 250.000 toneladas de neumáticos usados, de los cuales 45% se deposita en los rellenos sanitarios sin ningún tipo de

tratamiento, el 15% se deposita después de ser triturado y el 40% no está controlado. Existen diversas vías para que el caucho recuperado sea útil (Hernández-Olivares *et al.* 2002; Segre y Joeques, 2000; Segre y Monteiro, 2002; Chung y Hong, 1999; Guneyisi *et al.* 2004). Sin embargo, para que armonicen con el ambiente, los desechos de caucho deben ser convertidos a una forma óptima para su mejor utilización. Existen diferentes métodos o vías de disposición de los desechos de caucho. El método más utilizado es el de colocarlos en los rellenos sanitarios. La pirólisis puede ser otra opción. También, el caucho desechado puede servir como fuente energética, ya que el método de incineración tiene un alto valor calórico. A pesar de estas alternativas, el reciclaje aparece como la mejor solución para la disposición del caucho de desecho, debido a sus ventajas económicas y ecológicas.

Los materiales utilizables que se obtienen de los residuos de neumáticos, están constituidos por varios polímeros naturales y sintéticos: Caucho Natural (NR), Estireno Butadieno (SBR), Polibutadieno (BR), Polisoprenos Sintéticos (IR), entre otros, que puede ser usado como parte de los componentes de las capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras, con lo que se consigue disminuir la extracción de áridos en canteras. Las carreteras que usan estos asfaltos son mejores y más seguras. Pueden usarse también en alfombras, aislantes de vehículos o losetas de goma. Se han usado para materiales de fabricación de tejados, pasos a nivel, cubiertas, masillas, aislantes de vibración. Otros usos son los deportivos, en campos de juego, suelos de atletismo o pistas de paseo y bicicleta. Las utilidades son infinitas y crecen cada día, como en cables de freno, compuestos de goma, suelas de zapato, bandas de retención de tráfico, compuestos para navegación o modificaciones del betún.

También el Instituto de Acústica del CSIC ha desarrollado un proyecto para la utilización de estos materiales en el aislamiento acústico. El interés en la utilización de un material como el caucho procedente de los neumáticos de desecho para material absorbente acústico se centra en que requiere, en principio, sólo tratamientos mecánicos de mecanizado y molienda. Estos tratamientos conducen a un producto de granulometría y dosificación acorde con las características de absorción acústica de gran efectividad.

Por otra parte, la concepción de productos en base a concreto, también está incrementando debido al alto crecimiento del sector de la construcción en los últimos años. A pesar de que el concreto es uno de los elementos más extraordinario y versátil en la construcción, existe la necesidad de modificar sus propiedades tales como resistencia tensil, dureza, ductilidad y durabilidad (Topcu y

Avcular, 1997; Albano *et al.* 2005). La inclusión de caucho en el concreto resulta en mayor durabilidad y elasticidad, lo cual da lugar a su utilización en importantes áreas: como absorbedor de impacto en construcción de elementos viales y de sonido en barreras sónicas, y también en edificaciones sismoresistentes, etc.

En base a lo indicado, esta investigación se llevó a cabo con el fin de estudiar las propiedades mecánicas y las mediciones de pulso ultrasónico de un concreto al cual se le incorporó la raspadura de las bandas de rodamiento provenientes de neumáticos en un porcentaje de 5% variando el tamaño de partícula con una relación agua/cemento de 0,45 y edad de curado de 28 días.

## TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Para el desarrollo de la presente investigación se prepararon compuestos de concreto tradicional, los cuales están formados por agregados finos y gruesos, agua y cemento. El agregado fino es arena sílice con impurezas de mica proveniente del Río Tuy (Venezuela). El agregado grueso es piedra picada, formada de rocas calizas de tamaño promedio 2,54 cm (1"). El cemento utilizado es el Pórtland tipo I. El caucho proviene de la raspadura de las bandas de rodamiento, fue suministrado por Covencaucho, Venezuela. Se elaboraron mezclas de concreto tradicional y de concreto - caucho en donde la relación agua/cemento se mantuvo constante en 0,45, y se sustituyó parte de la arena (que representa el agregado fino) que se adiciona al concreto por caucho, el contenido de piedra permanece constante. El porcentaje de caucho utilizado fue de 5% en peso y los tamaños promedio de las partículas de caucho fueron mayores o iguales a 1,19 mm (grueso), menores a 1,19 mm (fino), estos tamaños fueron obtenidos por el tamizado de la raspadura de las bandas de rodamiento y un tamaño de partícula denominado «al azar» (utilizado como lo suministró la empresa Covencaucho).

Las mezclas se elaboraron tomando un diseño de mezcla tradicional, en donde se fijó un valor de asentamiento entre 6 y 10 cm (Porrero, 1986). Adicionalmente, se fijó una resistencia a la compresión de 280 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Con la Ley de Abrams (Porrero, 1986) y el valor de la resistencia a compresión fijada se determinó la relación de agua/cemento siendo ésta de 0,45. Utilizando la «relación triangular» (asentamiento, relación agua-cemento y dosis de cemento) se obtiene la cantidad de cemento necesaria para las mezclas, la cantidad de agua y la cantidad de agregados por m<sup>3</sup> de compuesto.

Las mezclas se prepararon en una mezcladora de eje vertical de 60 litros de capacidad nominal. Luego, se procedió a la elaboración de las probetas cilíndricas normalizadas y de losas. Durante las primeras 24 horas las probetas permanecieron en el sitio de elaboración y fueron cubiertas para evitar la retracción por pérdida de humedad. Transcurridas las 24 horas las probetas se retiraron de los moldes y se almacenaron en el tanque de curado lleno de agua limpia en reposo. A los 28 días de curado, se determinó la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción. Los ensayos se realizaron a cuatro cilindros por mezcla y el porcentaje de desviación es menor al 10%. Por lo tanto, el valor de la desviación no se presenta en las diferentes propiedades analizadas.

Por otra parte, transcurrido el tiempo de curado (después de los 28 días), se realizaron las medidas de los tiempos de tránsito de la onda de pulso ultrasónico a las probetas. Se realizaron 10 (diez) mediciones a cada probeta, utilizando vaselina como agente acoplante entre los transductores y la probeta. Se utilizó para la medición de la velocidad de pulso ultrasónico un Ultrasonic Non-Destructive Digital Tester (marca PUNDIT), con una apreciación de 0,1 y 1 s. Se empleó un transductor de 52 kHz, con una exactitud en el tiempo de tránsito de  $\pm 1\%$  y de  $\pm 2\%$  en el recorrido.

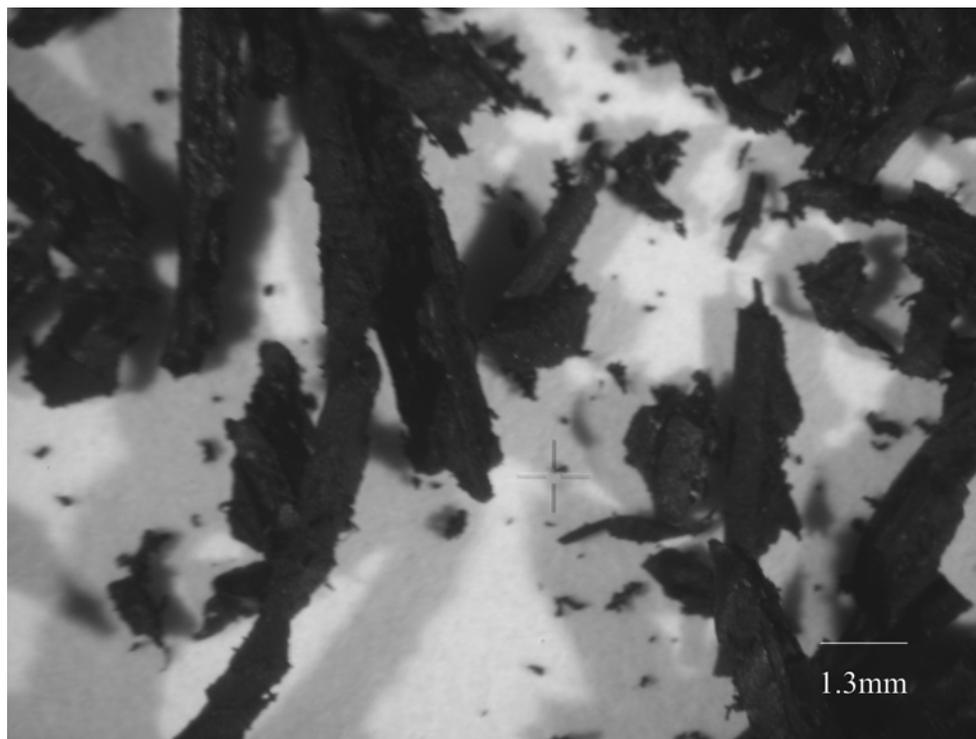
Las partículas provenientes de la raspadura de las bandas

de rodamiento de los cauchos y la superficie de fractura de las mezclas fueron observadas con una lupa electrónica.

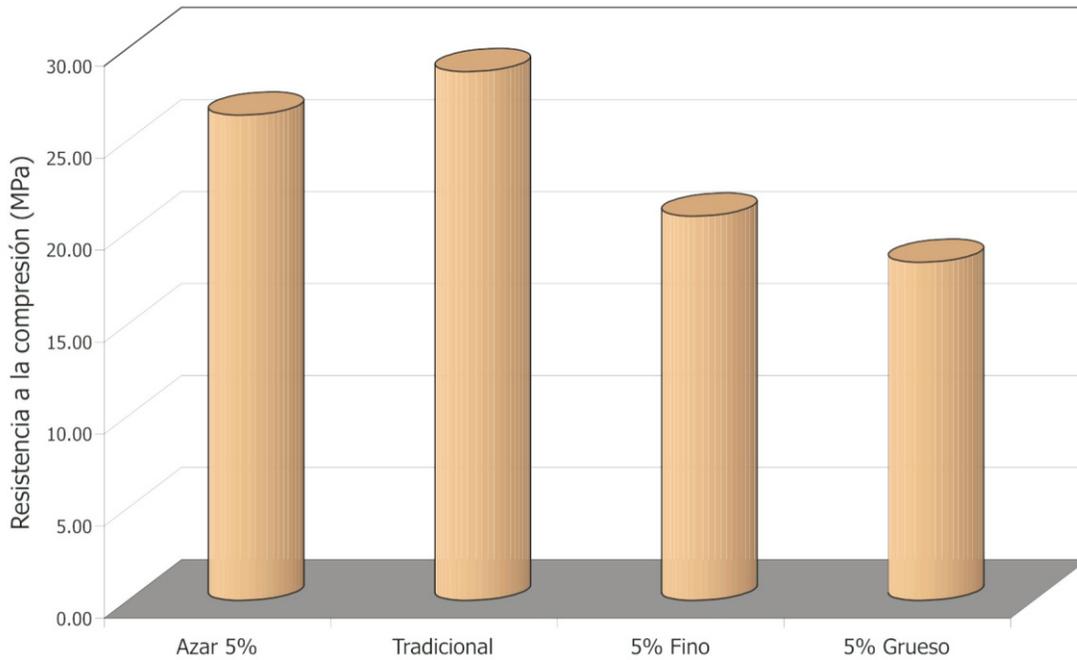
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fotografía de la figura 1 muestra que las partículas de caucho de tamaño al «azar» presentan una superficie rugosa, cuyas formas son irregulares y de diferentes dimensiones. No se presentan los tamaños denominados «grueso» y «fino», ya que ambos tamaños están representados en esta fotografía.

Los valores de resistencia a la compresión de las mezclas a la edad de 28 días y para diferentes tamaños de partícula se muestran en la figura 2. Como se observa, los compuestos con los tamaños de partículas de caucho denominados «fino» y «grueso» muestran una disminución bastante pronunciada al compararlos con los valores del concreto tradicional, siendo el porcentaje de disminución de 26 y 36%. Además, la utilización del tamaño de partícula denominado «grueso» del caucho en el compuesto produce un menor valor de la resistencia a la compresión al compararlo con el compuesto que contiene el caucho del tamaño denominado «fino». En cambio, cuando el tamaño de partícula es el denominado «al azar», el valor de esta propiedad, para el compuesto de concreto, es ligeramente



**Figura 1.** Partículas de caucho de tamaño «al azar».

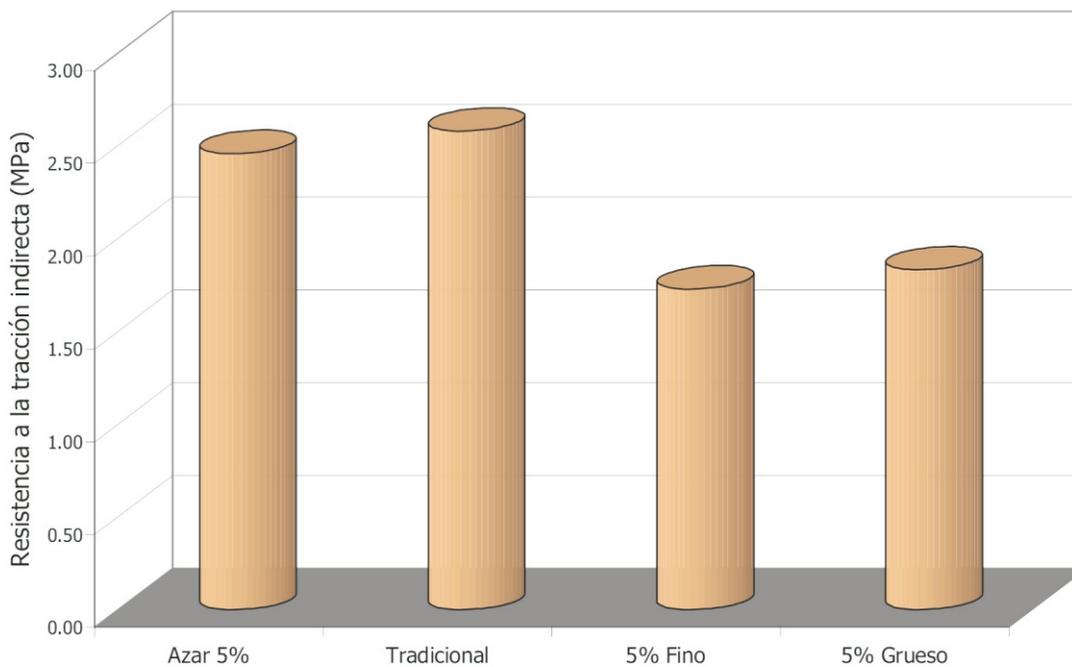


**Figura 2.** Resistencia a la compresión para los compuestos con los diferentes tamaños de partícula.

inferior al del concreto tradicional, siendo la variación menor al 8%.

cuales presentan un comportamiento análogo al de la resistencia a la compresión, puesto que el caucho afecta de manera similar a ambas propiedades. Siendo las variaciones entre el valor del concreto tradicional, con los diferentes

La figura 3 muestra los valores de la resistencia tracción, los



**Figura 3.** Resistencia a la tracción para los compuestos con los diferentes tamaños de partícula.

tamaños de partículas de caucho utilizados, azar, fino y grueso, de 5, 33 y 29%, respectivamente. Topçu (1995); Witoszek (2004); y Hernández y Barluenga (2002) encontraron resultados equivalentes.

En los ensayos de resistencia a la compresión y de resistencia a tracción en el momento de la rotura, el comportamiento era distinto dependiendo de la mezcla, ya que cuando las probetas no contenían caucho producían un ruido estruendoso, lo que no sucedía con las muestras con caucho (evaluación auditiva). Esto se debe a que los especímenes con caucho mostraban una alta capacidad para absorber energía plástica. Dichas probetas ensayadas soportaron cargas post-fractura y manifestaron desplazamientos significativos, los cuales son parcialmente recuperables. Así la masa de concreto es capaz de soportar cargas aunque esté fracturada. Esto debido a que el caucho tiene la habilidad de experimentar grandes deformaciones elásticas antes de la falla, tal como lo reporta Topçu (1995).

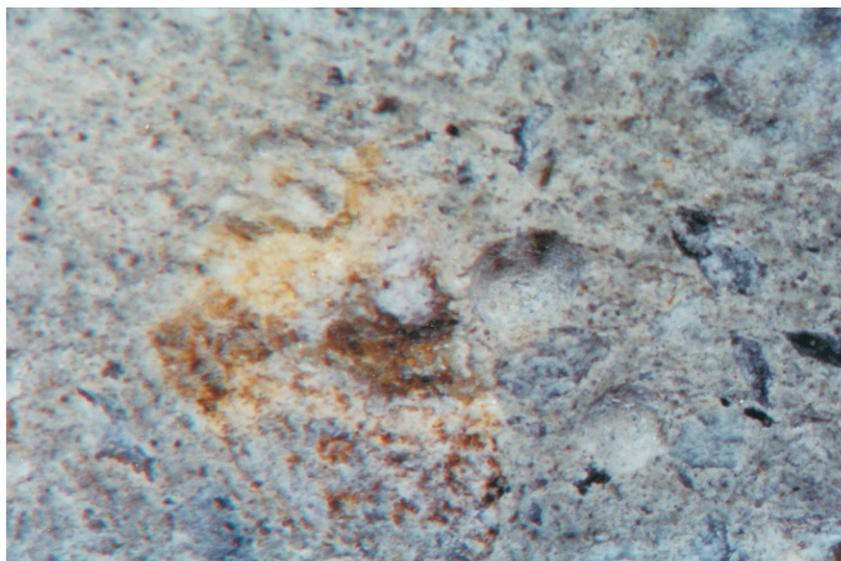
Este comportamiento presentado para las propiedades mecánicas de los compuestos con caucho de tamaños «fino» y «grueso» se debe al hecho de que las partículas de caucho actúan como poros dentro de la mezcla; ellas no incrementan la resistencia mecánica del concreto tal como lo hacen los agregados finos a la pasta, ya que el caucho es más elástico que el cemento endurecido. En la figura 4 se observa la porosidad de las mezclas de concreto-caucho con los tamaños «fino» y «grueso». También este comportamiento de la resistencia a la compresión y de la resistencia a la tracción se debe a un incremento en el contenido de aire con la concentración de caucho (Argüelles, 1980), así como a la existencia de enlaces interfaciales débiles

entre la pasta de cemento y el caucho recuperado (Álvarez y Álvarez, 1985).

Según Beton-Kalender (1957), la granulometría de los agregados inertes influye en la compatibilidad del concreto fresco, recomendando que la granulometría debiera variar desde partículas de tamaño fino a las más gruesas. Razón por la cual cuando se usa la mezcla con caucho con tamaño «al azar» se obtienen mejores resultados, ya que esto trae como consecuencia que las partículas pequeñas se coloquen en los intersticios o huecos dejados por las partículas grandes. Esto significa que existen menos espacios vacíos o huecos en la mezcla de concreto en el estado fresco, lo cual influye en la plasticidad y compatibilidad de la misma, afectando la trabajabilidad y la resistencia mecánica, es decir, mejorando en forma significativa las propiedades de resistencia a la compresión y resistencia a la tracción.

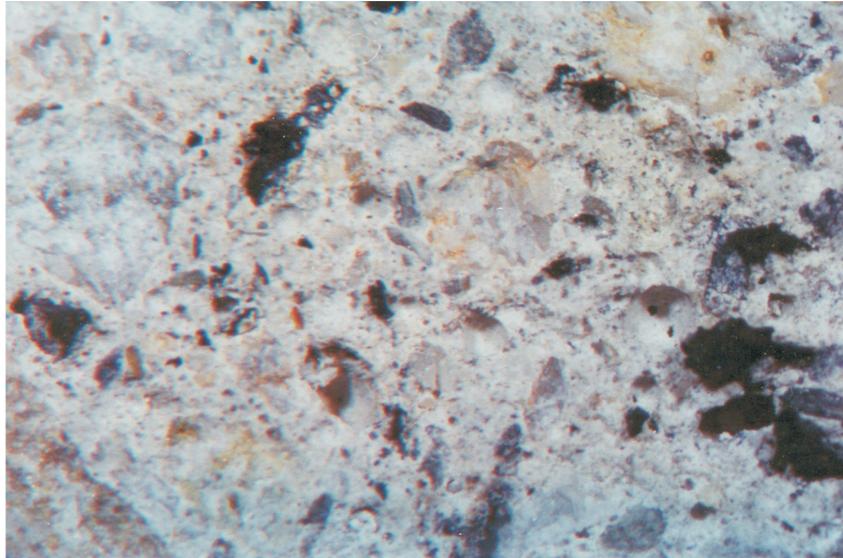
Aunque el compuesto concreto-caucho presenta una heterogeneidad, no se observó segregación del agregado y el caucho se distribuyó casi uniformemente en todos los compuestos analizados, como se evidencia en la figura 4.

La inclusión de caucho recuperado elimina la falla catastrófica del concreto reforzado. Esto se explica en base a que en el concreto sin caucho la primera grieta se propaga inmediatamente provocando una falla instantánea mientras que en los compuestos concreto-caucho, éste último mantiene ambos lados de la grieta juntos permitiendo que el material soporte parte de la carga a grandes deformaciones, lo cual fue una conducta observada visualmente que refleja el tipo de grieta que se produce en cada caso. Esta característica representa un aspecto importante para



a)

**Figura 4.** Porosidad de los compuestos concreto-caucho. a) sin caucho.



b)



c)

**Figura 4.** Porosidad de los compuestos concreto-caucho. b) 5% fino; c) 5% grueso.

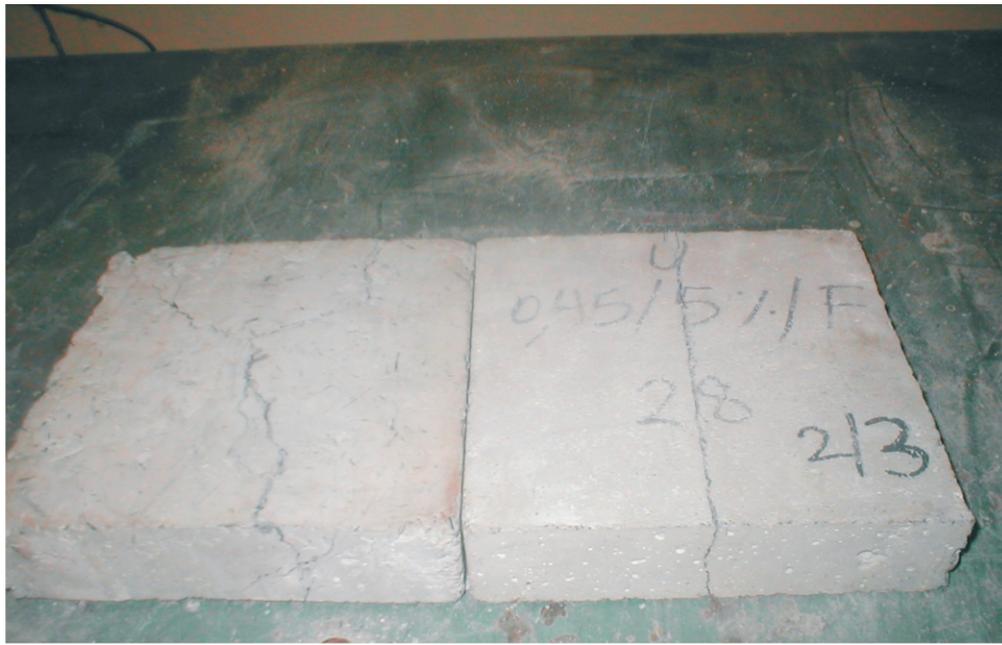
determinadas aplicaciones como concreto para pavimentos, defensas de concreto para autopistas, etc. Resultados similares fueron obtenidos por Huynh y Raghavan (1998) y Hernández y Barluenga (2002). En la figura 5, a manera de ejemplo, se muestran las losas fracturadas del concreto tradicional y el compuesto con 5% de caucho.

La figura 6 muestra como la velocidad de pulso ultrasónico en el compuesto con tamaño de partículas de caucho «al azar», presenta un comportamiento a los 28 días de curado muy similar al concreto tradicional (sin contenido de caucho).

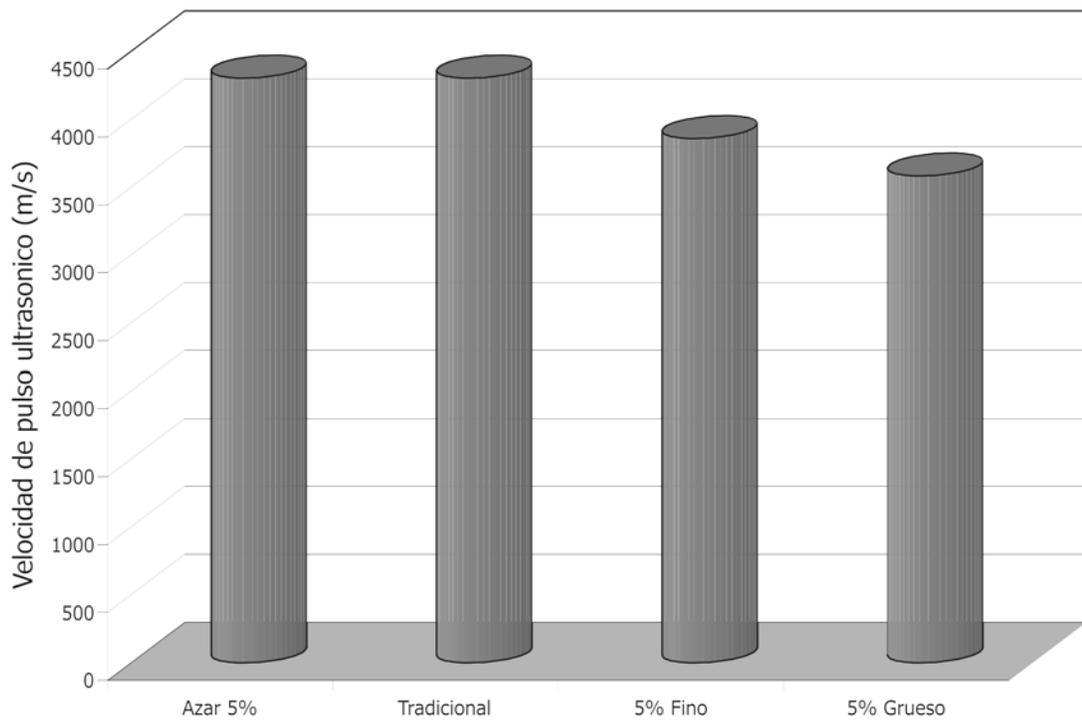
La disminución de la velocidad de pulso ultrasónico en los compuestos de concreto con caucho a los tamaños

denominados «fino» y grueso» se debe a la influencia negativa que provoca la concentración de un tamaño específico del caucho en la mezcla de concreto, en cuanto a características como: trabajabilidad en el estado fresco y resistencia mecánica en el estado endurecido (Porrero, 2004). Al disminuir la trabajabilidad aumentan las dificultades de compactación y colocación de la mezcla en los moldes. Este aspecto es influyente, puesto que el método de medición de velocidad de pulso es muy sensible a fallas en la compactación, debido a que genera espacios vacíos dentro de la muestra incrementando el tiempo de paso de la onda y disminuyendo la velocidad de pulso (Komlos, 1996).

Al evaluar la calidad de esta mezcla concreto-caucho de tamaño denominado «al azar», utilizando los valores de la



**Figure 5.** Comportamiento de las losas al fracturarse.



**Figura 6.** Velocidad de pulso ultrasónica para los compuestos con los diferentes tamaños de partícula.

velocidad de pulso, se tiene que según la clasificación de Leslie – Cheesman, se considera como un concreto de buena calidad, si los valores de pulso de velocidad ultrasónica se

encuentran comprendidos entre 3050 y 4570 m/s (Castorina, 2002).

A través de los valores de velocidad de pulso ultrasónico, se determinó el módulo elástico dinámico ( $E$ ) que representa una relación entre la carga y la deformación. La expresión matemática de  $E$  (Rossignolo y Agnesini, 2002) es:

$$E = 1 \times 10^{-6} c^2 w \quad (1)$$

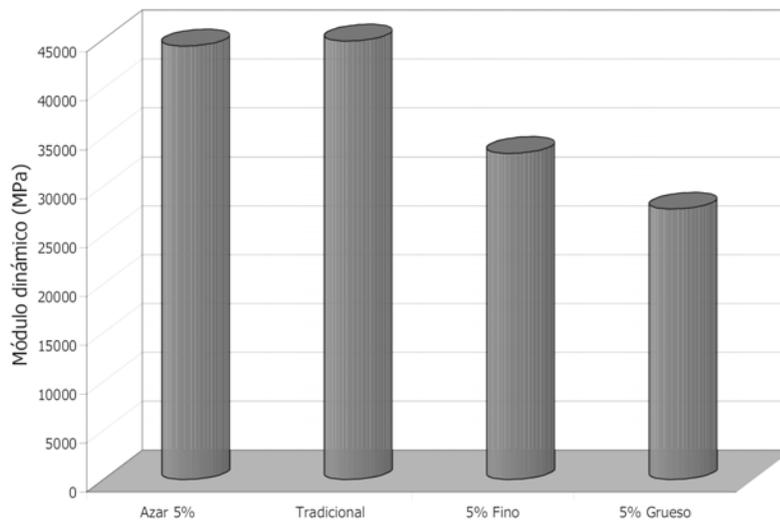
donde:

$w$  ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) es el peso volumétrico del concreto seco,  $c$  ( $\text{m}/\text{s}$ ) es la velocidad de pulso ultrasónico.

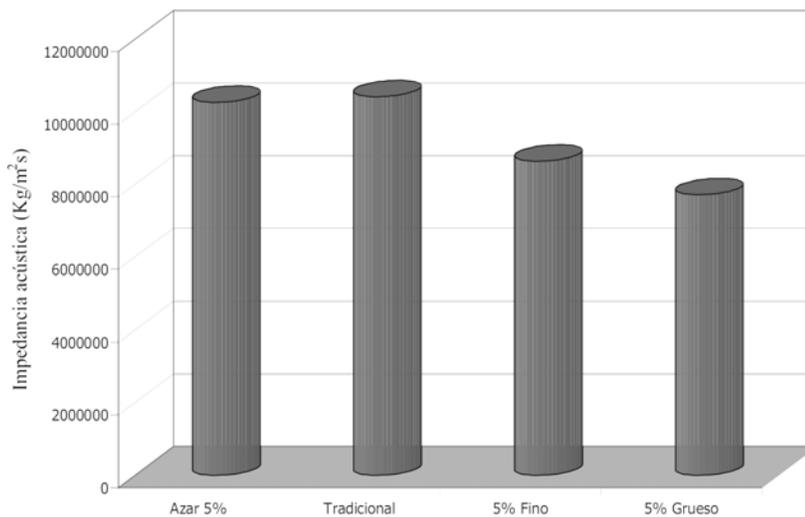
En la figura 7 se muestra el comportamiento del módulo de elasticidad obtenido a partir de la ecuación (1). Como se observa, los valores para el compuesto con caucho con

tamaño «al azar» son muy similares al concreto tradicional, registrando una disminución del 1%. En cambio, en el caso de los compuestos con caucho de tamaño denominado «fino», la disminución fue de 26% y con «grueso» de 38%, ya que estos compuestos presentan en su estructura interna mayor número de espacios vacíos debido a una distribución menos eficiente de las partículas del agregado, lo que trae como consecuencia un decremento en la velocidad de pulso y por ende en el módulo de elasticidad.

El mismo comportamiento lo presentan los valores de la impedancia acústica que indica la capacidad de aislamiento acústico (figura 8), siendo menor para los compuestos que contienen 5% de caucho del tamaño «fino» y «grueso».



**Figura 7.** Módulo dinámico para los compuestos con los diferentes tamaños de partícula.



**Figura 8.** Impedancia acústica para los compuestos con los diferentes tamaños de partícula.

## CONCLUSIONES

El descenso en los valores de las propiedades de resistencia a la compresión y resistencia a la tracción de los compuestos con caucho de tamaño «fino» y «grueso», se debe a la porosidad que se origina en las muestras. Por otra parte, el comportamiento del compuesto de concreto con 5% en peso de caucho de tamaño «al azar» muestra en todas las propiedades analizadas, valores similares a los del concreto tradicional. Esto se debe a que las partículas pequeñas se colocan en los huecos dejados por las partículas grandes de caucho, disminuyendo de esta forma la porosidad.

En resumen, se puede inferir que es factible, de acuerdo a la data analizada, utilizar 5% en peso de caucho de tamaño aleatorio (al azar), ya que no deteriora las características del concreto, además lo vuelve más liviano y al mismo tiempo ayuda a disminuir los efectos negativos que generan los desechos de caucho en el medio ambiente.

## REFERENCIAS

- ALBANO, C., CAMACHO, N., REYES, J., FELIU, J.L., HERNÁNDEZ, M. (2005). Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing, *Composite Structures*, 71, 439-446.
- ÁLVAREZ, H., ÁLVAREZ, M. (1985). Porosidad técnica del concreto. Tesis de pregrado, UCV, Caracas.
- ARGÜELLES, A. (1980). Hormigones. Fabricación y Cálculo. Madrid.
- BETON-KALENDER. (1957). Manual Teórico-Practico del Hormigón. El Ateneo. Buenos Aires.
- CASTORINA, A. (2002). Aplicación del ensayo de ultrasonido en el concreto endurecido. UCV.
- CHUNG, K., HONG, Y. (1999). Introductory Behavior of rubber concrete, *JAPS*, 72, 35-40.
- GUNEYISI, E., GESOGLU, M., OZTURAN, T. (2004). Properties of rubberized concretes containing silica fume, *Cement and Concrete Research*, 34, 2309-2317.
- HERNÁNDEZ, F., BARLUENGA, G. (2002). Static and dynamic behaviour of recycled tire rubber-filled concrete. *Cement and Concrete Research*, 32, 1587-1596.
- HERNÁNDEZ-OLIVARES, F., BARLUENGA, G., BOLLATI, M., WITOSZEK B. (2002). Static and dynamic behavior of recycled tyre rubber-filled concrete, *Cement and Concrete Research*, 32, 1587-1596.
- HUYNH, H., RAGHAVAN, D., FERRARIS, C.F. (1998). Workability, Mechanical properties and Chemical Stability of a Recycled tyre rubber-filled Cementitious composite, *J. Materials Sci.*, 33, 1745-1752.
- KOMLOS, K., POPOVICS, S., NURNBERGEROVA, T., BABEL, B., POPOVICS, J. (1996). Comparison of five standards on ultrasonic pulse velocity testing of concrete. *Cement, Concrete and Aggregates*, 18(1), 42-48.
- PORRERO, J. (1986). Diseño de Mezclas, Venezuela, Caracas, UCV.
- PORRERO, J., RAMOS, C. (2004). Manual del Concreto Estructural. Sidetur, Venezuela, 31-185.
- ROSSIGNOLO, J.A., AGNESINI, M.V.C. (2002). Mechanical properties of polymer-modified lightweight aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, 32, 329-334.
- SEGRE, N., JOEKES, I. (2000). Use of tyre rubber particles as addition to cement paste, *Cement and Concrete Research*, 30, 1421-1425.
- SEGRE, N., MONTEIRO, P.J.M., SPOSITO, G. (2002). Surface characterization of recycled tyre rubber to use in cement paste matrix, *J. Colloid and Interface Science*, 248, 521-523.
- TOPCU, IB., AVCULAR, N. (1997). Analysis of rubberized concrete as a composite material, *Cement and Concrete research*, 27(8), 1135-1139.
- TOPCU, I.B. (1995). The properties of rubberized Concretes, *Cement and Concrete Research*, 25 (2), 304-310.
- WITOSZEK, B., HERNÁNDEZ OLIVARES, F., ALONSO, M., BOLLATI, M., PARGA, B., BARLUENGA, G., BENITO, C. (2004). Hormigón con fibras de caucho de recuperación de neumáticos usados y de polipropileno diseño del firme hormigón de caucho». VI Congreso Nacional de Firmes, León, España, 641-656.