

# Performance of simple concrete pipes produced with the incorporation of rubber tires

## Comportamiento de tubos circulares de hormigón simple producidos con adición de caucho de neumáticos

J. Akasaki \*, C. Fioriti <sup>1</sup>\*, R. Queiroz \*, A. Fugii \*, J. Pinheiro \*

\* Universidade Estadual Paulista, UNESP. BRASIL

Fecha de Recepción: 14/07/2015

Fecha de Aceptación: 23/02/2016

PAG 27-36

### Abstract

*In this work we have studied the performance of simple concrete pipes produced with the incorporation of rubber tires with contents of 10, 15 and 20 kg/m<sup>3</sup> of concrete. The experimental program included diametral compression strength and water absorption tests. Twelve pipes were tested and divided into four sets of three pipes of nominal diameter (ND) of 600 mm and length of 1500 mm. Each series consisted of three pipes stub and bag (SB), one control (without rubber tires), and three sets incorporating rubber pipes on the trace (TB1, TB2 and TB3). All test results showed diametral compressive strength values higher than that specified the NBR 8890 standard, with respect to simple concrete pipes PS2 class: type SB with ND 600 mm, which is 36 kN/m. In the water absorption test all pipes had absorption values less than the maximum established in the NBR 8890 standard, which is 8%. It can be concluded from the results and specific conditions of the tests conducted, that the tire rubber has the potential to be incorporated into the manufacture of simple concrete pipes. However, it is stated that it is necessary to increase the knowledge about the behavior of concretes incorporating rubber tire.*

*Keywords: Simple concrete pipes, rubber tires, diametral compression, water absorption*

### Resumen

*En este trabajo se estudiaron tubos de hormigón simple elaborados con la adición de caucho de neumáticos en proporciones de 10, 15 y 20 kg/m<sup>3</sup> de hormigón. El programa experimental incluye la realización de ensayos de resistencia a la compresión diametral y absorción de agua. Se evaluaron doce tubos, con un diámetro nominal (DN) de 600 mm y longitud de 1500 mm, separados en cuatro series de tres tubos cada una. Cada serie estaba formada por tres tubos tipo punta y bolsa (PB): una serie de control (sin caucho de neumáticos) y tres series con incorporación de tres diferentes concentraciones de caucho en la mezcla para los tubos (TB1, TB2 e TB3). Todos los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión diametral presentaron valores superiores a los especificados en la norma NBR 8890 para los tubos de hormigón simple clase PS2: tipo PB con DN de 600 mm, cuyo valor es de 36 kN/m. En los ensayos de absorción de agua, todos los tubos presentaron valores de absorción inferiores al máximo establecido en la norma NBR 8890, cuyo valor es de 8%. Se puede concluir, que el caucho de neumático tiene potencial para ser incorporado en la fabricación de tubos de hormigón simple. No obstante, es imperativo ampliar el conocimiento sobre el comportamiento del hormigón preparado con caucho de neumáticos.*

**Palabras clave:** Tubos de hormigón simple, caucho de neumáticos, compresión diametral, absorción de agua

## 1. Introducción

Desde la antigüedad hasta la actualidad, existen diversos y curiosos informes sobre el uso de tubos diseñados para conducir flujos de agua o aguas residuales. Antiguamente, los conceptos de higiene estaban fuertemente relacionados con la religión. La mayoría de las construcciones tenían la finalidad de exhibir a sus creadores más que mejorar la calidad de vida de la población dotada con el sistema.

Aún se pueden encontrar tubos de hormigón simple capaces de resistir las cargas externas que datan de la época del Imperio Romano. En el siglo XIX, en París ya existían extensos sistemas de alcantarillado recubiertos con piedras adheridas con mortero de cemento (ACPA, 1993). Durante los últimos 25 años del siglo XIX, en los Estados Unidos, se instalaron muchos tubos de concreto. La técnica utilizada es poco conocida, lo más probable es que fuera por ensayo-error. (ACPA, 1980).

De acuerdo a otros informes (ACPA, 1980), el año 1897 se inició el desarrollo de la teoría de los tubos enterrados cuando F. A. Barbour realizó seis ensayos en tubos de 914,4 mm de diámetro atrincherados y enterrados entre los 1.000 mm y 2.500 mm de profundidad. Para esas pruebas, Barbour usó una plataforma hidráulica para aplicar las fuerzas sobre los tubos enterrados.

En la actualidad, la principal alternativa a nivel mundial usada para la construcción de tuberías de alcantarillado y drenajes de aguas lluvias es la de tubos de hormigón circular, que pueden ser del tipo punta y bolsa (PB), o macho y hembra. En Brasil, los tubos circulares con geometría PB son los más usados.

El uso de tubos circulares de hormigón simple y de hormigón reforzado ha aumentado debido a su durabilidad y buena resistencia mecánica, además de cumplir con las demandas del mercado. Como los tubos son fabricados por industrias cercanas a las zonas donde serán usados, ayudan a promover el desarrollo local generando empleos e ingresos por impuestos. Con los años, el diseño estructural de los tubos circulares de concreto se ha estado desarrollado

<sup>1</sup> Autor de Correspondencia:



ampliamente impulsado por las investigaciones de tipo experimental realizadas sobre la interacción tubo y suelo.

Paralelamente al desarrollo e incremento en el uso de los tubos de hormigón, y por diversas razones, se sabe que el uso de desechos de la construcción se ha vuelto cada vez más importante. También es sabido que el número de vehículos en circulación aumenta año a año, lo que entre otras cosas, genera sub-productos derivados de los vehículos, como por ejemplo, desechos provenientes del proceso mecánico de recauchaje de los neumáticos. El recauchaje se refiere principalmente a hacer uso de la sólida estructura del neumático gastado, siempre que se encuentre en buenas condiciones, e incorporarle una nueva goma de base (recauchaje) para obtener un neumático reparado.

De acuerdo a los cálculos, en Brasil, el 70% de los vehículos de carga y de pasajeros usan neumáticos elaborados con esta técnica, colocando a nuestro país en el segundo lugar del ranking mundial. El neumático prácticamente conserva las mismas características de comportamiento del neumático original, a un costo mucho menor. En términos de un neumático nuevo, representa cerca de un 75% en ahorro, tanto a nivel de materia prima como de energía. El recauchaje aumenta la vida del neumático en un 40% y ahorra un 80% de la energía y materia prima necesarias para la producción de un neumático nuevo (CEMPRE, 2013).

Por otra parte, el recauchaje es una fuente que contribuye bastante en la acumulación de residuos de caucho derivados del proceso, en forma de fibras y caucho en polvo. El impacto visual provocado por los residuos del recauchaje es negativo, y los depósitos en zonas abiertas de residuos de neumáticos ofrecen condiciones favorables para el desarrollo de diversos tipos de vectores, sumados al riesgo de incendio.

Los resultados muestran que la producción de hormigón con incorporación de neumáticos de caucho significa una importante disminución en la densidad de masa aparente, tanto en el estado fresco como endurecido, en la resistencia a la compresión y en la resistencia a la flexotracción del hormigón (RAGHVAN et al., 1998; DHIR et al., 2003).

Más aún, existe una disminución del módulo de elasticidad, pero un mejor comportamiento en la resistencia al

impacto con cuerpos duros. Este comportamiento (mejor durabilidad) es una característica que mejora la durabilidad del material; por otra parte, la absorción de agua parece no verse significativamente afectada (FIORITI et al., 2010; JOHN, 2000).

El objetivo de este trabajo era investigar el comportamiento de los tubos de drenaje para aguas lluvias fabricados con hormigón simple preparado con diferentes contenidos de caucho de neumáticos (10, 15 y 20 kg/m<sup>3</sup> de concreto) usando ensayos de resistencia a la compresión diametral y de absorción de agua de los tubos elaborados para este estudio.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Cemento

Se usó cemento HES-CPV (cemento Portland de alta resistencia a temprana edad) de acuerdo con los requisitos de la norma NBR 5733 (ABNT, 1991); un tipo de cemento ampliamente utilizado para la producción de elementos de hormigón prefabricados.

### 2.2 Agregados

Se empleó arena natural y piedra triturada (de basalto) y su caracterización se basó en los siguientes ensayos: tamaño de partícula NBRNM 248 (ABNT, 2003); absorción de agua NBRNM 30 (ABNT, 2001) y NBRNM 53 (ABNT, 2003); densidad de masa absoluta NBRNM 52 (ABNT, 2009) y NBRNM 53 (ABNT, 2003); densidad de masa aparente NBRNM 45 (ABNT, 2006); material orgánico NBRNM 49 (ABNT, 2001) y materiales en polvo NBRNM 46 (ABNT, 2003). La Tabla 1 muestra esta caracterización.

### 2.3 Neumáticos de caucho

El caucho empleado se obtuvo del proceso mecánico de recauchaje de neumáticos de vehículos todoterreno. Estos residuos tenían dimensiones muy diversas (Figura 1) y como la separación por tamaño en el lugar de procesamiento era una práctica imposible, se decidió realizar una selección mediante un proceso de tamizado en el laboratorio.

Tabla 1. Caracterización de los agregados

|                  | Diámetro máximo (mm) | Módulo de finura | Absorción (%) | Material pulverulento | Material orgánico | Masa específica               |                               |
|------------------|----------------------|------------------|---------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                  |                      |                  |               |                       |                   | Aparente (g/cm <sup>3</sup> ) | Absoluta (g/cm <sup>3</sup> ) |
| Arena            | 4.75                 | 2.36             | 0.28          | 0.44                  | + clear           | 1.554                         | 4.75                          |
| Piedra triturada | 19.00                | 6.59             | 2.08          | 0.88                  | -                 | 1.593                         | 19.00                         |



Figura 1. Residuos del recauchaje de neumáticos en su estado natural

Durante el proceso de muestreo de los neumáticos de desecho, se descartó el acero, el nylon o cualquiera otra impureza que pudiera afectar significativamente el comportamiento del hormigón. La fracción usada fue el material que pasó por el tamiz (tamaño de malla de 2,38 mm), que en promedio representó el 80% del volumen total del material. Este proceso tuvo como resultado una fracción de material más uniforme, con un tamaño máximo del desecho de 8 mm. En consecuencia, el 20% del material restante estaba compuesto por grandes piezas de la banda de rodamiento del neumático, que fueron excluidos de este estudio. El caucho se caracterizó usando los siguientes ensayos: tamaño de partícula NBRNM 248 (ABNT, 2003); densidad de masa específica NBRNM 52 (2009) y densidad de masa aparente NBRNM 45 (2006).

#### 2.4 Mezclas de hormigón de control usadas en los tubos

Se decidió que la mezcla de hormigón fuera igual al que se elabora en fábrica, por lo que la composición seleccionada fue a la empleada por la industria en la fabricación y venta de sus tubos. Se escogió esta opción basándose en el hecho de que el equipo de moldeo influye en las características de calidad de los tubos y, de acuerdo con la información entregada por la fábrica, la composición usada había sido desarrollada específicamente para el equipo y materiales que ellos utilizaban. Además, la falta de equipos para fabricar los tubos en los laboratorios usados en este estudio fue un factor que nos indujo a llegar a un acuerdo con la fábrica de tubos para poder usar sus instalaciones, materiales y equipos para nuestro trabajo. La Tabla 3 muestra las diferentes composiciones de hormigón para fabricar los tubos, tanto los de control como los tubos modificados con caucho.

Tabla 2. Caracterización de los neumáticos de caucho

|        | Diámetro máximo (mm) | Módulo de finura | Absorción (%) | Material pulverulento | Material orgánico | Masa específica               |                               |
|--------|----------------------|------------------|---------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|        |                      |                  |               |                       |                   | Aparente (g/cm <sup>3</sup> ) | Absoluta (g/cm <sup>3</sup> ) |
| Caucho | 4.75                 | 3.81             | -             | -                     | -                 | 0.348                         | 1.090                         |

Tabla 3. Mezclas de hormigón de control usadas en los tubos

|         | Cemento (kg) | Arena (kg) | Piedra triturada (kg) | Agua (kg) | Relación Agua/cemento | Caucho (kg) | Contenido de caucho (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------|--------------|------------|-----------------------|-----------|-----------------------|-------------|--|
| Control | 40.00        | 80.00      | 100.00                | 16.00     | 0.40                  | -           | -  |
| TB1     | 40.00        | 80.00      | 100.00                | 16.00     | 0.40                  | 1.40        | 10                                       |
| TB2     | 40.00        | 80.00      | 100.00                | 16.00     | 0.40                  | 2.00        | 15                                       |
| TB3     | 40.00        | 80.00      | 100.00                | 16.00     | 0.40                  | 2.70        | 20                                       |

La elaboración de los tubos se realizó con un tambor vibratorio para hormigón (Figura 2) como se indica para la producción industrial compacta.

El curado de los tubos se realizó en condiciones ambientales durante 7 días, manteniendo la humedad constante mediante la pulverización con agua de los tubos.



Figura 2. Densificación del hormigón mediante sistema de producción vibratorio

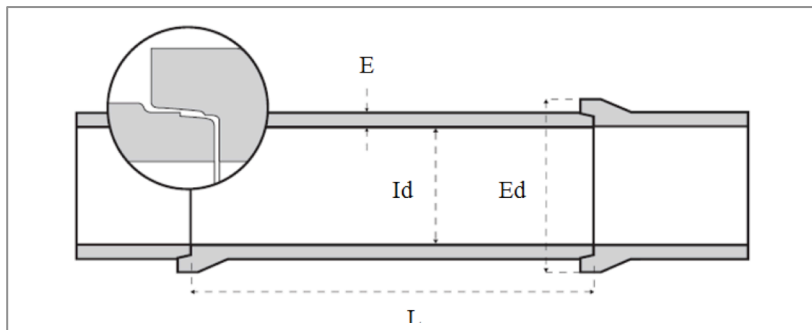
### 2.5 Dimensiones de los tubos de hormigón

Los tubos de hormigón simple, clase PS2, tipo PB: NBR 8890 (ABNT, 2007), que se usarían como tubos de

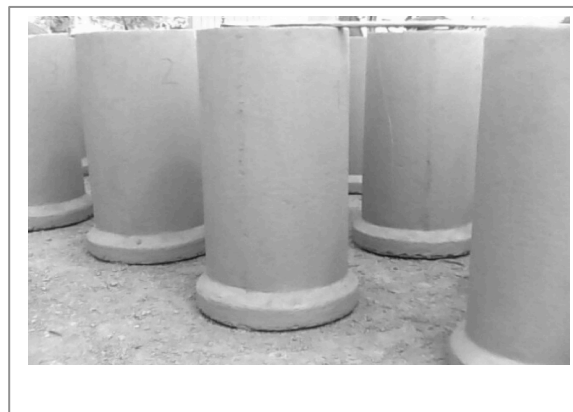
drenaje de aguas lluvias, fueron fabricados de acuerdo a las dimensiones establecidas en la Tabla 4 y los detalles señalados en las Figuras 3 y 4.

**Tabla 4.** Dimensiones de los tubos de hormigón simple en mm

| Nominal (ND) | Peso (kg x metro lineal) | Diámetro interno (ID) | Largo total (L) | Espesor (E) | Diámetro externo (DE) |
|--------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|-------------|-----------------------|
| 600          | 310                      | 600                   | 1500            | 60          | 880                   |



**Figura 3.** Ilustración de los tubos de hormigón simple (tipo PB) según la NBR 8890 (ABNT, 2007)



**Figura 4.** Tubos de hormigón simple con adición de caucho de neumáticos

## 2.6 Resistencia a la compresión diametral

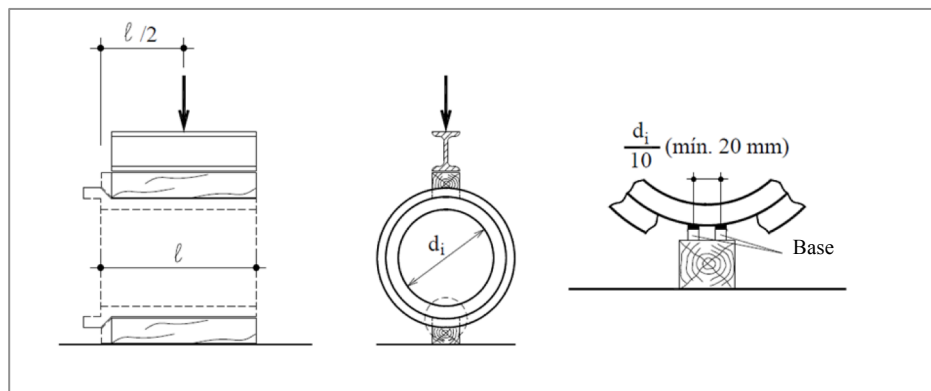
El diseño estructural de los tubos de hormigón está relacionado con la determinación de las cargas que actúan sobre el tubo enterrado, las que pueden ser permanentes (acción de los vertederos o taludes) o móvil (acción de los vehículos). Razón por la que el ensayo a la compresión diametral de los tubos de hormigón se realizó usando la norma NBR 8890 (ABNT, 2007).

Para los ensayos de los tubos de hormigón simple, se determinó únicamente la carga de ruptura. El procedimiento de ensayo comenzó con la medición de la longitud efectiva (L) del tubo a lo largo de tres generatrices, fuera de fase entre ellas por un ángulo de 120 grados, y el valor de la longitud útil igual al promedio de las tres mediciones. Se colocó el tubo en soportes planos, horizontales, paralelos y simétricos a su eje; estos soportes estaban formados por listones rectos de madera de longitud igual o mayor al tubo; se colocó una viga recta de longitud igual o mayor al largo del tubo a lo largo de la generatriz del tubo. Para evitar la concentración de los esfuerzos sobre las posibles irregularidades de la superficie, se intercaló una tira de caucho de unos 5 mm de espesor, o bien, una capa de arena entre el tubo y cada barra. El conjunto debe quedar ajustado de modo que los puntos de aplicación de la carga coincidan con la mitad del valor de la

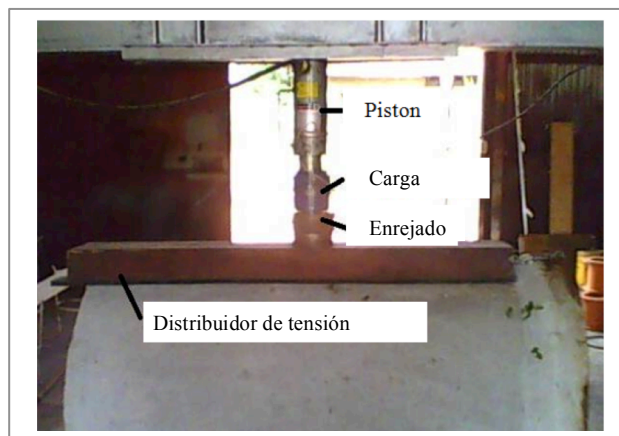
longitud efectiva del tubo, con el fin de asegurar una distribución uniforme de la carga en toda la extensión del cuerpo. La carga debe aplicarse a una velocidad constante no menor a 5 kN/min ni mayor a 35 kN/min por metro de tubo, hasta que ocurra la falla. La Figura 5 muestra las disposiciones para el ensayo de un tubo con extremos tipo PB.

El monitoreo de la carga aplicada se realizó con un sistema de adquisición de datos conectado a una microcomputadora mediante el programa DasyLab. El equipo se conectó a una celda de carga con 50 ton de capacidad máxima, acoplado entre el pistón del gato hidráulico y la viga de distribución de la carga aplicada, como se aprecia en la Figura 6. Para el ensayo, se usó una barra para acomodar las deformaciones, considerando que las dimensiones del tubo no son perfectas. Cabe señalar que para los tubos tipo PB, la carga no se aplica en la zona de la bolsa, como en la Figura 6, sin embargo, la zona de la bolsa también se ve afectada por el efecto de la carga, por lo que es aconsejable dividir la fuerza por el largo efectivo del tubo, en este caso 1.500 mm.

Se moldearon tres tubos patrones de concreto simple para cada edad, con falla a los 28 días de edad, considerando como resistencia a la rotura su media aritmética.



**Figura 5.** Esquema de ensayo a la resistencia a la compresión diametral de un tubo con extremos tipo PB, según la norma NBR 8890 (ABNT, 2007)



**Figura 6.** Sistema de aplicación de la carga usado para el ensayo de los tubos

### 2.7 Absorción de agua

La tasa de absorción de agua de los tubos de hormigón simple se ajustó a la NBR 8890 (ABNT, 2007). La absorción máxima de agua en relación a su masa seca se limitó al 6% para alcantarillado y al 8% para aguas lluvias. Posteriormente, de los tubos sometidos al ensayo de compresión diametral a los 28 días de edad, se extrajeron dos probetas no deformables por tubo, obteniéndose un área superficial de entre 100 cm<sup>2</sup> y 150 cm<sup>2</sup>, sin grietas visibles.

Las probetas fueron secadas al horno a una temperatura de 105 ± 5°C, durante un mínimo de 8 horas, hasta que dos pesadas consecutivas, en intervalos de mínimo dos horas, mostraron una pérdida de masa inferior al 0,1% con respecto a su masa original. Una vez secas, las probetas fueron colocadas en contenedores adecuados, inmersas en agua potable hirviendo (100°C) y mantenidas así durante 5 horas. Luego, se dejaron enfriar dentro del agua hasta que alcanzaron la temperatura ambiente; se secaron con una toalla, paño o papel absorbente y se pesaron. La absorción de agua está dada por la Ecuación (1):

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} * 100 \quad (1)$$

donde: A = absorción de agua (%); M<sub>0</sub> = masa de la probeta seca (g); M<sub>1</sub> = masa de la probeta después del ensayo de saturación (g).

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Resistencia a la compresión diametral

La Figura 7 muestra los resultados de los ensayos a la compresión diametral, donde el tubo de control (sin caucho de neumático) obtuvo el valor mayor. Teóricamente, a mayor incorporación de caucho de neumático en el hormigón,

menor sería su resistencia; sin embargo, no se observó este comportamiento para el tubo TB2, que contenía el mayor valor entre los tubos con caucho incorporado. La diferencia entre los tubos TB1 y TB2 fue de 1.70%; y entre los tubos TB2 y TB3 fue de 4.62%. Cabe señalar que hasta 15 kg/m<sup>3</sup> de concentración de caucho incorporado al hormigón de los tubos, la disminución del valor de la resistencia a la compresión diametral no es tan marcada y que después de esa concentración la resistencia a la compresión diametral disminuye considerablemente (48.20 kN/m). Aún más, todos los tubos usados en los ensayos excedieron el valor de la compresión diametral impuesto por la NBR 8890 (2007) para los tubos de hormigón simple (PS2) tipo PB con ND de 600 mm, esto es 36 kN/m.

Considerando los resultados encontrados en las referencias (SIDDIQUE y NAIK, 2004; SUKONTASUKKUL y CHAIKAE, 2006; FIORITI et al., 2010), que usaron contenidos de caucho de neumáticos que variaban entre el 3% y el 15% en sus composiciones, se encontró que el concreto con estos rangos de desechos tendía a perder su resistencia a la compresión y tenía menor tracción que cuando se usaban porcentajes superiores al 15%.

Las Figuras 8, 9 y 10 muestran los comportamientos del tiempo de carga para los tubos de hormigón con desechos de caucho durante los ensayos a la compresión diametral. Después de alcanzar el CMID, determinado por la NBR 8890 (ABNT, 2007), el tubo debe soportar su carga durante un minuto; luego la carga debe ser incrementada hasta que el tubo alcance la falla. Si el caucho presenta comportamiento de fibra, lo que en este caso no ocurrió, la carga debe ser retirada y vuelta a aplicar hasta alcanzar el valor mínimo de carga sin daño. Esta carga debe ser soportada durante un minuto, luego se debe incrementar hasta alcanzar el valor correspondiente al 5% más del valor mínimo de carga sin daño.

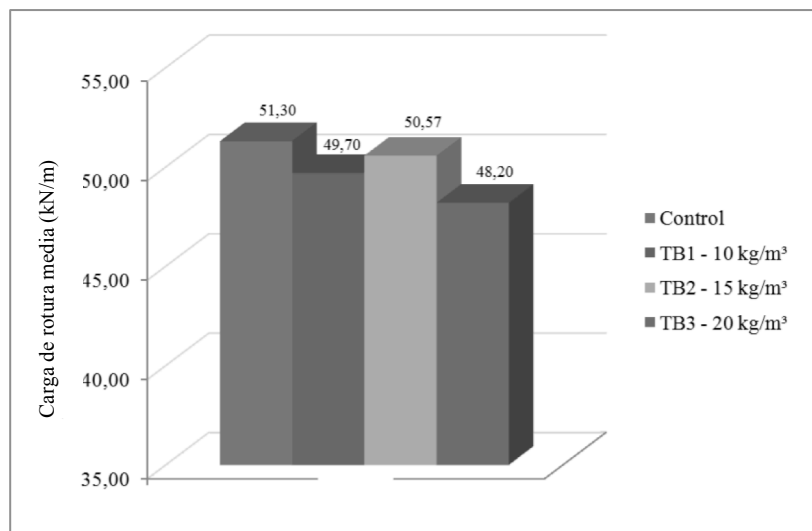


Figura 7. Resultados de los ensayos a compresión diametral



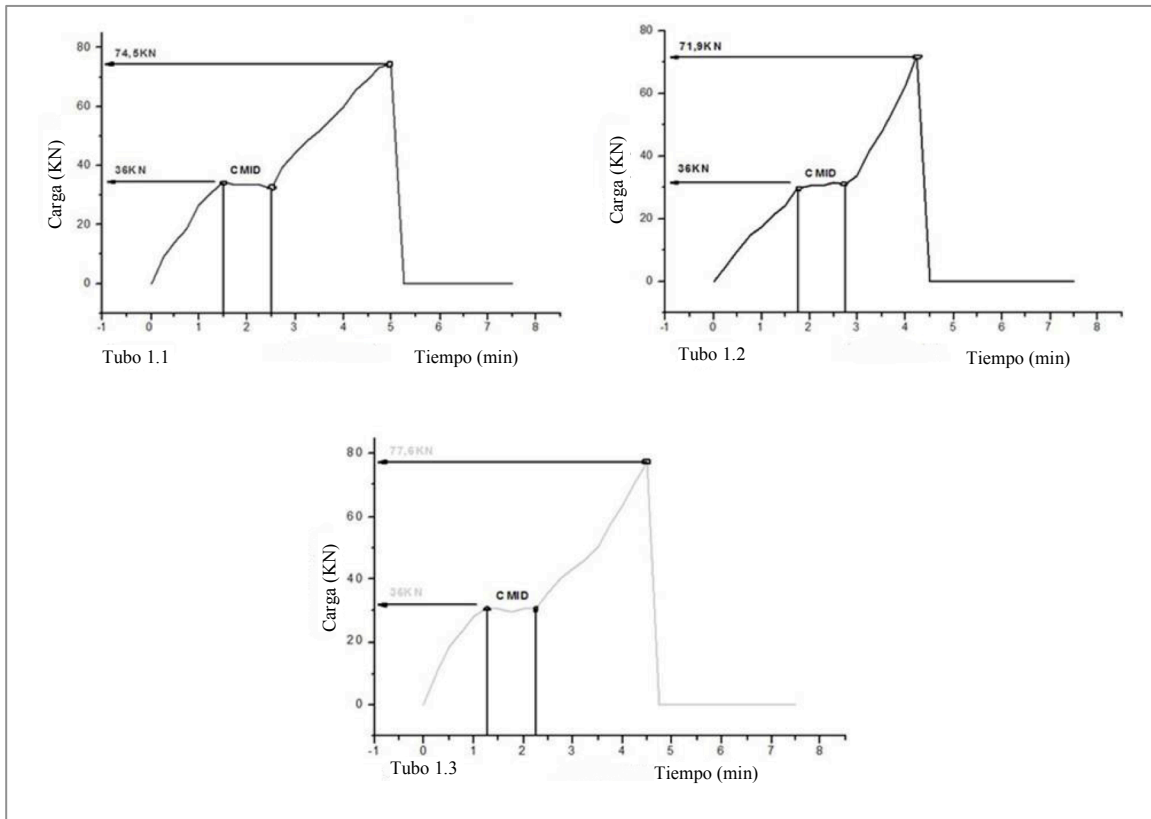


Figura 8. Gráfico de carga versus tiempo para los tubos TB1 – 10 kg/m<sup>3</sup>

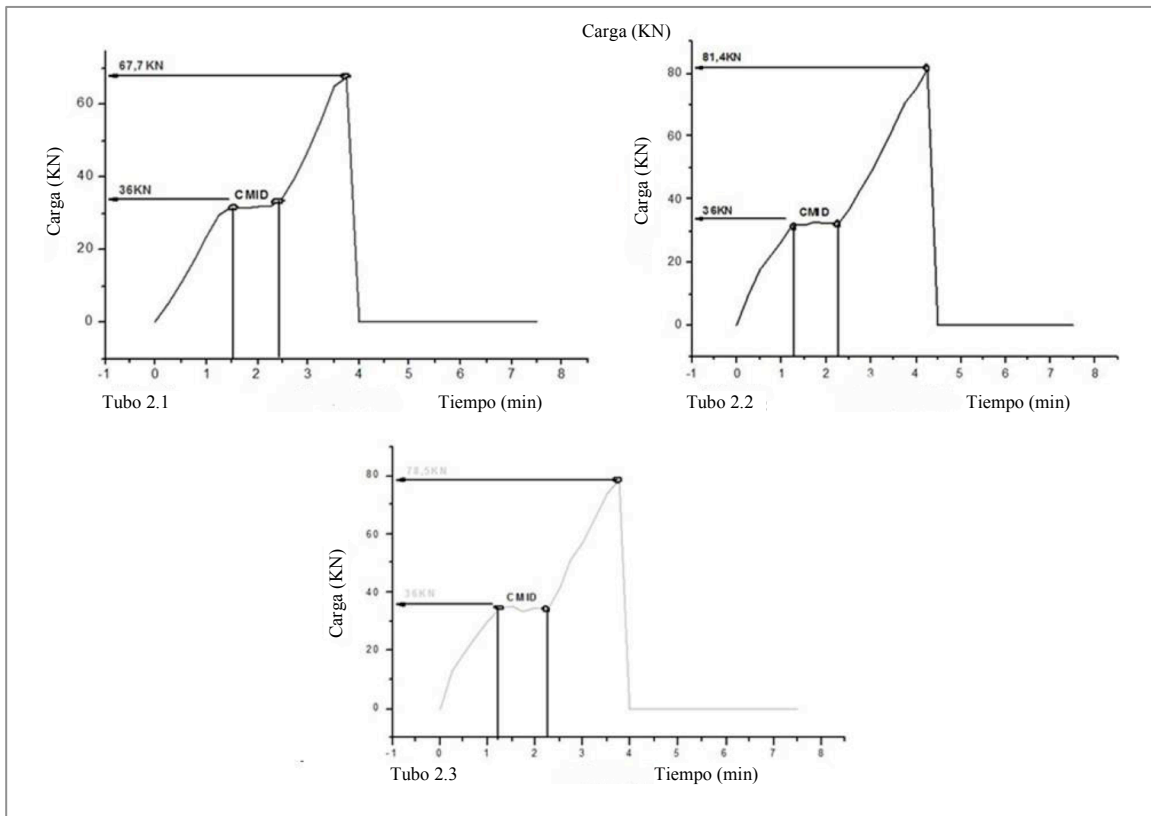


Figura 9. Gráfico de carga versus tiempo para tubos los TB2 – 15 kg/m<sup>3</sup>

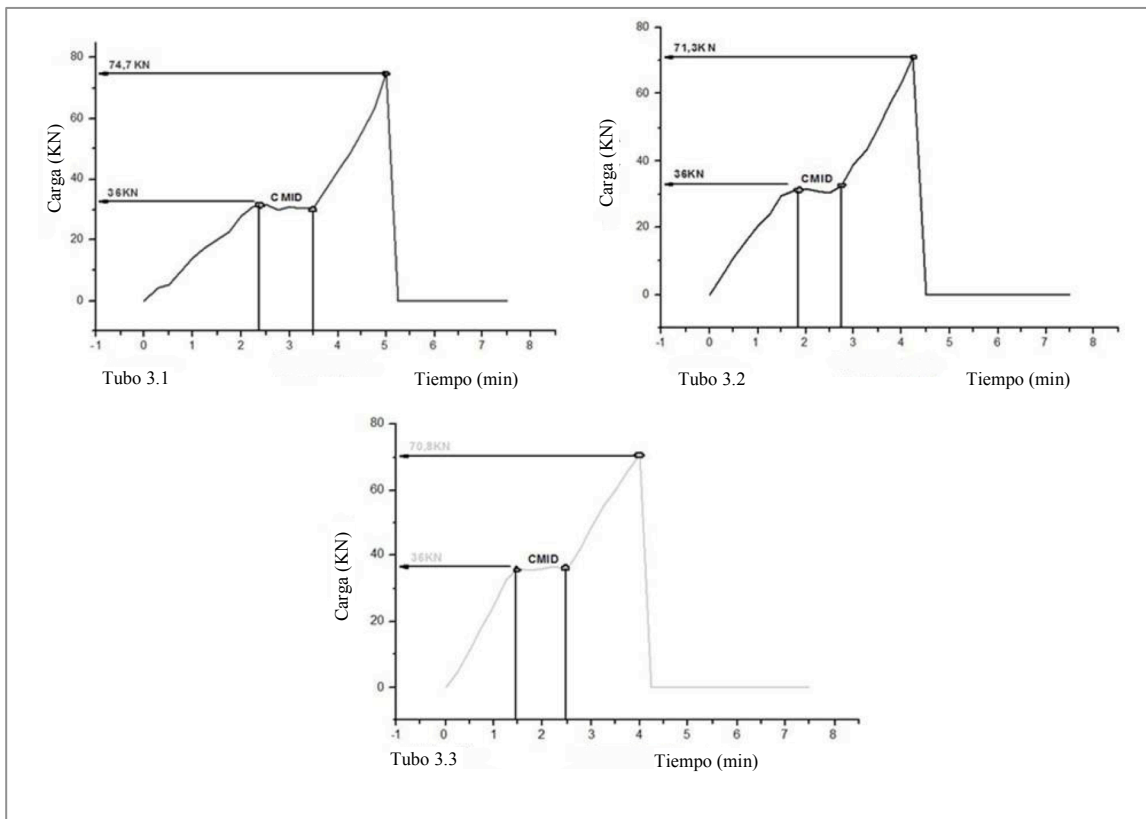


Figura 10. Gráfico de carga versus tiempo para tubos los TB2 – 15 kg/m<sup>3</sup>

La cantidad de caucho de neumático reciclado usado en cada tipo de hormigón fue determinado según otro trabajo (Fugii, 2008) que utilizó una cierta cantidad de fibras de acero. Este procedimiento se realizó con el fin de verificar si el caucho presentaba el mismo comportamiento que las fibras, lo que no ocurrió.

En los ensayos de resistencia a la compresión diametral de las Figuras 8, 9 y 10, se observa que no fueron

completados cabalmente como lo determina la norma NBR 8890 (ABNT, 2007), lo que se aprecia en la Figura 11, pues existe una repentina falla en todos los tubos fabricados con caucho de neumático. Por lo tanto, el segundo paso del ensayo, esto es la aplicación de una segunda carga, no pudo realizarse. La forma puntiaguda de la rotura (Figura 12) señala que el caucho no actuó como la fibra.

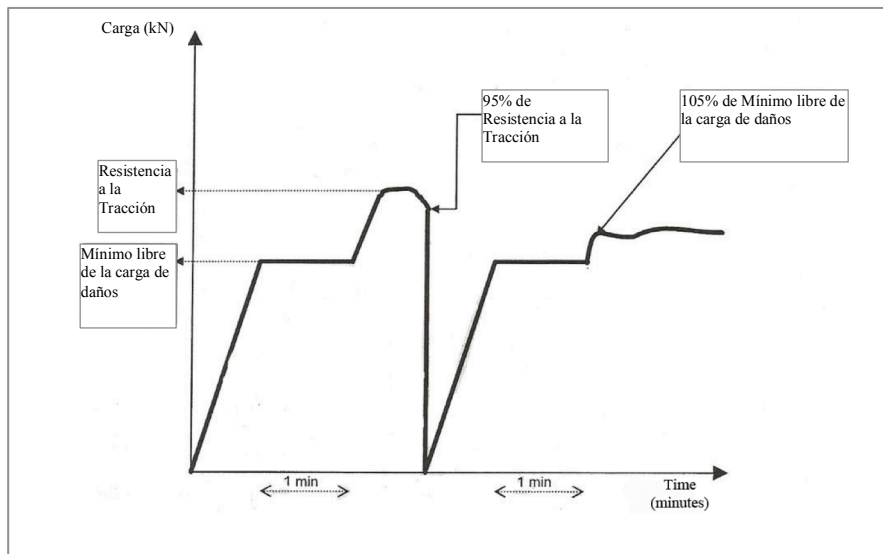
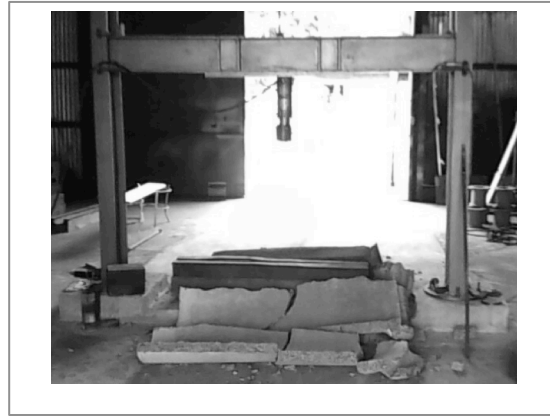


Figura 11. Esquema del plan de carga de los ensayos a la compresión diametral para tubos reforzados con fibra de acero, NBR 8890 (ABNT, 2007)







**Figura 12.** Tubo de hormigón fabricado con caucho después de la falla repentina

Una de las dificultades encontradas durante este ensayo fue que la máquina aplicaba la carga de forma manual, acción que depende en gran medida de la sensibilidad del operador. En los gráficos de tiempo-carga (Figuras 8, 9 y 10) por ejemplo, en el nivel CMID existen pequeñas oscilaciones, pero nada que pudiera comprometer el resultado final del ensayo.

### 3.2 Absorción de agua

La Figura 13 muestra los resultados de la capacidad de absorción de agua de todos los tubos elaborados.

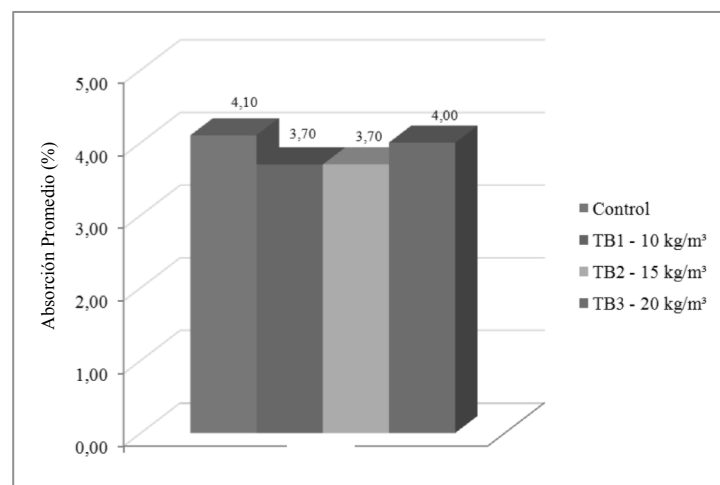
Observando la Figura 13, se descubrió que la absorción promedio para todos los tubos de concreto variaba de entre un 3.7% a un 4.10%, es decir, bajo el valor entregado por la NBR 8890 (ABNT, 2007), que fija una absorción máxima para los tubos de aguas lluvias en un 8%. En consecuencia, la incorporación de caucho de neumáticos en el hormigón, dentro del rango estudiado, cumple con la norma.

Se observó que los tubos TB1 y TB2 mostraban promedios de absorción de agua menores (3.70%). Dados los resultados de los tubos con caucho de neumático, así como los resultados de la compresión diametral, la incorporación

de caucho hasta el límite de 15 kg/m<sup>3</sup> mostró los mejores resultados. Además, todos los tubos con incorporación de caucho de neumático mostraron valores de absorción de agua menores que los tubos de control, por lo que no se puede afirmar que exista una mejora de esa propiedad, pero puede confirmar las controversias en la literatura, donde ciertos investigadores declaran que esta propiedad no se ve influenciada, y otros argumentan que se produce una mayor absorción debido al tamaño de las partículas de caucho utilizadas.

RAGHVAN et al., 1998 y DHIR et al., 2003, quienes analizaron diferentes tamaños de partículas de caucho de neumático en el concreto, concluyeron que la capacidad de absorción de agua presenta interferencias según las dimensiones de las partículas de caucho, ya que para el tamaño más fino la absorción de agua fue menor.

Se descubrió que el uso de caucho de neumático en la fabricación tubos de hormigón simple no alteraba la propiedad de absorción de agua, ya que todos los tubos de concreto con incorporación de caucho de neumáticos obtuvieron promedios de absorción de agua levemente menor que el promedio de absorción de agua de los tubos de control.



**Figura 13.** Resultados de los ensayos de absorción de agua

## 4. Conclusiones

Se usó una consistencia más seca de hormigón para la fabricación de tubos de concreto, ya que los tubos debían ser desmoldados al cabo de pocos minutos para poder continuar con la producción de los demás. El uso de este tipo de hormigón implica un mayor problema en la trabajabilidad del material; sin embargo, a medida que se adiciona el caucho de neumático durante la preparación del hormigón, ya no existe tanta dificultad. En otras palabras, no se requiere de una nueva etapa de producción puesto que el caucho se homogeniza en la mezcla. En cambio, los tubos de hormigón reforzados requieren la preparación del refuerzo de acero, sumando una nueva etapa en su producción.

En cuanto a los ensayos de resistencia a la compresión diametral, dado el comportamiento observado, se pudo ver que el caucho de neumáticos no se comporta como un tipo de fibra, debido a la repentina falla observada en los ensayos correspondientes. Sin embargo, todos los tubos mostraron una mayor resistencia a la especificada en la norma NBR 8890 (ABNT, 2007), respecto a los tubos de hormigón simple PS2: tipo PB con ND de 600 mm, que es de 36 kN/m.

El tubo con adición de caucho que logró la mayor resistencia a la compresión diametral y, por lo tanto, la menor capacidad de absorción de agua fue el TB2 (15 kg/m<sup>3</sup> de contenido), en consecuencia, mayor y menor, respectivamente, que el tubo de control.

Cabe señalar que ningún tubo con caucho de neumático fue capaz de completar cabalmente el ensayo de resistencia a la compresión diametral requerido por la norma, en otras palabras, el caucho no se comporta como la fibra y, por lo tanto, se podría considerar como que los tubos estuvieran fabricados con hormigón simple (PS2).

En los ensayos de absorción de agua, todos los tubos presentaron valores de absorción menores a los máximos determinados por la NBR 8890 (ABNT, 2007), es decir, 8%. Basándose en los resultados obtenidos y en las condiciones específicas de los ensayos realizados, se puede concluir que el caucho de neumático tiene el potencial necesario para ser incorporado en la manufactura de tubos de hormigón simple. Sin embargo, debe especificarse que es necesario ampliar los conocimientos sobre el comportamiento de concreto elaborado con la incorporación de caucho de neumáticos.

## 5. Referencias

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2001)**, NBRNM 30: Agregado miúdo – determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2006)**, NBRNM 45: Agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2003)**, NBRNM 46: Agregados – determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2001)**, NBRNM 49: Agregado miúdo – determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2009)**, NBRNM 52: Agregado miúdo – determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2003)**, NBRNM 53: Agregado graúdo – determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2003)**, NBRNM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (1991)**, NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2007)**, NBR 8890: Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários – requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, Brasil.
- American Concrete Pipe Association – ACPA. (1980)**, Concrete pipe handbook. Vienna, Virginia: ACPA.
- American Concrete Pipe Association – ACPA. (1993)**, Concrete pipe technology handbook: a presentation of historical and current state-of-the-art design and installation methodology. Tex, Irving: ACPA.
- Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE. (2013)**, Ficha técnica. In: PNEUS. Available in: <<http://www.cempre.org.br>>. September 22, 2013.
- Raghvan, D., Huynh, H., Ferraris, C. F. (1998)**, Workability, mechanical properties, and chemical stability of a recycled tyre rubber-fillet cements composite. Journal of Materials Science, v.33. 1745-1752.
- Dhir R., Paine K. E. y Moroney R. (2003)**, Recycling of used tyres in concrete. Concrete, v. 37(9), 47-48.
- Fioriti C. F., Ino A. y Akasaki J. L. (2010)**, Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. Acta Scientiarum. Technology (Impresso), v.32, 237-244.
- John V. M. (2000)**, Construção e desenvolvimento sustentável. Qualidade, 23, ano III, 34-44.
- Siddique R., Naik T. R. (2004)**, Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview. Waste Management, 24, 1-7.
- Sukontasukkul P., Chaikaew C. (2006)**, Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. Construction and Building Materials, 20, 450-457.
- Fugii A. P. (2008)**, Avaliação de tubos de concreto reforçados com fibras de aço segundo a NBR 8890 (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil). Ilha Solteira, Brasil: Universidade Estadual Paulista.

