

DOCUMENTOS  
DE TRABAJO AREANDINA  
ISSN: 2665-4644

IV Encuentro de Investigación Formativa  
Facultad de Ingeniería y Ciencias  
Básicas



# PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ELABORADO CON MATERIAL DE LLANTA RECICLADA

CÉSAR ADOLFO GÓMEZ BRITO  
JAIRO ALFONSO GUTIÉRREZ DE PIÑERES ROCHA



# PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ELABORADO CON MATERIAL DE LLANTA RECICLADA <sup>1</sup>

1 Investigación que surge del semestre VI de la asignatura Acueducto y Alcantarillado, con el semillero de investigación Fluencia Dinámica del programa de Ingeniería Civil de la Fundación Universitaria del Área Andina, Sede Valledupar, y participó bajo la modalidad de Proyecto concluido.

## César Adolfo Gómez Brito

Estudiante egresado del programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Fundación Universitaria del Área Andina, sede Valledupar.

Correo electrónico:  
cgomez73@estudiantes.areandina.edu.co

## Jairo Alonso Gutiérrez de Piñeres Rocha

Ingeniero civil. Docente de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Fundación Universitaria del Área Andina, sede Valledupar.

Orcid: 0000-0001-8518-1485.

Correo electrónico:  
jgutierrez52@areandina.edu.co

### Cómo citar este documento:

Gómez Brito, C. A. y Gutiérrez de Piñeres Rocha, J. A. (2020). Permeabilidad del concreto elaborado con material de llanta reciclada. *Documentos de Trabajo Areandina* (1). Fundación Universitaria del Área Andina. <https://doi.org/10.33132/26654644.2117>

## Resumen

Es necesario elaborar nuevos materiales que estén a la vanguardia de la protección del medio ambiente para poder reducir el impacto ambiental negativo que se está causando, producto del ritmo descontrolado de consumo que ha venido teniendo el ser humano. De tal forma, se decidió plantear una mezcla de concreto elaborada con material de llanta reciclada con el fin de mejorar su permeabilidad al agua y, a su vez, contribuir a la disminución de la huella de carbono producida por el sector de la construcción. De tal manera, mezclar llantas trituradas de tamaño nominal entre 8 y 10 mm con cemento, grava y un porcentaje de arena produce un concreto de alta permeabilidad sin disminuir ostensiblemente su resistencia de rotura. Al agregar llanta triturada en un 10 % reduciendo la arena, el concreto incrementa el volumen de vacíos permeables al 14 % y su resistencia de rotura disminuye un 6 % respecto al concreto patrón. Asimismo, al agregar 15 % de llanta triturada, su volumen de vacíos incrementa al 15 %.

**Palabras clave:** absorción capilar, cambio longitudinal, llanta triturada, permeabilidad, volumen de vacíos.

## IV Encuentro de Investigación Formativa

### Caridad Brito-Ballesteros<sup>1</sup>

El IV Encuentro de Investigación Formativa es el reflejo de la evolución y el interés por la investigación que han demostrado los estudiantes de la Fundación Universitaria del Área Andina, investigaciones que se encuentran articuladas al currículo y que hacen parte de la estrategia transversal que proyecta el Sello Transformador Areandina. Desde el 2018, la Subdirección de Investigación de la Sede Valledupar viene

<sup>1</sup> Historiadora, MSc. en Gestión Cultural. Profesional de apoyo en la Subdirección de Investigación de la Fundación Universitaria del Área Andina, Sede Valledupar. Correo electrónico: [caridadbritob@gmail.com](mailto:caridadbritob@gmail.com)

La evaluación se realizó por pares ciegos externos nacionales e internacionales, y como detalle a destacar en esta versión del IV Encuentro, la Sede Bogotá se vinculó a este evento...

realizando acciones que motiven a los docentes y estudiantes de los diferentes programas académicos a realizar investigación desde el aula, a partir de esas iniciativas cada semestre de trabajo ha venido mostrando experiencias de éxito que vinculan la experiencia de los docentes con los intereses y la creatividad de los estudiantes.

Para el segundo semestre del 2020, aún nos encontramos en el contexto de pandemia por COVID-19, situación que permitió fortalecer el uso de herramientas virtuales para el desarrollo del Encuentro que se realizó en dos fases: la primera con el envío de textos tipo artículo, en donde los trabajos que tuvieron un puntaje superior eran seleccionados para la segunda fase; esta consistía en que los estudiantes debían exponer sus proyectos en el formato *pitch*. La evaluación se realizó por pares ciegos externos nacionales e internacionales, y como detalle a destacar en esta versión del IV Encuentro, la Sede Bogotá se vinculó a este evento, participando con veintiun proyectos de investigación.

El eje del IV Encuentro de Investigación Formativa 2020-II fue la “Investigación en el aula aumentada”, entendiendo aula aumentada como una estrategia de mediación que amplía los límites físicos de la clase y generando un tráfico de contenidos digitales, lo que en tiempos de pandemia por COVID-19, se volvió una transformación acelerada en la educación. Asimismo, el aula aumentada emplea un espacio virtual complementario que combina elementos de la presencialidad y la virtualidad y los convierte en una propuesta educativa en la práctica misma, en donde los docentes han tenido que utilizar su creatividad y capacidad de innovar sus clases para poder hacerlas más comprensibles, cercanas y empáticas. La estrategia de aula aumentada posibilita compartir ideas y conocimientos, lo que genera transferencia de conocimientos y ayuda a pensar, crear y realizar acciones direccionadas a la producción.



En total, se recibieron para esta versión 121 proyectos, siendo el programa de Derecho (sumando las sedes Bogotá y Valledurar) el que mas proyectos presentó, para un total de 48 artículos, en el que los temas de interés de fueron el derecho a la protesta en Colombia, las intercepciones ilegales y el *dopping*. A continuación, presentamos los mejores trabajos de los estudiantes apoyados por sus docentes, se realizó desde el 6 de octubre hasta el 4 de diciembre del 2020, contó con la participación de 10 programas académicos y 258 estudiantes. Finalmente, los invitamos a leer ocho documentos de trabajo que estuvieron entre los finalistas para esta versión, cuatro de ellos desde las diferentes Ingenierías, dos de Psicología, uno de Administración de Empresas y uno de Medicina.

## Introducción

Debido al incremento de la demanda de automoviles alrededor del mundo, el sector de la industria automovilistica se ha visto en la necesidad de incrementar la producción de llantas. Según Liévano Ruiz (2017), la producción de llantas neumáticas representa una necesidad para la industria y la economía, el costo que pagamos por su uso se ve representado en problemas ambientales y en la salud de las personas. Una solución que se realiza frecuentemente es quemarlas, emitiendo de esta forma grandes cantidades de partículas y materiales contaminantes que pueden afectar la salud respiratoria de las poblaciones aledañas. Por lo tanto, es necesario plantear una alternativa que aproveche este residuo para implementarlo en otros sectores y así desminuir la huella ambiental que generan las llantas. Por tal motivo, el interés de esta investigación es elaborar un diseño de mezcla de concreto que al agregar un porcentaje establecido de caucho triturado mejore su propiedad de permeabilidad al agua, así como también poder analizar su comportamiento mecánico.

## Objetivos

### Objetivo general

Evaluar el comportamiento físico-mecánico del concreto con resistencia de 3000 PSI con adición de 5, 10 y 15 % de caucho reciclado.

### Objetivos específicos

- » Determinar las propiedades físicas de los agregados.
- » Analizar de datos obtenidos de laboratorio la influencia del caucho reciclado en los parámetros mecánicos del concreto.
- » Evaluar el grado de permeabilidad, absorción capilar y cambio longitudinal del concreto reemplazada con 10 y 15 % de caucho reciclado.

## Planteamiento del problema

### Descripción del problema

En Colombia existe un grave problema con respecto a la utilización que se le debe dar a las llantas usadas, ya que, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se generan anualmente un desecho de 5,3 millones de neumáticos, y a pesar de que no son consideradas como un peligro para el medio ambiente, sí deben tener un trato especial debido al volumen

de espacio que ocupan, teniendo como consecuencia grandes terrenos ocupados por enormes pilas de llantas sin utilizar, atrayendo enfermedades y problemas a las poblaciones aledañas. Luego de que estas llantas han cumplido su vida útil, pasan a constituir un grave problema ambiental, puesto que no es un material biodegradable y requiere de muchos años para descomponerse, además, muchas ciudades no tienen un programa de gestión ambiental adecuado para este tipo de residuos lo cual se pueden encontrar estos desechos en ríos, áreas de reservas naturales, entre otros. La eliminación de llantas, después de su tiempo de vida, afecta considerablemente al medioambiente a nivel mundial, ya que al no ser biodegradables son depositados en vertederos incontrolados o simplemente son abandonados en zonas públicas (Farfán y Leonardo, 2018). A esto, se le agrega las pocas empresas que ofrecen el servicio de gestionar estos desechos para poder reutilizarlos. Por último, no se han hecho las suficientes investigaciones respecto al comportamiento de este material en las mezclas de concreto por lo que aún no constituye un material importante en la industria de la construcción.

## Hipótesis

La adición del caucho en la mezcla del concreto incrementa la permeabilidad del agua sin afectar ostensiblemente su resistencia mecánica a la flexión.

## Justificación

Los estudios realizados a nivel mundial concluyen que estos concretos con residuos de llantas de caucho tiene la versatilidad de la resistencia a la compresión, con altas resistencias a la flexión y al corte (Cabanillas Huachua, 2017). De acuerdo con lo investigado por Anwar *et al.* (s.f.), el incremento de caucho triturado en la mezcla del concreto aumenta su

Los estudios realizados a nivel mundial concluyen que estos concretos con residuos de llantas de caucho tiene la versatilidad de la resistencia a la compresión...



permeabilidad y su absorción. Se evidencia la necesidad de recurrir a nuevos materiales que favorezcan la reducción del impacto negativo al medio ambiente y que tengan un mejor comportamiento mecánico, por lo que se decidió a innovar y analizar como se comporta el concreto tradicional con la adición de caucho reciclado con la intención de poder determinar su aplicabilidad en obras, donde se requieran demandas de diseño de mezcla de alta permeabilidad al agua.

## Marco referencial

El concreto es el material más utilizado en la construcción gracias a su facilidad de uso y manejabilidad, su bajo coste, su accesibilidad y su resistencia a grandes cargas. Además, permite hacerle adiciones que le dan prestaciones adicionales, una de estas adiciones es el caucho reciclado. El caucho de llantas, cuyas propiedades tales como su tracción, compresibilidad, flexibilidad y resistencia química, lo hacen un material idóneo para ser aplicado en múltiples campos. Una forma de utilización que se ha estado implementando es la que sugiere Torres Ospina (2014), donde se agrega caucho triturado a la mezcla asfáltica tradicional. La adición de caucho en la mezcla elimina la falla catastrófica, esto es importante sobretodo en las autopistas debido a que la falla catastrófica de una losa de concreto ocasionaría problemas de movilidad y accidentes. Según la investigación realizada por Liévano Ruiz (2017), la aplicabilidad del concreto elaborado con llanta triturada es amplia y abarca desde juntas constructivas como materia prima y alternativa en la fabricación de baldosas para pisos, hasta ser útil en la construcción de muros estructurales. De las propiedades estudiadas, se observa que el beneficio de utilizar caucho triturado como adición al concreto permeable se da únicamente en su resistencia a flexión (González Quiñonez, 2017). La adición de caucho también disminuye el peso unitario de la mezcla, ya que según López Fileri (2018), aumentar el contenido del caucho triturado en la mezcla generaría una mayor cantidad de contenido de aire lo que disminuiría su peso unitario.



## Metodología

Inicialmente, se realizaron ensayos de compresión y rotura en el laboratorio de Ciencias Básicas de la Fundación Universitaria del Área Andina, cuya metodología empleada para la ejecución de dichos ensayos parte de la caracterización de los materiales de la cantera Las Casitas con los que se va a trabajar, para así poder realizar el diseño óptimo de la mezcla. Se realizó una investigación bibliográfica sobre el comportamiento del concreto adicionado con caucho reciclado, de esta forma se tienen conocimientos previos que servirán como base de orientación en el análisis de los resultados de los ensayos. El diseño de mezcla se hizo con base en la norma ACI 211. Luego, los ensayos: permeabilidad, cambio longitudinal y absorción capilar fueron realizados por el Laboratorio del Concreto.

## Resultados

Los ensayos realizados para caracterizar los agregados son los siguientes:

- » NTC - 1776: contenido total de humedad de los agregados por el método de secado.
- » NTC - 92: masa unitaria de los agregados.
- » NTC - 176: densidad aparente material grueso.
- » NTC - 237: densidad aparente material fino.

## Diseño de la mezcla

El diseño de la mezcla se realizó bajo la norma ACI 211, la cual permite realizar el proporcionamiento de los materiales en la mezcla, además, se diseña para uso estructural. La mezcla fue diseñada para un asentamiento de 5-10 cm cuyo gra-

El agregado grueso es angular y rugoso, se diseña para un grado de exposición severo y cuyo porcentaje de aire es del 6 %...

do de trabajabilidad es medio y apropiado para realizar losas medianamente reforzadas y pavimentos. El agregado grueso es angular y rugoso, se diseña para un grado de exposición severo y cuyo porcentaje de aire es del 6 %, se tiene un contenido de agua de mezclado de  $0,204 \text{ m}^3$ . Se escoge una relación agua/cemento de 0.46, calculando con ello una cantidad de cemento de 444,44 kg ( $0,15 \text{ m}^3$ ). Luego de haber obtenido los rangos granulométricos (54 % grava y 46 % arena), se procede a calcular la estimación de contenido de grava y arena por metro cúbico de concreto. Se tiene la siguiente proporción con materiales secos:

**TABLA 1. PROPORCIONES MATERIALES SECOS.**

| PROPORCIONES MATERIALES SECOS |            |                          |
|-------------------------------|------------|--------------------------|
| Materiales                    | Wseca      | Densidad                 |
| Cemento                       | 444,44 kg  | $2985,07 \text{ kg/m}^3$ |
| Aire                          | 0          | 0                        |
| Agua                          | 204,00 kg  | $1000,00 \text{ kg/m}^3$ |
| Grava                         | 824,86 kg  | $2610,04 \text{ kg/m}^3$ |
| Arena                         | 702,66 kg  | $2595 \text{ kg/m}^3$    |
| Aditivo                       | 0,00 kg    | $1000 \text{ kg/m}^3$    |
| Total                         | 2175,97 kg | $9190 \text{ kg/m}^3$    |

Fuente: elaboración propia.

Teniendo como resultado las siguientes proporciones:

**TABLA 2. DOSIFICACIÓN AJUSTADA POR HUMEDAD.**

| PROPORCIONES MATERIALES HÚMEDOS |           |            |                     |
|---------------------------------|-----------|------------|---------------------|
| Materiales                      | Wseca     | Whumedo    | Volumen             |
| Cemento                         | 444,44 kg | 444,44 kg  | $0,15 \text{ m}^3$  |
| Aire                            | 0,00 kg   | 0,00 kg    | $0,06 \text{ m}^3$  |
| Agua                            | 204,00 kg | 212,73 kg  | $0,20 \text{ m}^3$  |
| Grava                           | 824,86 kg | 825,14 kg  | $0,32 \text{ m}^3$  |
| Arena                           | 702,66 kg | 710,57 kg  | $0,27 \text{ m}^3$  |
| Aditivo                         | 0,00 kg   | 1,67 kg    | $0,000 \text{ m}^3$ |
| Total                           | 2176 kg   | 2194,55 kg | $1,00 \text{ m}^3$  |

Fuente: elaboración propia.

El diámetro del caucho triturado usado en esta investigación es de 8 mm, cuya influencia será evaluada en el comportamiento físico y mecánico...

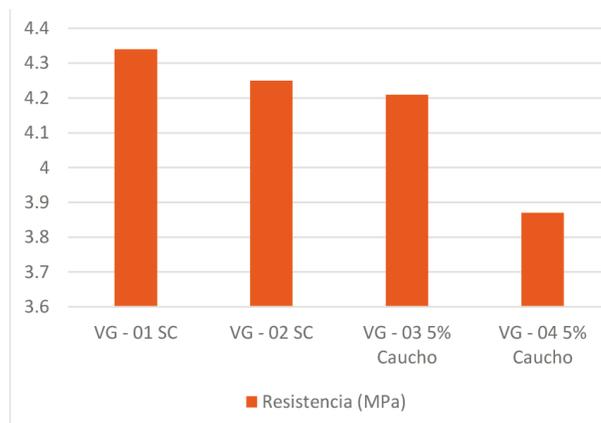
## Dosificación de caucho triturado

Como primera medida, el caucho triturado requiere ser tamizado para determinar su diámetro y además para eliminar suciedades no deseadas. El diámetro del caucho triturado usado en esta investigación es de 8 mm, cuya influencia será evaluada en el comportamiento físico y mecánico del concreto. La cantidad de caucho triturado se mide respecto a la dosificación de la arena debido a que esta pasa a distribuirse de manera uniforme en la mezcla, de esta forma se logra disminuir el peso de la mezcla.

## Resistencias obtenidas

Para evaluar la variabilidad del comportamiento del concreto con la presencia de caucho triturado en la mezcla se realiza una comparación con una mezcla patrón o mezcla sin adición de caucho. Los cilindros y las viguetas a las cuales se fallaron fueron llevados a curado durante siete días. Se obtiene que la mezcla fue realizada correctamente ya que cumplió con la resistencia de diseño. Las muestras que contienen la adición del caucho presentan disminución en su resistencia a compresión y de rotura.

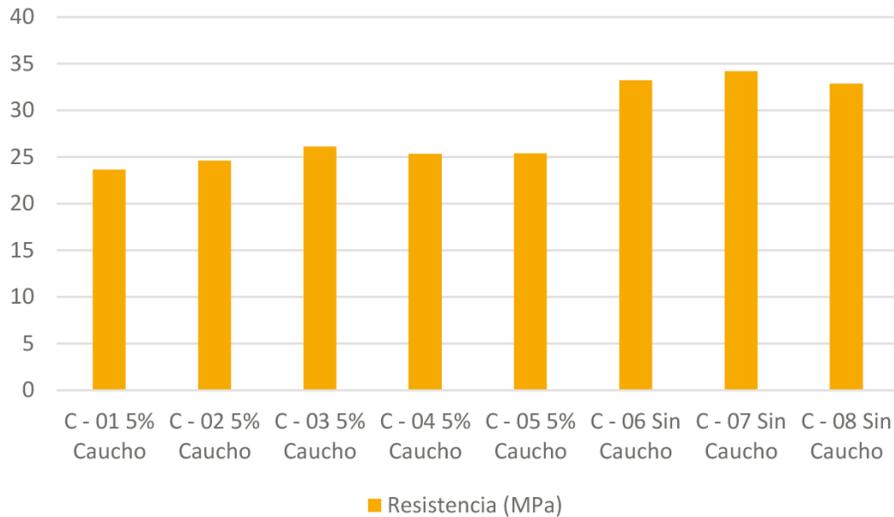
**FIGURA 1. RESISTENCIA A LA ROTURA DEL CONCRETO.**



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura 1, la adición del 5 % de caucho en la mezcla representa una disminución del 6 % respecto a la mezcla patrón.

**FIGURA 2.** RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO.



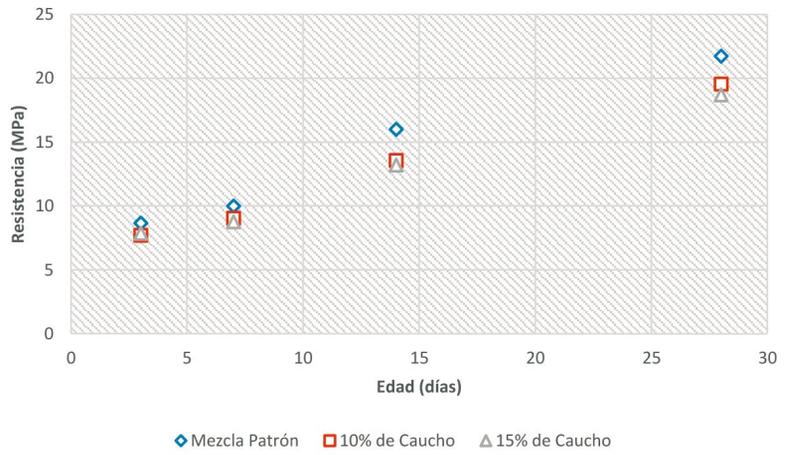
**Fuente:** elaboración propia.

Respecto a la resistencia a compresión, se obtuvo que disminuyó un 25,15 % respecto a la mezcla patrón. Esta disminución se presenta por la poca adherencia que posee el caucho triturado en la mezcla, causando que los agregados y la pasta de cemento disminuyan su cohesión.

Esta disminución se presenta por la poca adherencia que posee el caucho triturado en la mezcla...



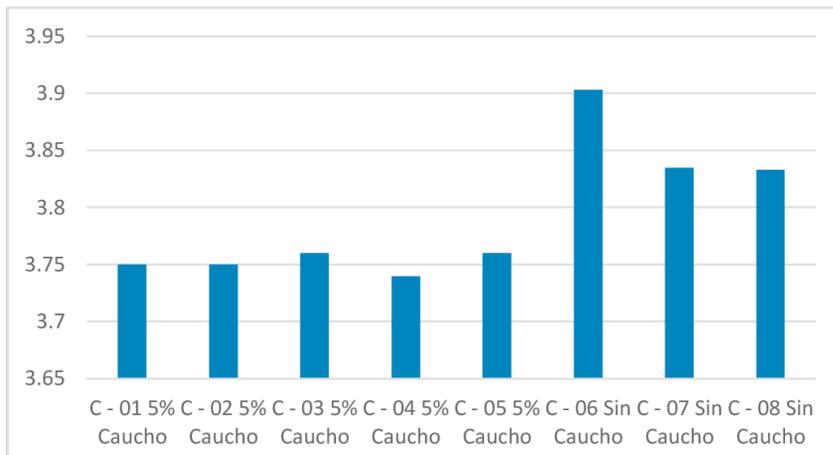
**FIGURA 3.** RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 10 Y 15 % DE CAUCHO TRITURADO.



**Fuente:** Laboratorio de concreto.

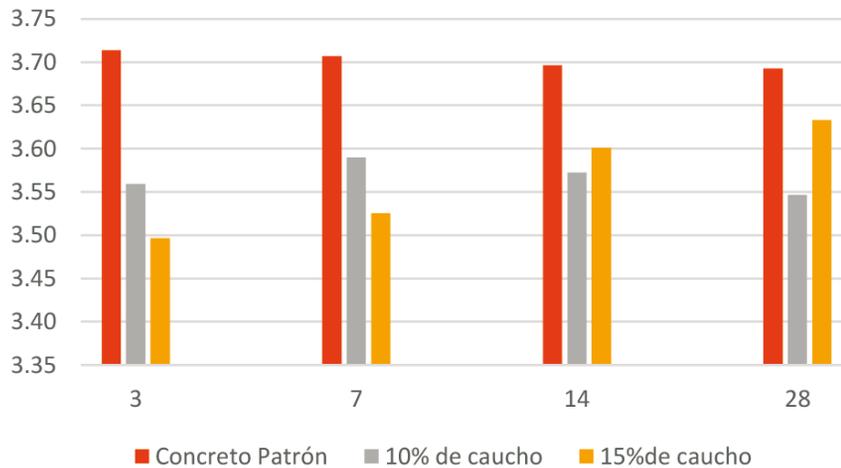
A su vez, también se tomó la variación del peso de las probetas de concreto, obteniendo los siguientes resultados:

**FIGURA 4.** PESOS DE LAS PROBETAS DE CONCRETO CON 0 Y 15 % DE CAUCHO TRITURADO.



**Fuente:** elaboración propia.

**FIGURA 5.** PESOS DE LAS PROBETAS DE CONCRETO CON 0, 10 Y 15 % DE CAUCHO TRITURADO.



**Fuente:** Laboratorio de concreto.



Se observa que la adición del caucho triturado a la mezcla reduce su peso total. Respecto a la tipología de las probetas de concreto, se obtuvieron dos tipos de fallas las cuales se identifica la diferencia entre la mezcla patrón y la mezcla adicionada con caucho triturado. Respecto a la probeta patrón, se obtuvo una falla tipo columnar y la falla predominante en los cilindros con la adición de caucho triturado fue de corte.

**FIGURA 6.** FALLA DE CILINDRO CON MEZCLA PATRÓN.



**Fuente:** elaboración propia.

**FIGURA 7.** FALLA DE CILINDRO ADICIONADO CON 5 % DE CAUCHO TRITURADO.



**Fuente:** elaboración propia.

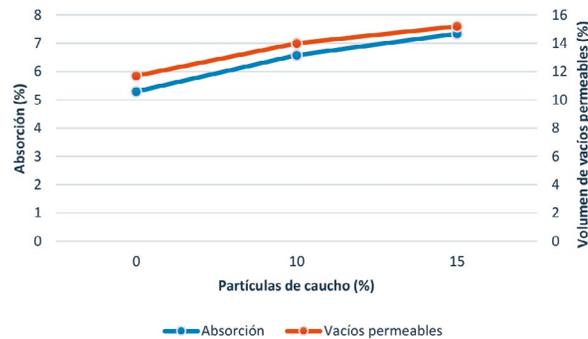
## Densidad, absorción y vacíos permeables en el concreto

Según los ensayos realizados bajo la norma Determinación de la gravedad específica, absorción y vacíos en el concreto endurecido. NTC 5653: 2008-12-16. Se obtuvieron los siguientes resultados.

En la figura 8 se puede observar la variación que presenta la mezcla del concreto respecto a las diferentes adiciones de partículas de caucho triturado. En ella, se aprecia que la absorción del agua y el volumen de vacíos permeables incrementan conforme se haga mayor adición de caucho, esto se atribuye a que existe una menor adherencia entre las partículas de caucho y la pasta de cemento, generando pequeñas fisuras y aumentando la porosidad del concreto, esto permite el flujo libre del agua a través de toda su masa.

En ella, se aprecia que la absorción del agua y el volumen de vacíos permeables incrementan conforme se haga mayor adición de caucho...

**FIGURA 8.** RELACIÓN DE ABSORCIÓN DE AGUA Y VACÍOS PERMEABLES POR CONTENIDO DE PARTÍCULAS.

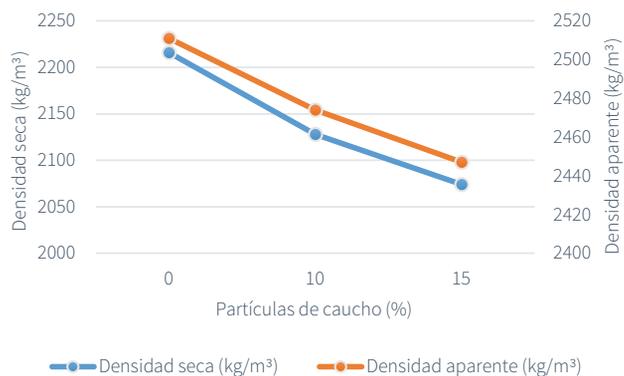


**Fuente:** Laboratorio de concreto.



En la figura 9 se aprecia un comportamiento similar al ocurrido con la reducción de la masa de las probetas del concreto. En este caso, la densidad disminuye ya que la densidad del caucho triturado es menor que la densidad de la arena.

**FIGURA 9.** RELACIÓN DE DENSIDAD APARENTE Y DENSIDAD SECA VS CONTENIDO DE PARTÍCULAS DE CAUCHO.



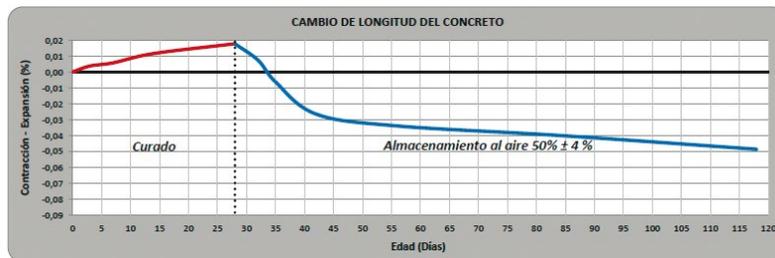
**Fuente:** Laboratorio de concreto.



## Cambio longitudinal del concreto

Este ensayo se hizo bajo la norma Cambio longitudinal del mortero y el concreto de cemento hidráulico endurecido. NTC 5640: 2008-11-26. Para el cual se tuvo en cuenta una mezcla patrón para determinar la variación de la retracción del concreto al adicionar partículas de caucho en diferentes cantidades.

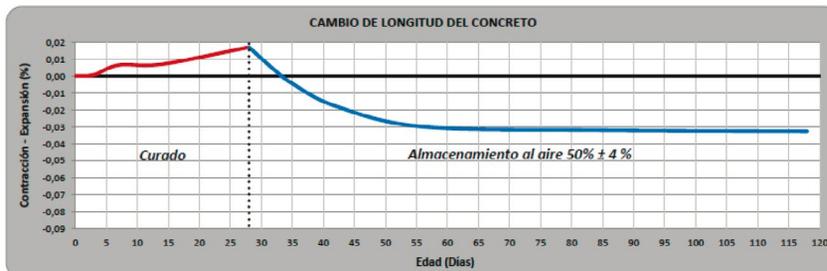
**FIGURA 10.** CAMBIO LONGITUDINAL DEL CONCRETO, MEZCLA PATRÓN.



**Fuente:** Laboratorio del concreto.

En la figura 10 se puede observar los cambios de longitud de la mezcla patrón, en dicha figura se observa que la probeta de concreto llegó a contraerse en un 0,05 % en cerca de 120 días de fraguado.

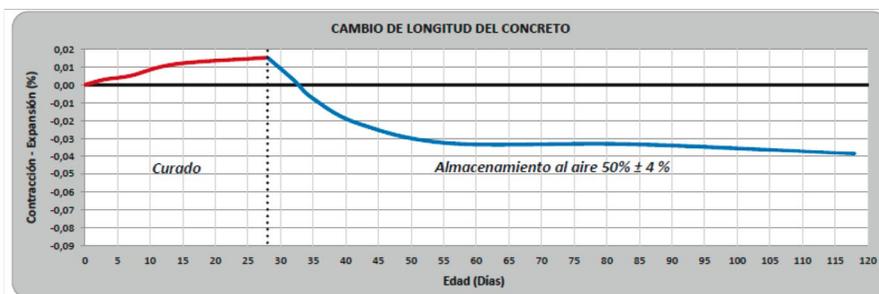
**FIGURA 11.** CAMBIO LONGITUDINAL DEL CONCRETO, ADICIÓN DEL 10 %.



**Fuente:** Laboratorio del concreto.

Una vez que las partículas de caucho son adicionadas a la mezcla, se puede observar su influencia en ella y la disminución de la contracción del concreto, esto se debe a las propiedades elásticas del caucho. Una situación similar se encuentra en la figura 12, donde la contracción máxima del concreto es del 0,04 %; sin embargo, no resulta apropiada debido a que la mezcla experimenta distintos cambios de longitud en función del tiempo, es decir, su cambio longitudinal no es uniforme.

**FIGURA 12.** CAMBIO LONGITUDINAL DEL CONCRETO, ADICIÓN DEL 15%.



**Fuente:** Laboratorio del concreto.

## Coeficiente de permeabilidad del concreto

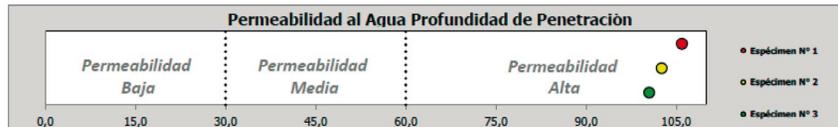
El objetivo de este ensayo es evaluar la profundidad de penetración del agua bajo presión al hormigón endurecido y fue realizado bajo la norma: NTC 4483: 1998-09-23..

El objetivo de este ensayo es evaluar la profundidad de penetración del agua bajo presión al hormigón endurecido y fue realizado bajo la norma: NTC 4483: 1998-09-23. Analizando los resultados obtenidos en la Tabla 3, fue de una muestra sin adición de caucho; lo cual evidencia su alta permeabilidad porque se encuentra en el intervalo entre 60 y 105 mm.

**FIGURA 13.** PERMEABILIDAD AL AGUA: PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN.

|   | ESPÉCIMEN N° 1 | ESPÉCIMEN N° 2 | ESPÉCIMEN N° 3 |
|---|----------------|----------------|----------------|
| Edad (Días)                             | 28             | 28             | 28             |
| Fecha de ensayo                         | 2020-01-16     | 2020-01-16     | 2020-01-16     |
| Longitud del espécimen (mm)             | 97,0           | 101,2          | 100,1          |
| Diametro espécimen (mm)                 | 106,0          | 101,6          | 100,5          |
| Presión del agua (Mpa)                  | 0,5            | 0,5            | 0,5            |
| Tiempo bajo presión de agua (horas)     | 96             | 96             | 96             |
| (D) Profundidad de la penetración (mm)  | 106,0          | 102,6          | 100,5          |
| Coefficiente de permeabilidad (K) (m/s) | 3,73E-11       | 3,49E-11       | 3,35E-11       |

Fuente: Laboratorio del concreto.

**FIGURA 14.** PERMEABILIDAD AL AGUA.

Fuente: Laboratorio del concreto.

## Conclusión

Se observó que la mezcla de concreto disminuye su masa y su densidad cuando se reemplaza el agregado fino por 5, 10 y 15 % de material de caucho triturado, ya que este material es más liviano y menos denso que la arena, esto resulta útil en la construcción debido a que mejora la manejabilidad del concreto en obra. La absorción de agua y vacíos permeables aumenta con el incremento de porcentaje de caucho triturado en la mezcla, pues existen mayores vías de flujo del agua. La proporción óptima para evitar variaciones irregulares de la retracción del concreto debe ser con un 10 % de caucho triturado. En tal sentido, mezclar llantas trituradas de tamaño

nominal entre 8 y 10 mm con cemento, grava y un porcentaje de arena produce un concreto con alta permeabilidad sin disminuir ostensiblemente su resistencia de rotura. En cuanto al ensayo de penetración del agua, se debe realizar los ensayos comparativos de la mezcla patrón con la mezcla adicionada con caucho triturado. Se recomienda emplear aditivos que mejoren la adherencia de la pasta de cemento con sus agregados para que su resistencia a flexión y compresión se vea menos afectada.

Se concluye que el caucho triturado en el concreto permite con mayor facilidad el flujo del agua a través de él y se convierte en material útil para obras civiles donde se requieran altos índices de permeabilidad como son pasos peatonales, andenes, calles donde haya gran escorrentía, ya que ayuda a aumentar el drenaje; además permite mitigar el impacto ambiental negativo que generan las llantas desechadas.

Se recomienda realizar ensayos de erodabilidad para poder determinar su desgaste ya que al ser un concreto con altos índices de porosidad, puede ofrecer menos resistencia a las inclemencias del paso del tiempo.

Se concluye que el caucho triturado en el concreto permite con mayor facilidad el flujo del agua a través de él y se convierte en material útil para obras civiles...

## Referencias

- Anwar, U., Masood, H., Bashir, O., & Mehmood, Y. (s.f.). *Permeability and strenght properties of rubberized concrete*. University Engineering and Technology.
- Arrieta-Ballén, Y. L. y Pérez-Oyola, J. C. (2017). *Estudio para caracterizar una mezcla de concreto con caucho reciclado en un 5% en peso comparado con una mezcla de concreto tradicional de 3500 PSI* [tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10983/15486>
- Cabanillas Huachua, E. R. (2017). *Comportamiento físico mecánico del concreto hidráulico adicionado con caucho reciclado* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1029>

- Farfán, M. y Leonardo, E. (2018). Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión de concreto modificado con aditivo plastificante. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(3), 241-250. <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v33n3/0718-5073-ric-33-03-241.pdf>
- González Quiñonez, J. G. (2017). *Utilización de granulado de caucho reciclado como adición para concreto permeable para uso en estacionamientos vehiculares* [tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/8594/>
- Liévano Ruiz, L. M. (2017). *Análisis, estudio y concepción en la aplicación de concreto con agregado de llanta neumática reciclada en elementos arquitectónicos* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62191>
- López Fileri, S. (2018). *Concreto estructural con agregado triturado de llantas usadas* [tesis de pregrado, Universidad EIA]. Repositorio Institucional. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/2097>
- Maldonado, M., Blanco, J. y Ángel, S. (2016). *Análisis de la influencia del uso de caucho reciclado tratado con NaOH usado como adición en concreto normal*. ResearchGate. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1064.2806>
- Taus, V. L. (2003). Determinación de la absorción capilar en hormigones elaborados con agregados naturales y reciclados. *Ciencia y Tecnología del Hormigón*, (10), 7-16. <https://core.ac.uk/reader/153563620>
- Torres Ospina, H. A. (2014). *Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho* [tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/169>

