

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERA CIVIL E INGENIERO CIVIL**

**TEMA:  
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL  
HORMIGÓN ELABORADO CON PARTÍCULAS DE CAUCHO DE  
NEUMÁTICOS RECICLADOS**

**AUTORES:  
PAOLA GABRIELA BASTIDAS SOSA  
MAURO PAÚL VIÑÁN ANDINO**

**TUTORA:  
LUCERO MARISOL SERRATO ARIAS**

**Quito, septiembre del 2017**

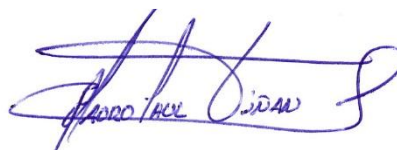
## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Paola Gabriela Bastidas Sosa, con documento de identificación N° 1718191214 y Mauro Paúl Viñán Andino, con documento de identificación N° 0603453176, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ELABORADO CON PARTÍCULAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Civil e Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación en lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo en este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Nombre: Paola Gabriela Bastidas Sosa  
Cédula: 1718191214



.....  
Nombre: Mauro Paúl Viñán Andino  
Cédula: 0603453176

Fecha: Quito, septiembre del 2017

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A**

Yo, Lucero Marisol Serrato Arias declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo académico: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ELABORADO CON PARTÍCULAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS, realizado por Paola Gabriela Bastidas Sosa y Mauro Paúl Viñán Andino, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre del 2017



.....  
Atentamente

Lucero Marisol Serrato Arias

C.I: 1757028897

# ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ELABORADO CON PARTÍCULAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS

## ANALYSIS OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE MADE FROM RUBBER PARTICLES OF RECYCLED TIRES

Paola Bastidas<sup>1</sup>, Mauro Viñán<sup>2</sup>

### Resumen

En el Ecuador se consumen 2'500.000 neumáticos al año, produciendo así un número similar de llantas que han cumplido su vida útil. Por ley estatal los productores e importadores están obligados a recuperar el 30% de su oferta, pero el 70% por ciento restantes, constituye un problema ambiental por no encontrar una disposición final al producto desechado. Al plantear como destino final del caucho en el interior de la mezcla de hormigón se busca minimizar la polución de llantas desechadas. Esta investigación está enfocada en determinar la incidencia de sustituir en la mezcla de concreto el 4% en peso del agregado fino con partículas de caucho reciclado. Para el efecto se elaboraron 4 mezclas. La primera mezcla denominada "hormigón convencional" con un diseño de  $f'c$  igual a 24Mpa, las otras 3 mezclas se utilizaron partículas de caucho pasante del tamiz N°4 y retenidos en los tamices N°16, N° 30 y N° 50 respectivamente y basada en la dosificación de la mezcla "hormigón convencional". En promedio, la resistencia a la compresión del hormigón adicionado con caucho reciclado se redujo en un 24% respecto a "hormigón convencional". El módulo de ruptura por flexión no tuvo ninguna variación significativa.

**Palabras Clave:** Hormigón, caucho reciclado, resistencia a la compresión y flexión, neumáticos

### Abstract

Ecuador consumes 2'500.000 tires per year, Therefore, similar amount of wasted tires that have reached their utility cycle. According with state law, producers and importers must recover the thirty percent of their total supply recover thirty percent of their supply, nevertheless the remaining seventy percent causes an environmental problem because suppliers do not find a final disposition of the wasted product. By proposing rubber as raw material confined within the concrete mix it is intended to show an alternative way for minimizing the pollution of discarded tires. This research is focused on determining the incidence of replacing in the concrete mix 4% by weight of the fine aggregate with recycled rubber particles. For this purpose, 4 mixtures were made. The first mixture named as "conventional concrete" with a design of  $f'c= 24Mpa$ , the other 3 mixtures were used rubber particles retained in sieves No. 16, No. 30 and No. 50 respectively and based on the dosage of the Mixing "conventional concrete". On average, the compressive strength of the recycled rubber plus recycled concrete was reduced by 24% compared to "conventional concrete". The modulus of bending rupture did not show a significant change.

**Keywords:** Concrete, recycled rubber, Compression and flexural strength, tires

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

<sup>2</sup> Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Autor para correspondencia: pbastidass, mvinan@est.ups.edu.ec

## 1. Introducción

En un año, mil millones de neumáticos llegan al fin de su vida útil en todo el mundo, la mitad de éstos no son reciclados, además, la descomposición al aire libre de una llanta tardaría muchos años ya que no son biodegradables, esto hace que científicos y los organismos gubernamentales busquen políticas y tecnologías que incentiven la reutilización del caucho proveniente de las llantas usadas [1].

Investigadores alrededor del mundo buscan producir combustibles o generar sub productos a partir de llantas desechadas, esto es factible debido a su contenido de metales y materiales orgánicos. La reutilización de los residuos de neumáticos en materiales de construcción puede mitigar el impacto ambiental causado por llantas desechadas, además, el uso de caucho en el concreto podría mejorar la resistencia al impacto, aumentar el aislamiento térmico y reducir el ruido [2].

El Ministerio de Ambiente del Ecuador [3] elaboró el acuerdo ministerial 098, que en su parte pertinente dispone que los comerciantes de llantas deben recuperar el 30% de su mercado. Esta cartera de estado considera a los neumáticos como desechos especiales, debido a que su combustión produce nubes tóxicas y además pueden ser fuentes de propagación de epidemias transmitidas por mosquitos.

En un estudio de concreto elaborado con caucho de reciclaje realizado por Albano et al. [4], se analiza la adición de la raspadura de los neumáticos a los compuestos de hormigón. Los estudios sobre resistencia a la compresión y a la tracción realizados a los compuestos a la composición de 5% en peso, así como diferentes tamaños de partículas de caucho reciclado, indican que la adición de caucho disminuye sus propiedades mecánicas.

Por otra parte, una investigación realizada por Torres [5], se valora las propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto cambiando en un 10%, 20% y 30% el volumen del agregado fino con residuos de llantas de caucho. Se concluyó que la resistencia mecánica (compresión y flexión) se redujo con los tres porcentajes en volumen adicionado de residuos de caucho. Respecto a los ensayos de durabilidad: la penetración por cloruros en ensayos RCPT aumenta con los porcentajes de 20% y 30% de adición de caucho.

A través de una investigación en hormigones, Urrea [6] determina el módulo de elasticidad del hormigón con caucho. Aquí, se utilizan trozos de 30 a 40 mm para reemplazar la grava y de 10 a 20 mm para reemplazar la gravilla. Se concluye que, para el reemplazo del 5, 10, 15 y 20 % por el caucho fue disminuyendo paulatinamente el módulo de elasticidad del hormigón llegando a una disminución del 40%.

Considerando, la alta generación de este residuo elastomérico en el país, así como algunas de las investigaciones antes descritas como la de Alban y Urrea que consideraron la sustitución del 5% del árido por caucho en el hormigón; el propósito del presente artículo académico realizado en la Universidad Politécnica Salesiana está encaminado a evaluar la incidencia de sustituir el 4% en peso del agregado fino con partículas de caucho provenientes de neumáticos reciclados, siendo un porcentaje menor a los realizados por los investigadores antes mencionados y esperando tener mejores resultados.

Cabe mencionar que el agregado fino es el que ocupa los espacios vacíos dejados por los agregados gruesos, además tiene función de lubricar y dar manejabilidad al hormigón. En su conjunto los áridos crean una estructura sólida y duradera al unirse con la pasta de cemento, la cuál será la que resista la acción de las

cargas; y de ahí la importancia de su estudio en este trabajo [7].

## 2. Materiales y métodos

Se realizaron tres tipos de mezclas de hormigón con diferentes tipos de tamaños nominales de partículas de caucho (ver Tabla 1) y una mezcla convencional ( $f'c=24$  MPa). Previo al diseño del hormigón convencional se realizó la caracterización de los materiales.

**Tabla 1.** Tamices utilizados en el cribado del caucho

Tamiz ASTM (#)	Tamaño de partículas (mm)
4	4.760
8	2.380
16	1.190
30	0.596
50	0,297

### 2.1. Caracterización del material

Se utilizaron materiales pétreos provenientes de la cantera de la Mitad del Mundo (Quito, Ecuador), cemento hidráulico tipo GU (NTE INEN 2380), y agua potable. Las propiedades de los agregados tienen mayor influencia en la cantidad de agua necesaria para la colocación del hormigón en obra, razón por la cual es importante valorar o ensayar algunas de las características de los materiales pétreos como las listadas a continuación.

#### 2.1.1. Granulometría

Se determinó la granulometría de los agregados finos y gruesos (NTE INEN 696), éste es un procedimiento por medio del cual se separa al agregado por tamaños de partículas con ayuda de tamices normalizados, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total.

#### 2.1.2. Colorimetría en el agregado fino

Otro parámetro para caracterizar al material pétreo es la cantidad de sustancias orgánicas que contienen. El ensayo de colorimetría es el que determina en primera instancia si el agregado fino contiene impurezas orgánicas, cuya presencia dificulta el fraguado del hormigón, este ensayo se realiza con referencia a la norma NTE INEN 855.

#### 2.1.3. Abrasión en el agregado grueso

Para el agregado grueso se realizó el ensayo de abrasión (NTE INEN 860 – NTE INEN 861), el cual consta de colocar una muestra de masa inicial con 12 esferas en la máquina de los Ángeles para luego determinar el porcentaje de desgaste producido por el impacto y rozamiento superficial.

#### 2.1.4. Peso unitario de los agregados

El ensayo para determinar el peso unitario (NTE INEN 858); se lo realizó de manera suelta y compactada tanto para el agregado fino como para el material grueso. Para la masa suelta se realizó el llenado del recipiente en tres partes a una altura no mayor a 10 cm, pesando tres veces y sacando un promedio del volumen de la masa; para la masa compactada se realiza el mismo procedimiento anterior con la diferencia de que cada capa irá apisonada con 25 golpes cada una y de la misma manera se obtendrá un promedio del volumen de las masas.

#### 2.1.5. Caucho de neumáticos reciclados

El caucho proviene de los desechos del reencauche de neumáticos usados fue suministrado por la empresa Dura Llanta ubicada en el sur de Quito. El proceso de obtención del desperdicio de caucho de

neumáticos reciclados se obtiene en la fábrica donde los obreros seleccionan la materia prima (llantas usadas), éstas pasan por una máquina de separación de ceja es decir no la dejan circular; sino que le cortan los costados para reducirla a una sola banda, la cual es sometida a una cortadora en tiras y por último a estas tiras las colocan en una máquina trituradora de donde se obtiene el desecho del neumático. Este material fue expuesto al cribado consecutivo de diferentes tamices.

## 2.2. Diseño de mezclas

El diseño de la mezcla para el concreto convencional se realizó de acuerdo con el A.C.I.211.11, en el cual describe el método para determinar la dosificación del concreto para un saco de cemento. Este método utiliza como datos de partida las características de los agregados, así como la resistencia a la compresión requerida, las condiciones ambientales a las que el hormigón estará expuesto y el tipo de cemento.

## 2.3. Elaboración del concreto convencional y hormigón con partículas de caucho

Para la elaboración de los especímenes de hormigón se utilizaron moldes de 10 y 15 centímetros de diámetro supeditado a la norma NTE INEN 3124. El muestreo del hormigón se realizó bajo la norma NTE INEN 1763; al determinar el asentamiento o revenimiento de la mezcla fresca se utilizó el cono de Abrams (NTE INEN 1778), cuyo valor sirve para medir indirectamente la trabajabilidad de la mezcla. Para el curado de los especímenes de hormigón se utilizó una piscina de sumersión que mantiene el 100% de humedad a las probetas, con una temperatura promedio de  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  según lo establecido en la norma NTE INEN 2528.

Para obtener el caucho a ser empleado en las diferentes mezclas, se utilizaron los tamices que se exponen en la Tabla 1, en tal virtud, se escogieron las siguientes fracciones de material: para la mezcla denominada tamiz N° 16, se tomó el material pasante del tamiz N°8 y retenido en el tamiz N°16; para la mezcla denominada tamiz N° 30 se tomó el material pasante del tamiz N°16 y retenido en el tamiz N°30 y para la mezcla denominada tamiz N° 50 se tomó el material pasante del tamiz N°30 y retenido en el tamiz N°50 (ver Figura 1), esto con el fin de fabricar tres diferentes tipos de mezclas (incluyendo el caucho retenido por cada tamiz) y analizar a posteriori la incidencia que tiene en la inclusión de este material elastomérico en el hormigón convencional diseñado para una resistencia  $f'c=24\text{MPa}$ .

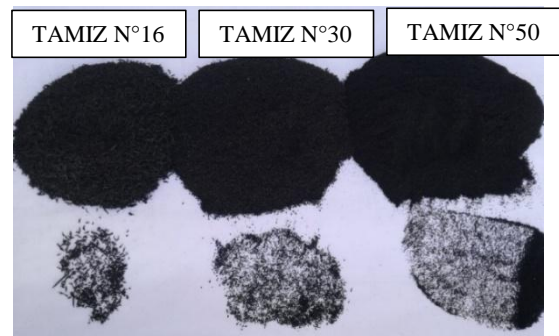


Figura 1. Representación del tamaño de partículas de caucho

En resumen, se fabricaron 4 mezclas, una que corresponde al concreto convencional y los tres restantes pertenecen a las mezclas que sustituyen el 4% en peso del agregado fino por partículas de caucho retenidos por los tamices anteriormente descritos.

## 2.4. Ensayo de compresión y flexión a las probetas de hormigón

El ensayo de compresión en los especímenes de hormigón se realizó a las edades de 7, 14 y 28 días, para este propósito se ensayaron 3 testigos por cada

edad y mezcla, registrando la carga máxima alcanzada por cada probeta, para luego obtener el esfuerzo promedio de una mezcla que puede ser convencional o mezclas con inclusión de caucho; este procedimiento está normado por el reglamento NTE INEN 1573. Del mismo modo, para el ensayo a flexión se realizaron 2 probetas prismáticas por cada mezcla tanto para el hormigón convencional como para las tres mezclas de hormigón con partículas de caucho, las cuáles fueron sometidas a carga en el punto medio y ensayadas a los 28 días de edad, con referencia a la norma ASTM C293.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Resultados de caracterización

Al realizar la caracterización del material en el ensayo de abrasión, el agregado grueso tuvo un desgaste del 56% esto indica que el material de la mitad del mundo (Quito) es de baja calidad, en principio la resistencia de los áridos no es comúnmente un agente que afecte la resistencia del hormigón, porque un grano del árido suele ser más resistente que la matriz cementante. Pero al utilizar agregados de caliza en hormigón hidráulico de baja relación agua-cemento, es habitual que la falla pase por la partícula del agregado [8].

La norma INEN 872 establece los límites del análisis granulométrico en el agregado fino para uso en el hormigón, el material proveniente de la mitad del mundo excede estos límites, sin embargo, en este trabajo que es netamente investigativo se procedió a la elaboración del hormigón con estos agregados puesto que el objetivo es observar la influencia del caucho en el concreto. Cabe mencionar que para cumplir la norma antes citada se puede realizar el ajuste de la curva granulométrica por el método de Fuller. Por otra parte, respecto al módulo de finura dado por norma, el agregado fino se encuentra dentro del rango de 2.3 a 3.1 y en dicho análisis dio como

resultado 3.19 lo cual determina que este es un agregado con un mayor porcentaje de partículas gruesas, esto afecta la demanda de agua y la trabajabilidad del concreto, sin embargo, la variación referente a la norma no es significativa para descartar el uso de este material [9].

Respecto al análisis de impurezas orgánicas en el agregado fino se visualizó un color claro, lo que indica una baja presencia de sustancias orgánicas, esto es predecible de un material extraído con voladura de una mina a cielo abierto.

Una vez caracterizado el material se procedió al diseño del hormigón convencional, y se determinó la relación agua-cemento de 0.52 para obtener una resistencia de 24 MPa a los 28 días, esta relación se mantuvo constante tanto para el hormigón convencional, así como para las mezclas que incluyeron partículas de caucho. La dosificación utilizada se describe en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Dosificación en peso utilizada para el hormigón convencional

Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
0.52	1	1.71	3.29

La Tabla 2 muestra las cantidades necesarias de los materiales constitutivos de la mezcla de hormigón. A partir de esta dosificación, para el hormigón convencional se necesita 1.71 Kg de árido fino por cada kilo de cemento, pero para las mezclas con inclusión de caucho se reduce el 4%, siendo así, se necesita 1.64Kg de arena y 0.07Kg de caucho.

Se diseñó el hormigón para un asentamiento de 80 mm y un tamaño máximo de partícula de 38mm. En la Tabla 3 se describen los asentamientos que se obtuvieron para cada mezcla elaborada en esta investigación.

De acuerdo con el análisis anteriormente mencionado se procedió a elaborar la mezcla convencional de



hormigón donde se obtuvo un revenimiento de 85mm, obtenido este resultado se puede considerar que el asentamiento en la mezcla fresca (ver Figura 2) se comportó satisfactoriamente de acuerdo con el diseño preestablecido, y se considera una mezcla homogénea, de fácil manejabilidad, transporte y consistencia adecuada.



Figura 2. Mezcla fresca del hormigón convencional

Con respecto a la mezcla con inclusión de caucho el asentamiento mínimo obtenido se reduce en 35 mm respecto al convencional, esta es una reducción significativa, pero se ubica dentro del rango utilizado para construcción de elementos de hormigón armado de 2 a 4 pulgadas. En general las mezclas con caucho se comportaron con baja trabajabilidad y movilidad. Esta reducción del asentamiento se produce por la superficie rugosa de las partículas de caucho que atrapan aire en el hormigón, y su naturaleza hidrófoba puede llevar el agua a adherirse a su superficie e incrementar el contenido de aire en hormigón fresco [10]. En principio, para llegar al asentamiento de diseño con el concreto que contiene caucho, se podría aumentar el agua de amasado,

pero en virtud de que la investigación busca una base comparativa no se modificó la relación agua-cemento al momento de fabricar el hormigón con partículas de caucho.

Otro punto para considerar es la reducción del peso de las probetas con inclusión de caucho con respecto de las probetas de hormigón convencional, se determinó que en promedio se redujo el 3.10%. Esto se debe a la pérdida de agua que se produjo al no reaccionar con el cemento al momento del fraguado y curado.

### 3.2. Resultados de los ensayos a compresión

Para el análisis del comportamiento a la compresión de las probetas de hormigón convencional como del concreto con caucho, se realizaron los ensayos axiales a los 7, 14 y 28 días de curado de los testigos. En la Tabla 4 se muestra el desarrollo del esfuerzo promedio a la compresión de las cuatro mezclas elaboradas. A continuación, se muestra la desviación estándar para edad de 28 días: hormigón convencional  $\sigma=0.28$ ; tamiz N°30  $\sigma=0.20$ ; tamiz N°50  $\sigma=0.12$ ; tamiz N° 16  $\sigma=0.55$ .

Tabla 3. Asentamiento de las Mezclas de Concreto

Mezcla	Asentamiento mm
Hormigón convencional	85
Hormigón con partículas de Tamiz N°16	70
Hormigón con partículas de Tamiz N°30	55
Hormigón con partículas de Tamiz N°50	50

**Tabla 4.** Resistencia a la compresión de las mezclas a diferentes edades

Edad (días)	H. convencional (MPa)	Tamiz N°16 (MPa)	Tamiz N°30 (MPa)	Tamiz N°50 (MPa)
7	12.84	8.81	11.35	10.96
14	18.28	12.37	16.03	14.91
28	25.33	20.93	20.35	17.72

El hormigón convencional diseñado en este experimento desarrolló una resistencia a 7 días del 53.5% respecto al diseño propuesto, aunque pudiera parecer un comportamiento atípico para edades tempranas, sin embargo, en el transcurso de maduración de las probetas de hormigón convencional se alcanzaron las resistencias esperadas a una edad de 28 días, que es una medición de referencia. Según Eshmaiel [11] mostró que la reducción del esfuerzo a la compresión depende del tamaño de caucho y la cantidad de sustitución, esto se puede evidenciar en las resistencias alcanzadas por los hormigones con distintas adiciones de caucho, se observó que el hormigón con adición de material proveniente del tamiz N°30 presentó los mejores resultados con un 44.82% a los 7 días.

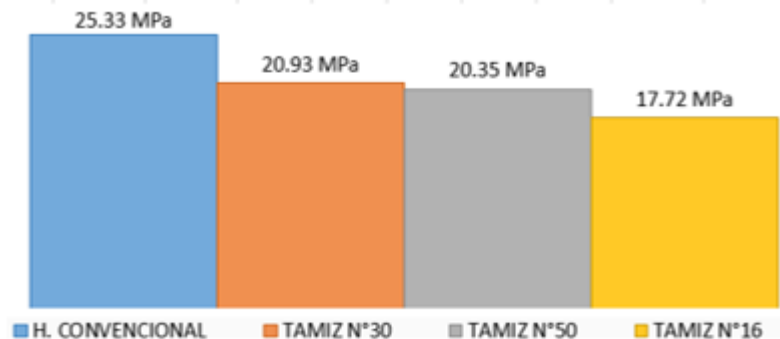
Como una forma de aceptabilidad del concreto es importante encontrar la resistencia a la compresión a los 28 días de edad de los especímenes, es por esta razón que la investigación toma como resultados finales y significativos a los expuestos en la Figura 3.

El resultado a los 28 días referente al hormigón convencional sobrepasa en 5.52% la resistencia esperada (24 MPa).

La resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días de las mezclas referentes al tamiz N°16, N°30 y N°50 fueron 69.95%, 82.65% y 80.36% con respecto a la mezcla convencional, lo cual denota que la mezcla que mejor comportamiento tuvo fue el hormigón elaborado con partículas retenidas en el tamiz N°30.

La sustitución del agregado fino con el caucho que tiene densidad y resistencia menor al árido hace que las características mecánicas del hormigón disminuyan, ya que la resistencia de un material compuesto como el hormigón, depende de la resistencia de sus componentes [13].

En general las tres mezclas elaboradas con caucho reciclado disminuyeron su resistencia a la compresión, esto se debe a que las partículas de caucho durante la fase de fraguado se distribuyen en la masa del hormigón y forman puntos blandos de debilidad en la matriz cementante por ende las grietas empiezan a desarrollarse en la zona de contacto del gránulo de caucho con la masa cementante [1-12].



**Figura 3.** Resistencia a compresión a los 28 días



**Figura 4.** Probeta antes y después del ensayo de compresión

### 3.3. Resultados de los ensayos a flexión

El ensayo a flexión fue realizado a los 28 días de edad de las probetas, ver figura 5.



**Figura 5.** Probeta sometida al ensayo a flexión

Debido a que el caucho es un material elastomérico, es de interés analizar su comportamiento en el ensayo a flexión,

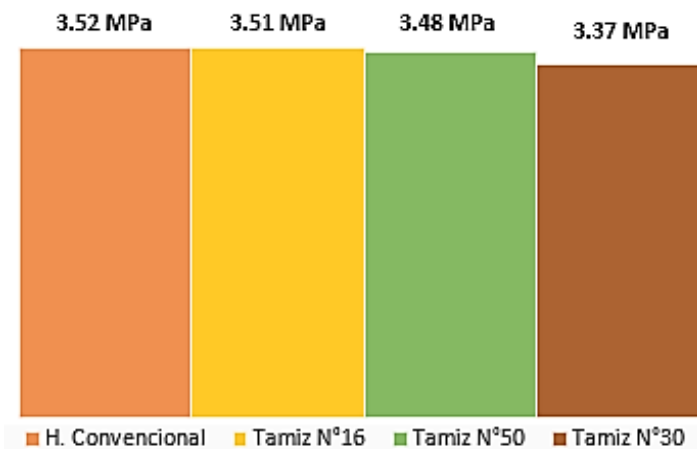
para verificar su influencia dentro del concreto. Se puede visualizar en la Figura 6 que el comportamiento del concreto con inclusión de caucho del tamiz N°30 tuvo una reducción del 4%, y las demás mezclas tuvieron una disminución poco o nada significativa en referencia al hormigón convencional.

Al analizar el fenómeno de la flexión se establece que está compuesto por dos tipos de esfuerzos, en la parte cóncava de la vigueta las partículas se comprimen y en la parte inferior en relación del eje neutro la distribución de esfuerzos tiene un comportamiento lineal constituyéndose el esfuerzo máximo a tracción en las fibras extremas, siendo así la inclusión de caucho en el hormigón no afecta considerablemente a la resistencia de la tracción de la probeta y en este análisis resulta notorio que el comportamiento del caucho es eficiente, debido a sus propiedades elásticas.

### 4. Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con el análisis realizado en el proceso y desarrollo de esta investigación se puede concluir con algunos aspectos importantes a tomar en cuenta como son:

Una forma de mejorar la resistencia a la compresión es que, para elaborar la



**Figura 6.** Resistencia a Flexión

mezcla de hormigón con inclusión de partículas de caucho, este agregado debería ser sometido a un tratamiento previo, debido a que por su naturaleza hidrófoba se produce uniones débiles entre el agregado de caucho y la matriz cementante, donde las fallas se pueden formar fácilmente bajo sollicitaciones externas.

Además, se llegó a la conclusión de que las probetas con inclusión de caucho tuvieron una disminución de peso lo que podría aprovecharse para reducir la masa de la super estructura y por ende el cortante basal.

Es fundamental tomar en cuenta la particularidad de los agregados que se va a utilizar en el diseño de la mezcla de hormigón. Se comprobó que el material proveniente de la Mitad del mundo no es de buena calidad. Primero, cuando se realizó la caracterización del material en la granulometría del árido fino, se observó que no está dentro de los límites establecidos por norma, esto debido a que el material tiene demasiadas partículas grandes. Luego se observó que el agregado grueso tuvo un porcentaje alto al desgaste. Por último, en el ensayo a compresión del hormigón convencional, se observó que la rotura en los cilindros no fue por la masa cementante, sino que ocurrió por el material, es decir el árido falló. Esta baja calidad del material fue reflejada en la relación agua-cemento, ya que se necesitó mayor cantidad de cemento para alcanzar la resistencia de diseño.

Sin embargo, como resultado de esta investigación se puede concluir que los hormigones con partículas de caucho reducen su capacidad a la compresión en un 28%, pero la resistencia a tracción no tuvo una reducción considerable, esto hace prever o recomendar que se puede sustituir el 4% en peso del agregado fino con partículas de caucho retenidas en los tamices N°16 y N°50 en hormigones empleados para elementos estructurales

que estén sometidos netamente a sollicitaciones a flexión como por ejemplo las vigas; siempre y cuando se compruebe que a largo plazo no hay pérdida de resistencia y el módulo de elasticidad es similar al hormigón convencional.

Una disminución del 28% en la resistencia a la compresión del hormigón con adición de caucho a los 28 días, podría incidir en el costo de la sección al requerir un tamaño mayor bajo las mismas condiciones de carga.

Como recomendación final a esta investigación, sería importante hacer un estudio de la influencia de realizar la oxidación y sulfonado del caucho antes de ser utilizado en hormigón hidráulico.

## Referencias

- [1] G. Girskas, D. N. (2017). "Crusher rubber waste impact of concrete basic properties." *Construction and Building Materials - ELSEVIER*.
- [2] Sh. Guo, Q. D. (2017). "Evaluation of properties and performance of rubber-modified concrete for recycling of waste scrap tire." *Journal of cleaner production - ELSEVIER*.
- [3] MAE. (2015). "Instructivo para la Gestión Integral de Neumáticos Usados." *Acuerdo Ministerial 098*.
- [4] C. Albano, N. C. (2008). "Estudio de concreto elaborado con caucho de reciclado de diferentes tamaños de partículas". *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*.

- [5] H. Torres. (2014). "Valoración de las propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho." *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*.
- [6] I. del Pilar Urra. (2006). "Homigón con caucho: Determinación del Módulo de Elasticidad." *Universidad Austral de Chile*.
- [7] M. Coro Paillacho. (2014). "Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera San Roque  $f'c=28\text{MPa}$ ." *Universidad Central del Ecuador*.
- [8] J. Chan Yan, R. S. (2003). "Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto." *Construcción FIUADY*.
- [9] R. Laredo, J. Z. (2016). "Resistencia a la compresión y asentamiento de un concreto modificado cuando se reemplaza el contenido de agregado fino y agregado grueso por hormigón de la cantera San Antonio." *Universidad Nacional de Trujillo*.
- [10] P. Sukontasukkul. (s.f.). "Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel." *Constr. Build. Mater*, 1084-1092.
- [11] G. Eshmaiel, M. K. (2009). "Scrap tyre rubber replacement for aggregate and filler in concrete." *Constru. Build Mater*, 1828-1836.
- [12] Yue Li, Y. L. (2017). "Experimental study on performance of rubber particule and steel fiber composite toughening concrete." *Construction and Building Materials - ELSEVIER*.
- [13] M. Iman, K. J. (2015). "Performance of crumb rubber concrete (CRC) prepared by water- soaking treatment method for rigid paviments." *Cement Concr. Compost*, 106-116.