

# ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO DE UN DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CON ADICIÓN DE MATERIAL RECICLADO DE LLANTAS.

## BEHAVIORAL STUDY OF A CONCRETE MIXING DESIGN WITH ADDITION OF RECYCLED TIRE MATERIAL.

**Juliana Paola Vásquez Usquiano**

Estudiante de Ingeniería Civil  
Universidad Santo Tomas de Aquino  
Villavicencio, Colombia  
juliana.vasquez@usantotomas.edu.co

**Resumen:** Los diseños de mezcla son sistemas competentes por fundamentos teórico-prácticos competentes que permiten el cálculo de las dosificaciones correspondientes para producir concentraciones correspondientes a una resistencia a compresión para una edad determinada con propiedades físico-mecánicas aptas para su correcta durabilidad y estabilidad en el cumplimiento de su tiempo de servicio en campo. Por lo anteriormente mencionado es que los campos tecnológicos y de desarrollo como la academia ofrecen productos de investigación anualmente que competen materiales adicionales y diseños de mezcla con el fin de ofrecer diferentes conclusiones que respeten a la ventaja o no de ciertos diseños o materiales aditivos en la estructura interna de un concreto (Osorio, 2019). Este proyecto de investigación se ejecutó con el objetivo de analizar el comportamiento físico-mecánico de un diseño de mezcla en con dos tipos de mezclas, un diseño de mezcla establecido mediante los laboratorios realizados para determinar el diseño compuesto por agregados gruesos, finos, agua y cemento; y un diseño de mezcla alterado (agregados gruesos reemplazados en tres mezclas porcentuales por material reciclado de llantas), donde se evidenció una clara gama de ventajas estructurales por parte del diseño de mezcla sin reemplazo del agregado grueso como su alta resistencia a la compresión, flexión y módulo de elasticidad y en la segundo momento se evidenció que el módulo de elasticidad puede mejorar con el reemplazo de agregado grueso por caucho en una poca cantidad.

**Palabras clave:** Caucho reciclado, Modulo de Rotura, Esfuerzo, Modulo de Elasticidad, Agregado grueso, reemplazo

**Abstract:** The mix designs are competent systems by competent theoretical-practical foundations that allow the calculation of the corresponding dosages to produce concentrations corresponding to a compressive strength for a given age with physical-mechanical properties suitable for its correct durability and stability in the fulfillment of its service time in the field. Because of the above mentioned is that technological and development fields such as academia offer research products annually that compete additional materials and mix designs in order to offer different conclusions that respect the advantage or not of certain designs or additive materials in the internal structure of a concrete (Osorio, 2019). This research project was executed with the objective of analyzing the physical-mechanical behavior of a mix design in with two types of mixes, a mix design established through the laboratories performed to determine the design composed of coarse aggregates, fines, water and cement; and an altered mix design (coarse aggregates replaced in three percentage mixes by recycled tire material), where a clear range of structural advantages were evidenced by the mix design without replacement of the coarse aggregate, such as its high resistance to compression, bending and modulus of elasticity, and in the second moment it was evidenced that the modulus of elasticity can be improved with the replacement of coarse aggregate by rubber in a small amount.

**Keywords:** Recycled rubber, Modulus of Rupture, Stress, Modulus of Elasticity, Coarse aggregate, replacement

### INTRODUCCIÓN

La construcción es un pilar económico tanto nacional como internacionalmente hablando debido a su capacidad de generación de empleo e impulso de otros sectores como las industrias proveedoras de insumos, por esta razón es que los avances y desarrollos tecnológicos son constantes e íntimos de gran manera con respecto a la calidad y estructura de sus materiales por su influencia económica a cada proyecto de obra civil [2]. El concreto es el material principal para la construcción de obras civiles a lo largo y ancho del planeta gracias a las capacidades mecánicas como la resistencia, durabilidad y versatilidad que ofrece a las estructuras y sus creadores [3].

La sostenibilidad y la concientización con el medio ambiente ha llevado a la sociedad en general y principalmente la academia de comenzar a encontrar la manera de terminar con los materiales de un solo uso y hallarles un medio en el cual se desenvuelvan no de manera en la que fueron concebidos, pero si

siendo partícipes de estructuras industriales disminuyendo de esta manera su huella contaminante en el medio que se disponía tradicionalmente [4].

El proyecto de investigación tuvo como objetivo estudiar y analizar las propiedades mecánicas que sean alteradas de un concreto a través de la realización de laboratorios, mediante el estudio y diseño de mezclas en el que fueron reemplazados los valores de agregado grueso de una mezcla tradicional en 5%, 7% y 10% donde se determinó la viabilidad del uso de caucho triturado como aditivo. El alcance académico del desarrollo de este proyecto de investigación comprende desde el diseño de la mezcla y caracterización de materiales hasta la realización de laboratorios mecánicos como resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, resistencia a la tensión, asentamiento, y ensayo a flexión. El desarrollo de este proyecto de investigación comprendió los materiales de agregado grueso de media pulgada y el material fino como arena de río de la cantera del río Guayuriba y los laboratorios de la Universidad Santo Tomás de Aquino Sede Villavicencio donde se realizó la carnetización de los agregados y realización de laboratorios mecánicos.

## **2. DESARROLLO DEL ARTÍCULO**

### **2.1. Fase 1: Diseño de mezcla**

En el desarrollo de esta fase se realizan los laboratorios correspondientes y necesarios para determinar el diseño de mezcla del concreto con agregado grueso de caucho reciclado. En esta primera fase se realizan los siguientes laboratorios:

- Granulometría.
- Densidad relativa.
- Porcentaje de absorción.
- Densidad volumétrica.

A través de los previamente mencionados laboratorios se reconocen las características fisicomecánicas de los agregados finos y gruesos a través de la Normativa Técnica Colombiana (NTC), esta fase es necesaria para determinar las cantidades relativas a usar en práctica para conseguir correctamente la dosificación óptima para la obtención de un concreto real y funcional.

### **2.2. Fase 2: Ejecución de laboratorios a partir de manuales NTC:**

Esta fase comprende la continuación normativa en la creación de un propuesto de concreto como indica la Normativa Técnica Colombiana (NTC), los laboratorios corresponden a la continuación permitida por el reconocimiento de la dosificación correcta previamente extraída a través de la fase uno.

Se realizan los cilindros de 30cm de altura con 15 cm de diámetro y vigas de 54cm de largo con un área transversal de 15cmx15cm. Se construyen 8 vigas y 48 cilindros de concreto, donde se dividen equilibradamente las dosificaciones para cumplir exactamente los porcentajes de reemplazo de agregado grueso en el 5%, 7% y 10% por el caucho reciclado de llanta.

Después de la construcción de elementos, las vigas se depositan en un cuarto de curado por 28 días al igual que los cilindros, a diferencia que, estos últimos son depositados en un ciclo de 7, 14 y 28 días para la extracción correcta de la información correspondiente a la evolución de sus capacidades mecánicas correspondientes a la resistencia a la compresión. Este laboratorio es ejecutado a lo largo del periodo de días previamente descrito en cuatro elementos de cada dosificación, normal, 5%, 7% Y 10% para posibilitar la correcta construcción de las conclusiones pertinentes a la factibilidad real de este concreto. A los 28 días a los elementos cilíndricos restantes se les aplica el proceso de compresión añadiendo a ellos la herramienta denominada compresómetro para cuantificar su módulo de elasticidad.

Las vigas después de su proceso de curado son sometidas al laboratorio de resistencia a la flexión, estos elementos no son contruados con acero en su estructura interna para reconocer la completa y única capacidad del concreto por sí mismo en presencia de una fuerza a flexión. Igualmente, en el desarrollo de

este laboratorio se someten los elementos con dosificaciones normales, 5%,7% y 10% de reemplazo de agregado grueso por caucho reciclado proveniente de llantas.

### 2.3. Fase 3: Análisis de resultados.

La información recolectada durante cada laboratorio realizado en la fase dos, se compila en la herramienta ofimática de Microsoft Office: Excel y con bases teóricas propuestas por la Norma Técnica Colombiana (NTC) que nos permiten conocer los parámetros básicos competentes de un concreto tradicional necesarios para realizar una comparación objetiva y clara y permitir la producción de conclusiones suficientes para esclarecer la factibilidad o no factibilidad de este concreto en la vida real y profesional.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Fase 1: Diseño de mezcla

#### Agregado grueso

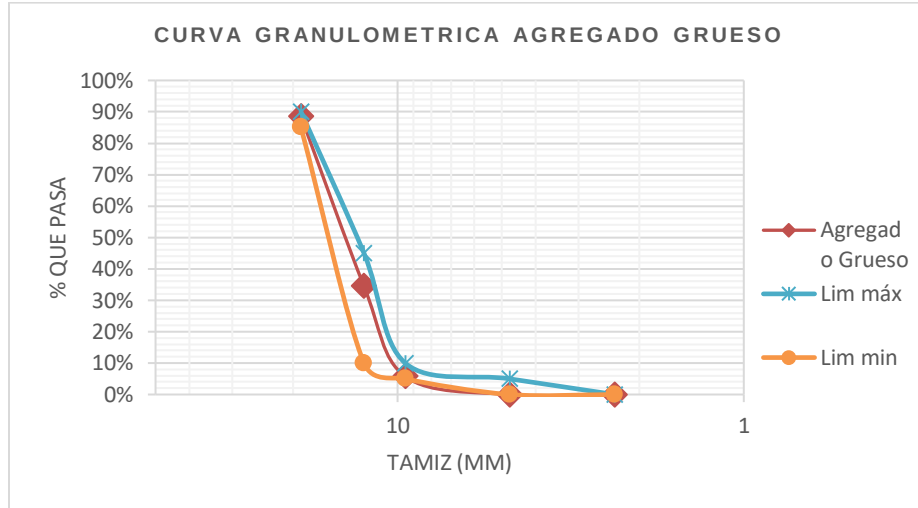
A través del proceso de tamizaje en laboratorio fue posible reconocer la división granulométrica de la grava, material común como agregado grueso para la elaboración de concreto, para poder construir la curva granulométrica y reconocer el módulo de finura, que se presenta a continuación:

**TABLA I  
TAMICES**

| TAMIZ | Abertura mm |
|-------|-------------|
| 3/4   | 19          |
| 1/2   | 12,5        |
| 3/8   | 9,5         |
| # 4   | 4,75        |
| # 8   | 2,36        |
| # 16  | 1,18        |
| # 30  | 0,6         |
| #50   | 0,3         |
| #100  | 0,15        |
| # 200 | 0,075       |
| Fondo | -           |

Fuente: Elaboración propia.

**FIG. 1CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO GRUESO**



### Agregado fino

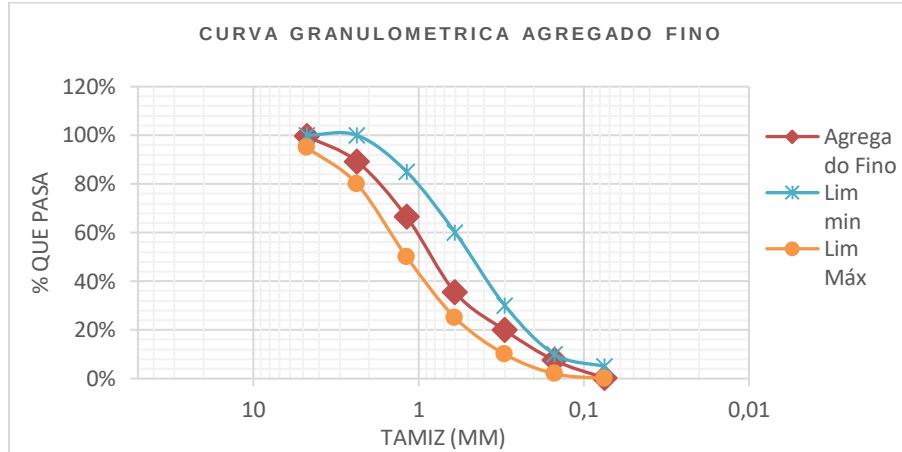
Nuevamente, como en el agregado grueso, se realizó el tamizaje de una cantidad considerable de material fino, arena de río, de acuerdo con lo presentado por la Norma Técnica Colombiana en su numeral 77. Los datos correspondientes para la construcción de la curva granulométrica son los siguientes:

**TABLA II  
TAMICES**

| TAMIZ | Abertura mm |
|-------|-------------|
| 3/4   | 19          |
| 1/2   | 12,5        |
| 3/8   | 9,5         |
| # 4   | 4,75        |
| # 8   | 2,36        |
| # 16  | 1,18        |
| # 30  | 0,6         |
| #50   | 0,3         |
| #100  | 0,15        |
| # 200 | 0,075       |
| Fondo | -           |

Fuente: Elaboración propia.

FIG. 2CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO FINO



Fuente: Elaboración propia.

### Diseño de mezcla

Bajo el método ACI fue realizado el diseño de mezcla, donde inicialmente son necesarias las características del cemento y agregados a usar, estos últimos obtenidos gracias a las pruebas en laboratorio. Se determina la resistencia a la compresión teórica del concreto en  $f'c$  210  $kg/cm^2$ , los datos siguientes son los correspondientes al contenido de aire atrapado por el agregado grueso, relación agua-cemento, volumen absoluto de los materiales peso de los agregados y aporte de agua a la mezcla.

*Cemento : Arena : Grava : Agua*

1 : 2.29 : 2.07 : 0.52

TABLA III  
CARACTERÍSTICAS MATERIALES

| AGREGADOS                                     | FINO | GRUESO  |
|-----------------------------------------------|------|---------|
| Perfil                                        |      | ANGULAR |
| Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> ) | 2752 | 2083    |
| Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )          | 3429 | 3253    |
| Módulo de Fineza                              | 2,85 | 6,22    |
| TMN (tamaño máximo nominal)                   |      | 3/8"    |
| %abs                                          | 0,74 | 1,82    |
| %w                                            | 0,43 | 0,41    |

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se toman los valores de los pesos finales para determinar el diseño de mezcla y se divide en el peso del cemento para un metro cubico y de una proporción.

- **Relación agua cemento.**

$$a/c = 0.62 + \frac{0.48 - 0.62}{300 - 250} * (294 - 250)$$

$$a/c = 0.497$$

$$C = \frac{228}{0.497}$$

$$C = 458.752 \text{ kg}$$

- **Peso del agregado grueso**

$$b/b_o = 0.46 + \frac{0.44 - 0.46}{3 - 2.8} * (2.85 - 2.8)$$

$$b/b_o = 0.445$$

$$WAG = 0.445 * 2083 \text{ kg/m}^3$$

$$WAG = 947.76 \text{ kg/m}^3$$

- **Volumen absoluto**

- ✓ Cemento

$$V = \frac{458.752 \text{ kg}}{\left( \frac{3.15 \text{ g}}{\text{cm}^3} * 1000 \right)}$$

$$V = 0.146 \text{ m}^3$$

- ✓ Agua

$$V = \frac{228 \text{ Lt}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 0.228 \text{ m}^3$$

- ✓ Aire

$$V = \frac{3\%}{100}$$

$$V = 0.03 \text{ m}^3$$

- ✓ Agregado Grueso

$$V = \frac{947.765 \text{ kg}}{3253 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 0.291 \text{ m}^3$$

- ✓ Agregado Fino

$$V = 1 \text{ m}^3 - 0.146 \text{ m}^3 - 0.228 \text{ m}^3 - 0.03 \text{ m}^3 - 0.291 \text{ m}^3$$

$$V = 0.305 \text{ m}^3$$

- **Peso del agregado fino**

$$WAF = 3429 \text{ kg/m}^3 * 0.305 \text{ m}^3$$

$$WAF = 1045.89 \text{ kg}$$

- **Corrección por humedad**

- ✓ Agregado grueso

$$Wf = 947.765kg * \left( \frac{0.41\%}{100} + 1 \right)$$

$$Wf = 951.651kg$$

✓ Agregado fino

$$Wf = 1045.89kg * \left( \frac{0.43\%}{100} + 1 \right)$$

$$Wf = 1050.39kg$$

- **Aporte de agua a la mezcla**

✓ Agregado grueso

$$Aporte\ de\ agua\ a\ la\ mezcla = \frac{(0.41\% - 1.82\%) * 951.651kg}{100}$$

$$Aporte\ de\ agua\ a\ la\ mezcla = -13.42lt$$

✓ Agregado fino

$$Aporte\ de\ agua\ a\ la\ mezcla = \frac{(0.43\% - 0.02\%) * 1050.39kg}{100}$$

$$Aporte\ de\ agua\ a\ la\ mezcla = 4.31lt$$

El aporte de agua a la mezcla fue de – 9.11 Lt, por lo que el agua total de la mezcla fue 273.11 Lt.

### 3.2. Fase 2: Ejecución de laboratorios a partir de manuales NTC.

#### Dosificación y construcción de cilindros y vigas.

Se elaboran los 48 cilindros y 8 vigas como se plantearon en la etapa de metodología, donde 36 cilindros y 6 vigas son alterados en su estructura de agregados gruesos con el material de caucho reciclado proveniente de llantas, del cual el 20% es material reciclado con acero en su composición. La dosificación establecida para la ejecución de esta fase fue la siguiente:

**TABLA IV**  
**DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA**

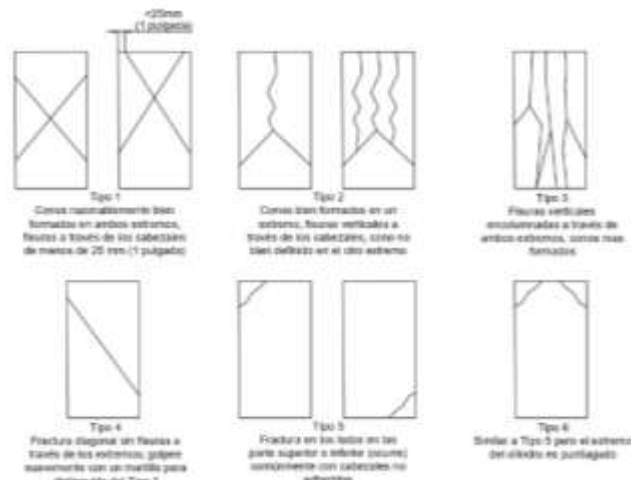
| DOSIFICACIÓN |              |                      |                    |          |                       |                       |
|--------------|--------------|----------------------|--------------------|----------|-----------------------|-----------------------|
|              | Cemento (Kg) | Agregado Grueso (kg) | Agregado Fino (kg) | Agua (L) | Llanta con acero (Kg) | Caucho de llanta (kg) |
| <b>N</b>     | 29.18        | 60.54                | 66.82              | 15.56    | 0                     | 0                     |
| <b>C5%</b>   | 29.18        | 57.52                | 66.82              | 15.56    | 0.605                 | 2.422                 |
| <b>C7%</b>   | 29.18        | 56.30                | 66.82              | 15.56    | 0.848                 | 3.390                 |
| <b>C10%</b>  | 29.18        | 54.49                | 66.82              | 15.56    | 1.211                 | 4.843                 |

Fuente: Elaboración propia.

#### Laboratorio de compresión.

De acuerdo con la Norma ICONTEC-NTC 673 del 2010 se ejecutaron los laboratorios correspondientes a la capacidad de la resistencia a la compresión de los elementos cilíndricos. Los elementos son medidos en su diámetro y longitud donde no se encuentra necesidad de corrección en alguna de sus medidas. Es imprescindible el identificar el tipo de falla que sufre cada cilindro por acción de la maquina universal, por lo que se hace uso de la siguiente ilustración (NTC 673):

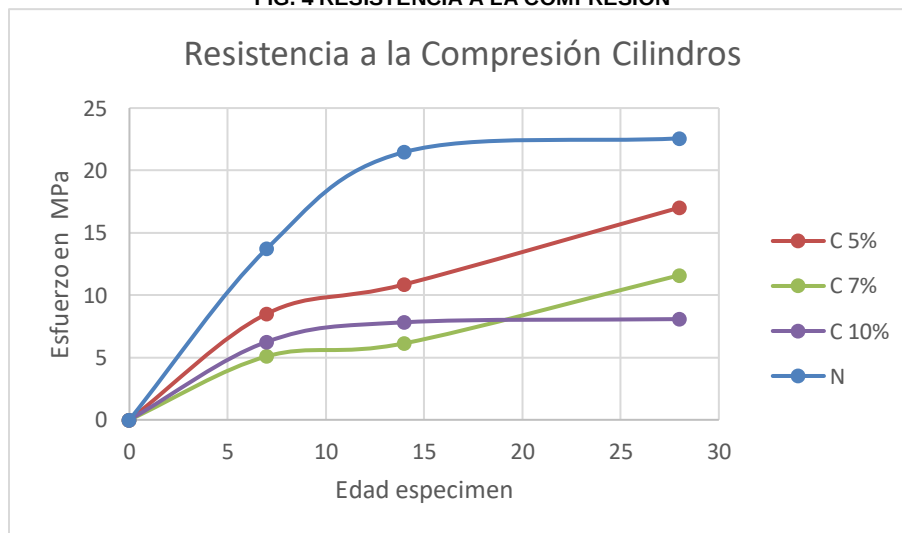
FIG. 3 TIPOS DE FALLAS



Fuente: [5] NTC 673-Elaboración propia.

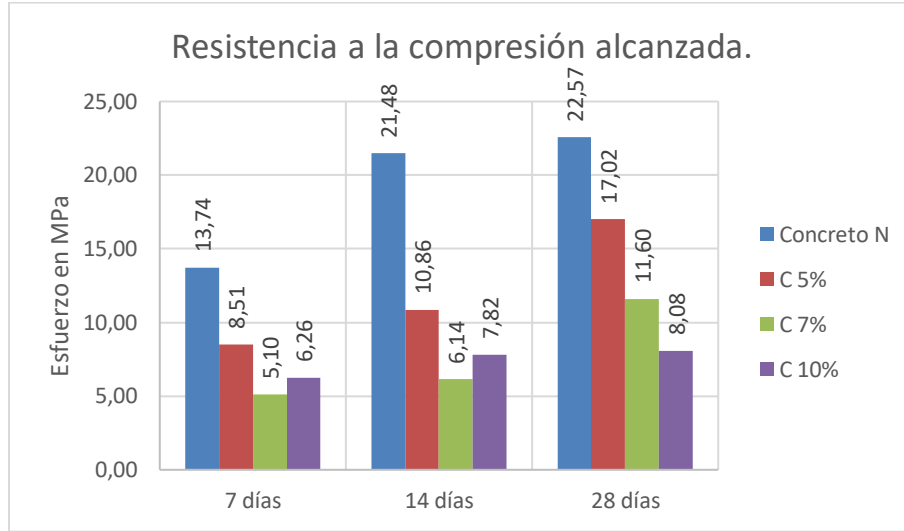
Los cilindros son sometidos, según normativa, a una fuerza aplicada a una velocidad de  $0.25 \text{ MPa/s} \pm 0.05 \text{ MPa/s}$  por parte de la maquina universal. Donde a través de todos los tres ciclos cronológicos se obtuvo la siguiente gráfica:

FIG. 4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



Fuente: Elaboración propia.

**FIG. 5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MÁXIMA**



Fuente: Elaboración propia.

El módulo de elasticidad por su parte, a través de la NTC 4025, es obtenido a los 28 días en todos los elementos cilíndricos restantes y dispuestos para esta fecha gracias a la adición del extensómetro al momento de comprimir cada cilindro en la maquina universal, tras una proporción de fuerza de 10Kn hasta el 40% de capacidad máxima de carga. Los datos recolectados son los siguientes:

**TABLA V**  
**40% CARGA MÁXIMA SOPORTADA**

| 40 % CARGA MÁXIMA SOPORTADA KN |       |    |      |  |
|--------------------------------|-------|----|------|--|
| NORMAL                         | 5%    | 7% | 10%  |  |
| 163,4                          | 133,5 | 82 | 61,7 |  |

Fuente: Elaboración propia.

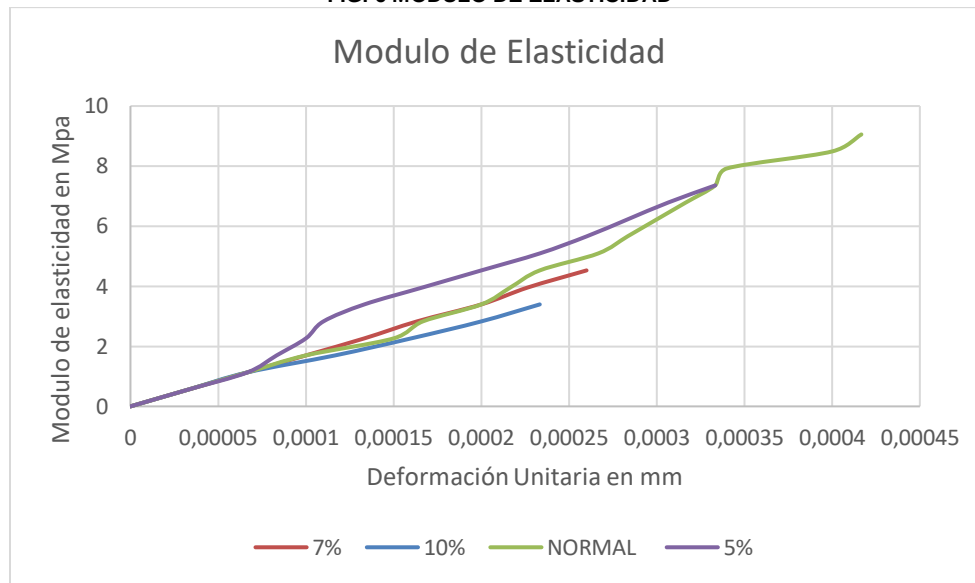
**TABLA VI**  
**DEFORMACIÓN**

| DEFORMACIÓN |        |       |       |       |
|-------------|--------|-------|-------|-------|
| CARGA       | NORMAL | 5%    | 7%    | 10%   |
| kN          | mm     | mm    | mm    | mm    |
| 10          | 0,01   | 0,01  | 0,01  | 0,01  |
| 20          | 0,02   | 0,02  | 0,02  | 0,02  |
| 30          | 0,03   | 0,025 | 0,03  | 0,035 |
| 40          | 0,045  | 0,03  | 0,04  | 0,048 |
| 50          | 0,05   | 0,033 | 0,049 | 0,06  |
| 60          | 0,06   | 0,04  | 0,06  | 0,07  |
| 70          | 0,065  | 0,05  | 0,068 | -     |
| 80          | 0,07   | 0,06  | 0,078 | -     |
| 90          | 0,08   | 0,07  | -     | -     |
| 100         | 0,085  | 0,078 | -     | -     |
| 110         | 0,09   | 0,085 | -     | -     |

|     |       |       |   |   |
|-----|-------|-------|---|---|
| 120 | 0,095 | 0,092 | - | - |
| 130 | 0,1   | 0,1   | - | - |
| 140 | 0,102 | -     | - | - |
| 150 | 0,12  | -     | - | - |
| 160 | 0,125 | -     | - | - |

Fuente: Elaboración propia.

**FIG. 6 MODULO DE ELASTICIDAD**



## Módulo de rotura

Para este apartado, son sometidas las vigas en la maquina universal a una carga aplicada en los dos tercios medios de su estructura horizontal, conocidas sus medidas en completo. Los datos obtenidos permitieron el cálculo del momento flexionante, módulo de rotura normal y como lo indica la NTC, como se presenta a continuación:

**TABLA VII  
RESULTADOS MODULO DE ROTURA**

| MUESTRA      | C NORMAL |       | 5%    |       |
|--------------|----------|-------|-------|-------|
|              | 1        | 2     | 1     | 2     |
| ANCHO        | 0,157    | 0,157 | 0,153 | 0,156 |
|              | 0,157    | 0,157 | 0,152 | 0,156 |
|              | 0,155    | 0,156 | 0,154 | 0,156 |
| ALTO         | 0,152    | 0,151 | 0,154 | 0,157 |
|              | 0,152    | 0,152 | 0,152 | 0,154 |
|              | 0,151    | 0,151 | 0,153 | 0,154 |
| L APOYOS INF | 0,48     | 0,48  | 0,48  | 0,48  |
| L APOYOS     | 0,15     | 0,15  | 0,15  | 0,15  |
| L VIGA       | 0,536    | 0,535 | 0,535 | 0,534 |
| P (kN)       | 28,99    | 35,12 | 30,4  | 27,37 |

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA VIII  
RESULTADOS MODULO DE ROTURA**

| MUESTRA      | 7%    |       | 10%   |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
|              | 1     | 2     | 1     | 2     |
| ANCHO        | 0,154 | 0,156 | 0,159 | 0,158 |
|              | 0,154 | 0,157 | 0,159 | 0,157 |
|              | 0,155 | 0,155 | 0,159 | 0,158 |
| ALTO         | 0,15  | 0,141 | 0,154 | 0,153 |
|              | 0,152 | 0,145 | 0,152 | 0,153 |
|              | 0,153 | 0,142 | 0,151 | 0,153 |
| L APOYOS INF | 0,48  | 0,48  | 0,48  | 0,48  |
| L APOYOS     | 0,15  | 0,15  | 0,15  | 0,15  |
| L VIGA       | 0,534 | 0,535 | 0,536 | 0,535 |
| P (kN)       | 25,6  | 20,32 | 25,16 | 21,88 |

Fuente: Elaboración propia.

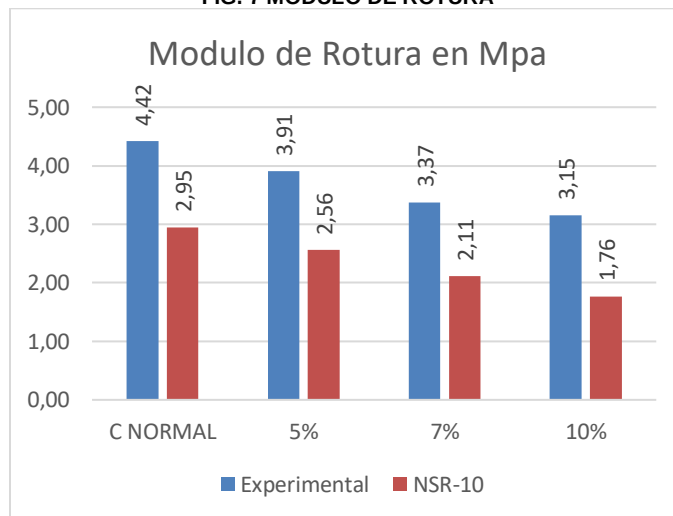
Como lo indica la NTC, el módulo de rotura se halló de manera experimental y teórica para determinar su cumplimiento mínimo con respecto a lo expuesto en la misma, como se expone a continuación:

**TABLA IX  
MODULO DE ROTURA**

| MODULO DE ROTURA |                     |                     |            |
|------------------|---------------------|---------------------|------------|
| TIPO DE MEZCLA   | Momento exp<br>kN.m | Experimental<br>Mpa | NSR-10 Mpa |
| NORMAL           | 2,64                | 4,42                | 2,95       |
| 5%               | 2,38                | 3,91                | 2,56       |
| 7%               | 1,89                | 3,37                | 2,11       |
| 10%              | 1,94                | 3,15                | 1,76       |

Fuente: Elaboración propia.

**FIG. 7 MODULO DE ROTURA**



Fuente: Elaboración propia.

#### 4. CONCLUSIONES

El concreto es el material principal para la construcción actual debido a sus propiedades características de versatilidad, durabilidad, resistencia y economía. Por las anteriores razones es necesario ofrecer productos comerciales que optimicen estas características de manera considerable para sustentar la necesidad usarlo en proyectos importantes sin alterar la economía de este de forma abrupta y enorme.

Este proyecto de investigación a través de su diseño de mezcla obtenido a través de los laboratorios ejecutados, ofrece resultados excelentes con respecto a su composición no alterada como su alta resistencia a la compresión presente en todas las edades del concreto analizadas, por otro lado, el diseño de mezcla con composición alterada, no ofrece una ventaja real debido a su baja resistencia a la compresión, su uso puede ser eficaz para la creación de una obra civil pero no eficiente en aspectos como la economía o las cargas que puedan hacer uso de la misma en su estado de servicio

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por permitirme lograr esta meta académica, a mis padres que me apoyaron en todo momento que siempre me animaron, que me aconsejaron y me enseñaron que cada día soy una mejor versión de mí, que todo tiene solución y que nada es lo suficientemente malo como para no buscar una solución, a mi hermano porque soy su mejor ejemplo a seguir en estos momentos para lograr alcanzar la meta de convertirse en un profesional.

A todos los docentes que hicieron parte de mi travesía académica y fueron un apoyo incondicional en todo momento para mi crecimiento personal y estudiantil. Un agradecimiento especial al Ing. Oscar Felipe Sáenz por depositar su confianza en mí y ser la guía intelectual para el desarrollo y culminación de este proyecto de investigación.

### **REFERENCIAS**

- [1] J. D. Osorio, «Diseño de mezclas de concreto: conceptos basicos,» Argos, Medellin, 2019.
- [2] D. S. F. Ramirez, «Construccion, pilar de la economia, el desarrollo urbano y el avance industrial.,» Federacion Interamericana de la Industria de la Construccion, Bogota, 2017.
- [3] M. Ceballos, «El concreto, material fundamental para la infraestructura,» Voz del experto, Ciudad de Mexico, 2016.
- [4] S. Lopez, Concreto estructural con agregado triturado de llantas usadas, Envigado: Universidad EIA, 2018.
- [5] V. Ghio y R. Bascuñan, «Innovacion tecnologica en la construccion ahora es cuando,» Pontificia Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2012.