



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE  
GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO  
MECÁNICO DEL HORMIGÓN TRADICIONAL VS.  
HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE CAUCHO RECICLADO.”**

**TUTOR:**

**ING. ALEX SALVATIERRA ESPINOZA, Mg.**

**AUTORES:**

**FRANCISCO FERNANDO LOOR CEVALLOS  
MARIO ANDRÉS ORDÓÑEZ LINO**

**GUAYAQUIL**

**2019**



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS</b>		
<b>TITULO Y SUBTITULO:</b> Análisis comparativo del comportamiento mecánico del hormigón tradicional vs hormigón con inclusión de caucho reciclado.		
<b>AUTOR/ES:</b> ORDOÑEZ LINO, MARIO ANDRÉS LOOR CEVALLOS, FRANCISCO FERNANDO	<b>REVISORES:</b> ING. ALEX SALVATIERRA ESPINOZA, MAE.	
<b>INSTITUCIÓN:</b> UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL	<b>FACULTAD:</b> FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	
<b>CARRERA:</b> Ingeniería Civil	<b>Grado obtenido:</b> Ingeniero civil	
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b> 2019	<b>N. DE PAGES:</b> 99	
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b> Arquitectura y construcción		
<b>PALABRAS CLAVE:</b> Hormigón; polímero; reciclaje de desechos; arena; piedra de construcción		
<b>RESUMEN:</b> Elaboración de probetas de hormigón tradicional y hormigón con inclusión de caucho para luego de realizar los ensayos de acuerdo a las normas determinar resistencias para el respectivo análisis comparativo.		
<b>N. DE REGISTRO (EN BASE DE DATOS):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (TESIS EN LA WEB):</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b> Francisco Fernando Loor Cevallos Mario Andrés Ordoñez Lino	<b>TELÉFONO:</b> 0991307520 0989855833	<b>E-MAIL:</b> <a href="mailto:floorc@ulvr.edu.ec">floorc@ulvr.edu.ec</a> <a href="mailto:mordonezl@ulvr.edu.ec">mordonezl@ulvr.edu.ec</a>
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	<b>NOMBRE:</b> Ing. Alex Salvatierra, Mg. DECANO	
	<b>TELÉFONO:</b> 2596500 Ext.241	
	<b>E-MAIL:</b> <a href="mailto:asalvatierrae@ulvr.edu.ec">asalvatierrae@ulvr.edu.ec</a>	

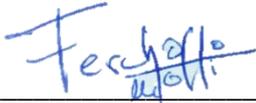
## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

Los/as estudiantes/egresados/as Francisco Fernando Loor Cevallos, Mario Andrés Ordóñez Lino, declaro (amos) bajo juramento, que la autoría del presente trabajo de investigación, corresponde totalmente a los/as suscritos/as y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos nuestros derechos patrimoniales y de titularidad a la UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, según lo establece la normativa vigente.

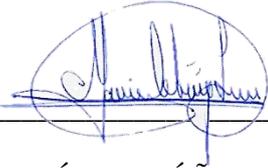
Este proyecto se ha ejecutado con el propósito de estudiar “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN TRADICIONAL VS. HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE CAUCHO RECICLADO”.

Autor(es)

Firma:  \_\_\_\_\_

FRANCISCO FERNANDO LOOR CEVALLOS

C.I. 0917020901

Firma:  \_\_\_\_\_

MARIO ANDRÉS ORDÓÑEZ LINO

C.I. 0927109124

## **CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor(a) del Proyecto de Investigación **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN TRADICIONAL VS. HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE CAUCHO RECICLADO**, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de **INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN** de la Universidad LAICA VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

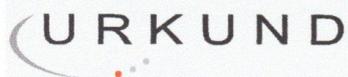
Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN TRADICIONAL VS. HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE CAUCHO RECICLADO”**, presentado por los estudiantes **FRANCISCO FERNANDO LOOR CEVALLOS, MARIO ANDRÉS ORDÓÑEZ LINO** como requisito previo, para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**, encontrándose apto para su sustentación.



Ing. Alex Salvatierra Espinoza, Mg.

C.I. # 0913059531

## CERTIFICADO DE SIMILITUDES



### Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis Ordoñez y Loor 24-01-19.docx (D47585702)  
Submitted: 2/4/2019 7:21:00 PM  
Submitted By: fernandolloor65@gmail.com  
Significance: 3 %

#### Sources included in the report:

LINDAO\_KENIA\_ROMERO\_ANA\_TITULACIÓN\_VÍAS\_COMUNICACIÓN\_AGOSTO\_2018.docx  
(D40848377)  
TESIS UG - ROBALINO CABRERA- LÓPEZ CHIPRE.docx (D31444665)  
<https://es.slideshare.net/JuanCh5/concreto-de-caucho>  
<https://www.ecologistasenaccion.org/?p=31369>  
<http://www.eumed.net/libros-gratis/2006c/203/2f.htm>  
<https://www.lifeder.com/investigacion-empirica/>  
<http://halosolar.mx/las-llantas-y-su-gran-impacto-ambiental/>

#### Instances where selected sources appear:

10

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Alex Salvatierra Espinoza".

Ing. Alex Salvatierra Espinoza, Mg.

C.I. # 0913059531

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque ha sido el gestor de cada paso que he dado en mi vida y sin él finalizar esta hermosa carrera no habría sido posible. A mis padres que han sabido guiarme y formarme como persona de bien, a mi hermano que fue quien me impulso a seguir su camino, a mi amada esposa por su apoyo y paciencia que fueron fundamentales para lograr la meta propuesta.

De la misma forma mis agradecimientos a cada uno de mis compañeros de aula y a los docentes de la carrera de ingeniería civil por compartirme sus conocimientos, principalmente a mi tutor el Ing. Alex Salvatierra Espinoza Mg., por su guía para la elaboración de este proyecto de investigación.



Francisco Fernando Loor Cevallos

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por todas las bendiciones recibidas y por guiarme a lo largo de mi carrera universitaria, a mis padres, a mis suegros, a mis jefes laborales por entender y brindarme apoyo en este proyecto de superación personal, y de manera especial a mi amada esposa por brindarme su apoyo y compañía incondicional, por su paciencia y por servir de motivación para conseguir mis logros.

Mis más profundos agradecimientos a los docentes de la Facultad de Industria y Construcción, Carrera de Ingeniería Civil, de manera especial a mi tutor de tesis el Ingeniero Alex Salvatierra Espinoza Mg., por haber compartido sus conocimientos y servido de guía importante en el desarrollo de la investigación.



Mario Andrés Ordóñez Lino

## DEDICATORIA

Dedico este logro con todo mi amor a las personas que formaron parte de este largo camino, mi esposa, mis hijos, mis padres y mis hermanos quienes han sido pilares fundamentales en cada una de las etapas de mi vida, cada uno de forma diferente ha aportado con mucho en mi formación personal, académica y profesional.

De igual manera a cada una de las personas que a lo largo de este camino me apoyaron y compartieron conocimientos conmigo, al mejor jefe que he tenido, que más que un jefe fue mi amigo, así también va dedicado a los que no creyeron en mí por el hecho de no poseer un título y se propusieron no dejarme trabajar, ellos también fueron de cierta forma un motor para poder llegar al final.



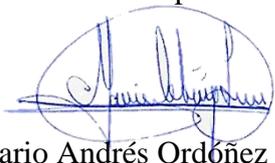
Francisco Fernando Loor Cevallos

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis tres padres, Dios, padre celestial que me da vida todos los días y pudo hacer posible que hoy coseche este gran logro; a mi Padre terrenal, que me brindó y me brinda siempre su apoyo incondicional, genuino y noble; y a mi madre, que desde lejos y desde niño supo instruirme, aconsejarme, y mantener derecho el objetivo de ser el mejor.

A mi familia en general, mis hermanas, mis sobrinos, que han sido mi alegría y apoyo durante mi vida.

A mi esposa, y mis futuros hijos que deseo y espero tener, con ayuda y bendición de Dios, me dé la sabiduría para criarlos y amor para formarlos.



Mario Andrés Ordóñez Lino

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES.....	iii
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR.....	iv
CERTIFICADO DE SIMILITUDES .....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo I.....	3
1.1. Tema .....	3
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Formulación del problema.....	4
1.4. Sistematización del problema.....	4
1.5. Objetivos de la investigación.....	4
1.5.1. Objetivo General .....	4
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Justificación de la Investigación.....	5
1.7. Delimitación o Alcance de la investigación.....	5
1.8. Hipótesis .....	6
1.8.1. Variable Independiente .....	6
1.8.2. Variable Dependiente.....	6
Capítulo II Marco Teórico.....	7
2.1. Marco referencial .....	7
2.2. Marco Conceptual.....	9
2.2.1. Caucho .....	9
2.2.2. Descomposición del caucho.....	12
2.2.3. Tipos de llantas en Guayaquil (pesados y livianos).....	12
2.2.4. Agregados .....	13
2.2.5. Ensayos establecidos en la investigación.....	14
2.2.6. Hormigón .....	15

2.2.7. Términos importantes .....	18
2.2.8. Métodos de curado del hormigón .....	22
2.3. Normativas .....	24
Capítulo III Marco Metodológico .....	29
3.1. Investigación experimental .....	29
3.2. Investigación Bibliográfica .....	29
3.3. Investigación de Laboratorio .....	30
Capítulo IV Análisis e interpretación de resultados .....	31
4.1. Propuesta.....	31
4.2. Recolección de datos .....	32
4.3. Ensayos realizados a los agregados y a las probetas .....	32
4.3.1. Ensayo granulométrico .....	32
4.3.2. Ensayo desgaste de los Ángeles.....	35
4.3.3. Diseño de hormigón .....	36
4.3.4. Asentamiento del hormigón .....	38
4.3.5. Ensayo de resistencia a la compresión .....	38
4.3.6. Ensayo de resistencia a la flexión .....	49
PÁRRAFO COMPARATIVO .....	60
CONCLUSIONES .....	66
RECOMENDACIONES .....	67
Bibliografía.....	68
Glosario de términos .....	87

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	<i>Principales polímeros de caucho</i>	10
Ilustración 2	<i>Granulometría de la arena</i>	13
Ilustración 3	<i>Granulometría de los agregados gruesos</i>	14
Ilustración 4	<i>Tipos de rotura</i>	19
Ilustración 5	<i>Grafica de curva granulométrica</i>	20
Ilustración 6	<i>Curva granulométrica del agregado fino</i>	33
Ilustración 7	<i>Curva granulométrica del agregado grueso</i>	34
Ilustración 8	<i>Curva de resistencia a la compresión durante 28 días - Hormigón tradicional</i>	40
Ilustración 9	<i>Curva de resistencia a la compresión durante 28 días – Inclusión de 5% caucho fino</i>	42
Ilustración 10	<i>Curva de resistencia a la compresión durante 28 días – Inclusión de 10% caucho fino</i>	44
Ilustración 11	<i>Curva de resistencia a la compresión durante 28 días – Inclusión de 5% caucho grueso</i>	46
Ilustración 12	<i>Curva de resistencia a la compresión a los 28 días – Inclusión de 10% caucho grueso</i>	48
Ilustración 13	<i>Curva de resistencia a la flexión – Hormigón sin inclusión de caucho</i>	51
Ilustración 14	<i>Curva de resistencia a la flexión – Inclusión de 5% caucho fino</i>	53
Ilustración 15	<i>Curva de resistencia a la flexión – Inclusión de 10% caucho fino</i>	55
Ilustración 16	<i>Curva de resistencia a la flexión – Inclusión de 5% caucho fino</i>	57
Ilustración 17	<i>Curva de resistencia a la flexión – Inclusión de 10% caucho grueso</i>	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Tabla de especificaciones</i>	20
Tabla 2	<i>Tabla de ensayo granulométrico del agregado fino</i>	33
Tabla 3	<i>Tabla de ensayo granulométrico del agregado grueso</i>	34
Tabla 4	<i>Tabla de ensayo a la abrasión del caucho - agregado grueso</i>	35
Tabla 5	<i>Tabla de resultados de ensayos a la compresión – Hormigón tradicional</i>	39
Tabla 6	<i>Tabla de resultados de ensayos a la compresión – Inclusión de 5% caucho fino</i>	41
Tabla 7	<i>Tabla de resultados de ensayos a la compresión – Inclusión de 10% caucho fino</i>	43
Tabla 8	<i>Tabla de resultados de ensayos a la compresión – Inclusión de 5% caucho grueso</i>	45
Tabla 9	<i>Tabla de resultados de ensayos a la compresión – Inclusión de 10% caucho grueso</i>	47
Tabla 10	<i>Tabla de resultados de ensayos a la flexión – Hormigón tradicional</i>	50
Tabla 11		52
Tabla 12	<i>Tabla de resultados de ensayos a la flexión – Inclusión de 10% caucho fino</i>	54
Tabla 13	<i>Tabla de resultados de ensayos a la flexión – Inclusión de 5% caucho grueso</i>	56
Tabla 14	<i>Tabla de resultados de ensayos a la flexión – Inclusión de 10% caucho grueso</i>	58
Tabla 15	<i>Tabla de análisis de precios unitarios – hormigón tradicional</i>	61
Tabla 16	<i>Tabla de análisis de precios unitarios – Hormigón con inclusión de 5% de caucho fino</i>	62
Tabla 17	<i>Tabla de análisis de precios unitarios – Hormigón con inclusión de 10% de caucho</i>	

<i>fino</i> .....	63
Tabla 18 <i>Tabla de análisis de precios unitarios – Hormigón con inclusión de 5% de caucho grueso</i> .....	64
Tabla 19 <i>Tabla de análisis de precios unitarios – Hormigón con inclusión de 10% de caucho grueso</i> .....	65
Tabla 20 <i>Tabla de análisis comparativo de precios unitarios - Resumen</i> .....	65

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Diseño de hormigón y elaboración de mezcla.....	71
Anexo 2 Prueba de asentamiento del concreto.....	73
Anexo 3 Elaboración de vigas y cilindros para posteriores pruebas.....	74
Anexo 4 Prueba 1 hormigón tradicional, realización de ensayos a compresión a cilindros ....	76
Anexo 5 Prueba 1 hormigón tradicional, realización de ensayo a tracción a viga.....	81
Anexo 6 Caucho reciclado corte manual.....	86

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, existen varias formas de reutilización del caucho de neumático y una diversidad de aplicaciones en el campo de la construcción y la arquitectura. La continua búsqueda de importantes y eficientes soluciones enfocadas al porvenir del medio ambiente, hacen que se lleven a cabo investigaciones y poder atacar las situaciones contaminantes reutilizando en lo mayor posible los elementos que tienen una mala disposición final, mitigando o eliminando por completo su impacto negativo. De no realizarse esta gestión pro-ecosistema, los efectos negativos ponen en riesgo la calidad de vida de las personas e incluso afectando a la biodiversidad del país, sea a corto o largo plazo.

En nuestra ciudad, el reciclaje se enfoca primordialmente en el cartón, plástico, y metal; pero se lo ejecuta más por necesidad económica que por cultura. Sin embargo, el reciclaje de caucho de neumático fuera de uso, ha sido acogido por empresas grandes que han iniciado la concientización del desperdicio del caucho en neumáticos, procesándolos y dándoles una segunda vida útil, reactivando de una manera efectiva un sector económico innovador y ecoamigable con el medio ambiente.

El caucho es un material impermeable, resistente y elástico, con propiedades mecánicas que resistente el impacto, la flexión, compresión, tracción y es un excelente aislante térmico y acústico; reuniendo así características que lo convierten en materia prima idónea para implementarlo en innovadores procesos constructivos, como es el caso de agregado fino y grueso en el hormigón, que es nuestro objeto de estudio.

El presente trabajo de titulación tiene el fin de realizar una investigación experimental, para comparar el comportamiento mecánico de un hormigón con caucho, con uno tradicional, de forma que se pretende encontrar un método de reciclaje efectivo para obtener la materia prima, y procesarla como si fuese un agregado pétreo, dándole la granulometría adecuada según la norma ASTM.

Se recopiló información de trabajos de titulación e investigaciones de varios autores, para identificar las propiedades del caucho, conocer sus reacciones con el hormigón, assimilarlas y poder ejecutar una investigación con buenos resultados.

Por consiguiente, este trabajo de investigación está conformado de los siguientes capítulos, con sus detalles a continuación:

En el Capítulo I, se desarrolla el planteamiento del problema basado en el caucho como neumático y la explotación de agregados pétreos. Complementándose mediante la formulación del problema, los objetivos de la investigación, justificación, delimitación del problema y la hipótesis donde se indica la obtención de los agregados a base de caucho.

En el Capítulo II, se trata del marco teórico, el cual acoge la información relacionada al caucho como material, sus propiedades y su comportamiento como agregado dentro del hormigón; así también se hace la búsqueda de información para entender mejor el problema.

De igual manera se recopila información sobre los agregados, los ensayos utilizados en la investigación e información general del hormigón. Finalmente en el marco legal se sustenta la investigación mediante normas ASTM, de índole internacional.

En el Capítulo III, se lleva a cabo la metodología de la investigación que se implementa, los recursos o herramientas investigativas que se necesitan para el desarrollo de este tema, y la documentación del proceso de observación con respecto a los ensayos ejecutados y sus variantes.

Por último, en el Capítulo IV, se describe el ensayo experimental que pone a prueba la capacidad de resistencia del hormigón con inclusión de caucho, mediante probetas elaboradas y ensayados en el laboratorio de la compañía CONSEES CIA. LTDA., realizando el moldeo de cilindros y vigas con hormigón tradicional y con inclusión de caucho. Se realiza la propuesta sobre un proceso de reciclaje y trituración de caucho reciclado, para utilizarlos como reemplazo de agregados en el hormigón, analizando y delimitando en que procesos constructivos sería efectiva la implementación del hormigón a base de partículas de caucho; finalizando con nuestras conclusiones de acuerdo a los resultados y realizando las correspondientes recomendaciones.

## Capítulo I

### 1.1. Tema

“Análisis comparativo del comportamiento mecánico del hormigón tradicional vs hormigón con inclusión de caucho reciclado.”

### 1.2. Planteamiento del problema

En el mundo se conoce que las contaminaciones de diversos productos desechados irresponsablemente están acabando con la calidad ambiental del planeta, muchos de estos productos aparte de ser contaminantes al desecharse, también producen contaminación en el proceso de elaboración, debido a esto es necesario aplicar distintos métodos que contribuyan a la reducción de los efectos contaminantes generados al cumplir su vida útil, para este caso en particular se usará los neumáticos (caucho).

El área de la ingeniería civil posee dentro de sus extensas aplicaciones una variedad de elementos constructivos, siendo el hormigón uno de los más utilizados e incluso más funcionales, para lograr esto se necesita utilizar en conjuntos materiales que forman parte de la composición como lo son el agua, el cemento, el agregado grueso o piedra picada y el agregado fino o arena, estos dos últimos materiales son obtenidos de recursos naturales como canteras que se originan de formaciones rocosas y del río, para la retención de material proveniente del río es necesario aplicar un dragado correcto del mismo, este tipo de obtención tiene que realizarse con el procedimiento adecuado o de lo contrario crea daños colaterales a la naturaleza, en especial al suelo y al agua, ya que son los recursos más inmediatos en uso.

Por otra parte, la problemática de los neumáticos desechados es otra situación preocupante que se desea manejar cuando ya el mismo haya culminado su vida útil, el impacto que este tipo de desecho tiene en la contaminación es grande, considerando además ser un factor importante en los periodos de invierno, al servir como envases donde el agua se deposita creando un ambiente preciso para los insectos portadores de enfermedades.

A lo largo de los años, la deforestación y la extracción de agregados naturales de los lechos de los ríos, lagos, canteras y otras masas de agua han provocado enormes problemas medioambientales, por ende, para prevenir la contaminación, las autoridades aplican restricciones cada vez más estrictas sobre la extracción de áridos naturales y su trituración. En consecuencia, la reducción de desechos y el reciclaje son elementos muy importantes en un marco de gestión de residuos, porque ayudan a conservar los recursos naturales y a reducir la demanda de un valioso espacio en los vertederos.

El caucho usado es uno de los desechos más importantes que ha sido de gran preocupación en el mundo.

Respecto a este orden y en pro de la contribución al reciclaje se plantea realizar un análisis comparativo del comportamiento mecánico del hormigón tradicional vs el hormigón con inclusión de caucho reciclado, para de este modo conocer cómo actúa este desecho se aplicará ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión manejando un porcentaje de 5% y 10% de inclusión de caucho, en dos presentaciones tanto fino como grueso sustituyendo así la arena o la piedra picada, adicional a lo ya mencionado también se realizará el respectivo ensayo granulométrico y de desgaste por abrasión de los Ángeles, todo esto para un diseño de hormigón con resistencia de 280kg/cm<sup>2</sup>.

### **1.3. Formulación del problema**

¿De qué manera afectaría la inclusión de caucho reciclado como parte del agregado del hormigón?

### **1.4. Sistematización del problema**

¿Cuáles son los criterios para la utilización del hormigón a base de agregados como el caucho en las construcciones del Ecuador?

¿Cuáles son los posibles usos de cada tipo de hormigón de acuerdo a sus características especiales por la adición de caucho?

¿Cuáles son las posibles soluciones que se podrían proponer para disminuir porcentualmente el uso de los agregados utilizados para la elaboración de hormigón en la ciudad de Guayaquil?

### **1.5. Objetivos de la investigación**

#### **1.5.1. Objetivo General**

Analizar las características mecánicas a compresión y flexión del hormigón tradicional frente al hormigón con la inclusión del caucho reciclado.

#### **1.5.2. Objetivos Específicos**

1.- Analizar los criterios para la utilización del hormigón a base de agregados de caucho en las construcciones del Ecuador.

2.- Proponer medidas para disminuir porcentualmente el uso de los agregados utilizados para la elaboración de hormigón en la ciudad de Guayaquil.

3.- Delimitar los posibles usos de cada tipo de hormigón de acuerdo a sus características especiales por la adición de caucho.

## **1.6. Justificación de la Investigación**

Se tiene la expectativa de que al incluir partículas de caucho como parte del agregado que conforma el hormigón, éste elemento se comporte a la altura de un hormigón convencional con resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

De acuerdo a los resultados que arrojen los ensayos, se analizará en que elemento constructivo es aplicable la investigación, reemplazando así con partículas de caucho, los agregados pétreos que son extraídos indiscriminadamente de la naturaleza, y mitigando la desaparición de las formaciones rocosas existentes en la zona.

Es de gran importancia obtener resultados favorables en la investigación, ya que de esa manera se ayudaría a disminuir porcentualmente la explotación de cerros y montañas, procurando extender su existencia.

El impacto ambiental sería eminente, ya que de alguna manera se lograría reutilizar material contaminante que es el caucho, implementándolo como material de construcción, eliminando la contaminación que produce al ser desechados irresponsablemente, y ayudando a reducir el uso de agregados pétreos extraídos de lechos naturales. Así también se estaría desarrollando un interés en la sociedad por el reciclaje, y simultáneamente surgiendo un nuevo mercado de procesamiento de caucho reciclado como material de construcción.

El beneficio de esta investigación, sería tanto para el medio ambiente, como para la sociedad, y de igual manera para el sector socio-económico ya que se generarían nuevas plazas de empleo basadas en el principio del reciclaje de neumáticos fuera de uso.

## **1.7. Delimitación o Alcance de la investigación.**

**Campo:** Educación Superior Pregrado

**Área:** Ingeniería Civil

**Aspecto:** Investigación experimental

**Tema:** “Análisis comparativo del comportamiento mecánico del hormigón tradicional vs. hormigón con inclusión de caucho reciclado.”

**Delimitación espacial:** Guayaquil - Ecuador

**Delimitación temporal:** 180 días

## **1.8.Hipótesis**

Las características mecánicas a compresión y flexión del hormigón a base de agregados de cauchos reciclados serán mejores que los del hormigón tradicional.

### **1.8.1. Variable Independiente**

Hormigón a base de agregados de caucho reciclado.

### **1.8.2. Variable Dependiente**

Aumento del porcentaje de agregados en el hormigón.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### 2.1. Marco referencial

En el presente trabajo de titulación se hará mención a diferentes estudios, tesis y artículos que mantengan relación con dicho proyecto sobre la inclusión de caucho en el hormigón y de ese modo compararlo con el hormigón tradicional, conforme a esto se tiene que de acuerdo a Arribas Ugarte (2015) indica lo siguiente:

El principal uso de los neumáticos que se desechan de nuestros vehículos es el de servir como combustible en fábricas de cemento. Esto, aunque favorece a la industria del cemento y a la de la incineración, ocasiona graves problemas de contaminación. Sin embargo, hay una gran cantidad de usos posibles de estos neumáticos alrededor del reciclaje y reutilización (recauchutado, uso en firmes de carreteras, etc.) que son mucho más razonables y con mejor perfil ambiental ( párr. 1).

Según lo ya planteado por el autor se conoce que la contaminación a la que este desecho contribuye es mucho más grande, por su composición química y los cambios que ha sufrido con el paso del tiempo para mejorar la tecnología de estos, por ser diseñados para automóviles que cumplan las distintas funciones específicas, teniendo presente que se emplea para usarse sobre distintas superficies. En el ambiente existe una liberación en toneladas de dióxido de carbono, lo que sin duda crea un alto índice de rayos ultravioleta. Es así como lo expresa Gómez (2017) al decir "...liberan las moléculas de CO<sup>2</sup> que rebotan la luz y el calor en todas direcciones impidiendo que las radiaciones solares escapen de la atmósfera al espacio, en un fenómeno conocido como Efecto Invernadero y que es el principal factor causante del calentamiento global. Al combinarse con otros factores, como el exceso de asfalto y concreto en el tejido urbano de grandes ciudades..." ( párr. 14). Las investigaciones han demostrado que los neumáticos de caucho desechados contienen en su estructura, moléculas que no permiten la descomposición en condiciones ambientales normales, causando así problemas graves.

Por otro lado, es muy difícil administrar los desechos producidos por la industria de neumáticos de caucho y manejar los mismos, ya que no es un residuo fácilmente biodegradable, ni siquiera en un largo periodo de tiempo. La opción que más se ha usado con los años para eliminar este tipo de desecho es la quema del caucho, que si bien incinerado desaparece físicamente, igual produce otro tipo de contaminación como la atmosférica, en base a estos problemas se idea la implementación del caucho como un agregado más para el hormigón, es así como Albano, Camacho, Hernández, Bravo, & Guevara (2018), menciona lo

siguiente: “La inclusión de caucho en el hormigón resulta en mayor durabilidad y elasticidad, lo cual da lugar a su utilización en importantes áreas: como absorbedor de impacto en construcción de elementos viales y de sonido en barreras sónicas, y también en edificaciones sísmo resistentes, etc.” (pág. 2)

Los autores Albano, Camacho, Hernández, Bravo, & Guevara (2018), Caracas, en su investigación sobre “Estudio de concreto elaborado con caucho reciclado de diferentes tamaños de partículas”, muestra que la aplicación de estudios de resistencia a la compresión y tracción con materiales para la composición de 5% respecto al peso con diferentes tamaño de partículas de acuerdo a la caracterización de grueso y fino, siendo el primero de una medida  $\geq 1,19\text{mm}$  y el segundo  $< 1,19\text{mm}$ , para el cual al presentar la edad de 28 días se tiene que la inclusión de caucho fino presenta disminución considerable a las propiedades mecánicas, a diferencia del 5% de caucho grueso que resulto en las pruebas con ninguna variación respecto a las propiedades mecánicas, además de tener una conducta bastante igual al módulo de elasticidad y de impedancia acústica.

Para Peñaloza Garzón (2015), Bogotá, en su trabajo de titulación “Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural”, allí se pudo observar que el concreto con la inclusión de 10% de caucho reciclado o GCR presento a los 7 días de edad mayor resistencia que cualquier otra, para los 14 días de edad, finalizando a los 28 días de edad con una resistencia considerable y positiva, comportandose al mismo nivel que una tradicional, solo con un 3% de resistencia debajo de la convencional, lo que concluye que esta mezcla con la sustitución del 10% del agregado fino puede ser sustituida ya que reacciona bien a la comprensión requerida, en vista que el diseño de hormigón se basaba en un resistencia de 21MPa.

En este orden de ideas se toma en consideración la tesis de maestría realizada por Torres Ospina (2014), Bogotá, titulado “Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho”, es en este estudio donde se puede observar que se utilizo como agregado fino la sustitucion de grano de caucho, en este estudio se emplearon cuatro mezclas diferentes, la primera muestra no posee inclusión de caucho, la segunda posee un reemplazo de 10% del agregado fino por la misma de caucho, la tercera muestra fue reemplazada con un 20% del gregado fino y la cuarta con reemplazo de 30%, en este tipo de muestra se tomo en consideración el estudio de propiedades mecánicas como lo son: resistencia a la compresión y a la flexión, al igual de esto se tomo en consideración ensayos de durabilidad, estos ensayos son: penetración de cloruros, cabonatación, absorción y

propiedades eléctricas como resistividad e impedancia, a todas las pruebas se le hizo la evaluación en edades de 28 y 90 días, excepto el ensayo de resistencia a la compresión, el cual se hizo para 3, 7, 28 y 90 días.

Terminado esto y con los resultados arrojados se constató que en las pruebas de resistencia a la compresión y flexión hubo una disminución para las muestras con adición de caucho, para ensayo de cloruro con las muestras de adición de caucho que contenían entre 20% y 30% presentaron un aumento, a diferencia del 10% que presentó disminución al compararse con la muestra que no posee caucho.

Por otro lado según Eraso & Ramos (2015), Cali, titulado “Estudio del comportamiento mecánico del hormigón, sustituyendo parcialmente el agregado fino por caucho molido recubierto con polvo calcáreo”, en este estudio se incorporó el caucho molido tratado y no tratado con el polvo calcáreo en las mezclas de hormigón, para esto será necesario llevar a ensayos bajo normas NTC, de ese modo se le tomó a consideración un diseño de 15MPa como resistencia objetivo para hormigones de uso no estructural, al finalizar los respectivos ensayos se obtuvo que el hormigón que contenía caucho molido en volúmenes de 5% y 10% en reemplazo de agregado fino sí puede ser empleado para la elaboración de hormigón de uso no estructural.

## **2.2. Marco Conceptual**

### **2.2.1. Caucho**

Denominado como polímero sea de origen natural o sintético, con una composición química de forma orgánica o inorgánica de acuerdo al carbono que posea, este posee diferentes tipos que son de uso comercial, a continuación, se presenta datos que permiten conocer los principales polímeros de caucho.

Caucho natural	→	Usos generales; no resistente al aceite, se hincha con los disolventes; no resistente al oxígeno, ozono y luz UV.
Polisopreno (IR)	→	Usos generales; caucho natural sintético, propiedades similares
Estireno-butadieno (SBR)	→	Usos generales; sustituyó al caucho natural durante la segunda Guerra Mundial; baja resistencia al aceite y disolventes.
Polibutadieno (BR)	→	Baja resistencia al aceite y disolventes; no resistente a la intemperie, alta resiliencia, resistencia a la abrasión y flexibilidad a baja temperatura.
Butilo (IIR)	→	Baja permeabilidad al gas; resistente a calor, ácidos y líquidos polares; no resistente al aceite y disolventes; resistencia moderada a la intemperie
Etilenpropileno/ Etilenpropilendieno	→	Flexibilidad a baja temperatura; resistente a la intemperie y al calor pero no al aceite, o a los disolventes; excelentes propiedades eléctricas
Policloropreno (CR) (neopreno)	→	Resistente al aceite, llamas, calor e intemperie

Ilustración 1  
Principales polímeros de caucho  
Fuente: Slideshare

Las propiedades físicas del caucho son diversas, es importante aclarar que estas varían con la temperatura, a continuación se describen:

- En baja temperatura se endurece, al congelarse en estado de extensión su estructura se vuelve fibrosa.
- Si se calienta por temperatura mayor a 100 °C se puede ablandar y debido a esto sufrir alteraciones de forma permanente
- El caucho bruto toma deformación permanente debido a su naturaleza plástica.
- La plasticidad del caucho varía según el árbol, sin embargo esta se puede modificar por medio de productos químicos.

Nace de semillas plantadas en bolsas que se riegan de 2 a 3 veces al día, en tres semanas el árbol alcanza una altura de 20 a 30 metros. Es el más productivo y el que concentra casi la totalidad de la producción del caucho natural del mundo, pero lo cierto es que otras plantaciones también se usaron para obtenerlo y en la actualidad son objetos de estudios para diversificar la producción.

Según (Müller, 1994), es el árbol *hevea brasiliensis* es plantada principalmente para producir caucho, crece en zonas con precipitación anual, se adapta a un máximo de cuatro meses de estación seca, se ajusta en suelos arcillosos con PH de ácido a neutro y requiere de buen drenaje y suelos profundos para su desarrollo (Cenicaucho, Garcia Garcia Romero, Romero, & Peraza, 2013).

El árbol *hevea brasiliensis* llamado comúnmente el árbol que llora tiene la palabra con la que se designa el género "Hevea" en el nombre nativo con el que se conocía en la Guayana Francesa, es originario de la cuenca hidrográfica del río Amazonas, en los territorios de Brasil, Bolivia, Perú y Colombia, fue llevado al Asia donde logró gran aceptación y mejor comportamiento que en su lugar de origen, debido principalmente a que en ésta región se encuentra libre la incidencia del mal suramericano de las hojas, la enfermedad principal del caucho, el hongo *Microcyclus ulei*.

Esta enfermedad produce la pérdida total del follaje en los árboles, con las defoliaciones sucesivas éste fenómeno va descendiendo, lo que reduce la producción del látex (Beliczky, Fajen, & Echt, 2015).

Se tienden a asociar el caucho con los neumáticos porque es su aplicación principal, pero en la naturaleza, el caucho no es negro, éste consiste de un líquido lechoso que fluye de ciertos árboles y aunque también corre, no lo hace por las carreteras sino por la sabia de cientos de especie de plantas distintas. El sangrado de los árboles del caucho comienza entre el quinto y séptimo año después de la plantación y se prolonga durante 25 o 30 años. Se efectúa practicando una incisión en la corteza con un cuchillo especial y atravesando los canales resiníferos, normalmente sin dañar el cambium.

La secreción se recoge en vasos colgados del árbol y se transfiere a cubos que se transportan a las estaciones de procesamiento, por lo general se añade amoníaco como conservante. El amoníaco rompe las partículas del caucho y produce un producto que forman dos fases con un 30 y 40% de parte sólida, este producto se concentra hasta obtener un 60% de parte sólida obteniéndose así un concentrado de látex amoniacal con 1.6% en amoníaco en peso (Beliczky, Fajen, & Echt, 2015) (Beliczky & Fajen, 1991).

El diámetro para un árbol de caucho no debe ser menor de 15 centímetros, se mide la altura del pecho, aproximadamente a 1.30 metros de altura. El diámetro se debe medir con una forcípula, en caso de no tenerla se puede medir la circunferencia con una cinta métrica, y para poder sangrarlo debe tener por lo menos 47 centímetros de diámetro. Transcurridos 30 años, la disminución de la producción del látex hace que el sangrado de los árboles resulte antieconómico, en ese momento se talan los árboles y se sustituyen por nuevas plántulas. El diámetro de la altura del pecho (DAP) puede alcanzar unos 30cms. Los árboles jóvenes tienen una suave corteza de color marrón - verdoso, las partes 24 del tronco constantemente pueden convertirse con el paso del tiempo en una corteza manchada de látex (Killmann & Hong, 2000) (Fernández Rodríguez, 2014).

### **2.2.2. Descomposición del caucho**

La composición del látex varía en las distintas partes del árbol, la cantidad de goma que se extrae de cada corte suele ser de unos 30 mililitros; generalmente del hidrocarburo se consigue por procesos de la secreción de los árboles en la zona tropical, cuando el fluido se caliente o se le añade ácido acético, los hidrocarburos en suspensión empiezan a coagularse haciendo posible su extracción y separación del resto de líquido. (Angeles, 2011) (Camacho-TámaraI, Reyes-Pineda, & Lozano-Bohórquez, 2014).

Se plantan unos 250 árboles por hectáreas y la cosecha anual de caucho bruto en seco suele ser de 450 kilogramos por hectáreas; la secreción extraída se tamiza, se diluye en agua, se trata con ácido para que las partículas en suspensión del caucho se aglutinen; se prensa con unos rodillos para darle forma de capas con un espesor de 0.6 centímetros, secándose al aire o con humo para su distribución (Castro, 2008). (Naranjo Osorio, 2013).

El látex contiene: Hidrocarburo 30% – 36% ; Cenizas 0.30% - 0.70% ; Proteínas 1% - 2% Resina 2% y Quebrachitol 0.5%.

### **2.2.3. Tipos de llantas en Guayaquil (pesados y livianos)**

Existen varios tipos de neumáticos según las inclemencias del tiempo que se puedan encontrar en la zona de Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE, s.f.). En Guayaquil se generan dos estaciones climáticas debido a su ubicación cercana a la línea ecuatorial, las llantas apropiadas para los vehículos locales deben resistir a un factor de mal tiempo (las lluvias).

Para el tránsito en la provincia del Guayas y su capital Guayaquil, es necesario esta tipología de neumáticos desde el punto de vista general, entre ellos tenemos:

- Neumáticos para autopista
- Neumáticos all season
- Neumáticos de alto desempeño

#### 2.2.4. Agregados

Se denomina como materiales minerales granulares, derivados de los sedimentos que se hallan en la naturaleza, quienes se transforman o sufren modificaciones para ser implementadas en diferentes casos, el uso más común de estos se da en bases, sub-bases y conformación de morteros e incluso las mezclas de hormigón. La clasificación de estos agregados se divide en finos y gruesos, siendo los finos compuestos por arenas y los gruesos por piedras o grava de diferentes tamaños.

##### Clasificación por tamaño de partícula

**Agregado fino:** pertenecen a este, el agregado pasante de la malla N° 4, con un rango de 0.75 mm – 4.5 mm.

**Agregado grueso:** forma parte de este el agregado con diámetro mayor a 4.75 mm.

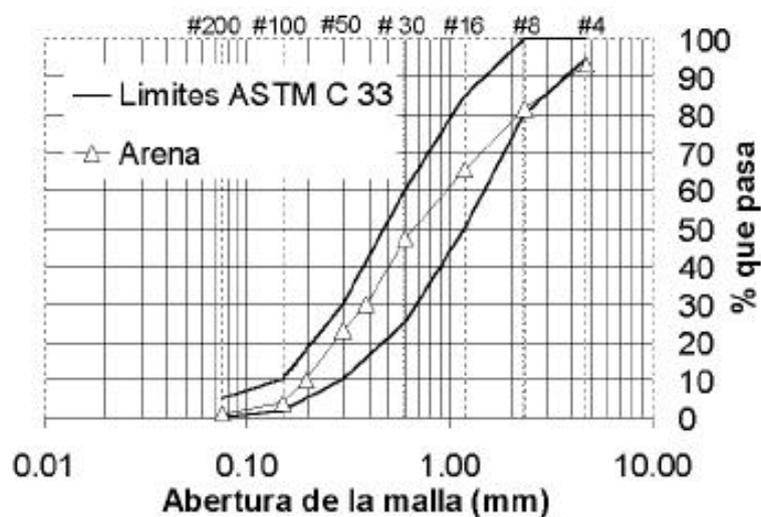


Ilustración 2  
 Granulometría de la arena  
 Fuente: scielo

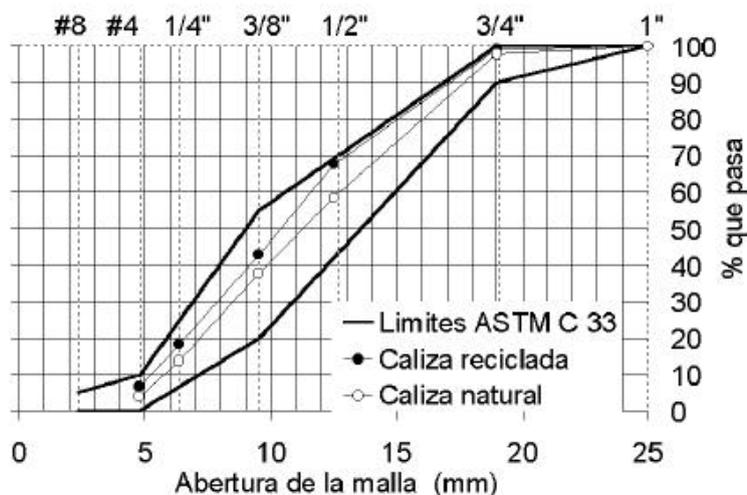


Ilustración 3  
*Granulometría de los agregados gruesos*  
 Fuente: scielo

### Clasificación por modo de fragmentación

**Naturales:** son los que ocurren por medio de procesos naturales como la erosión.

**Manufacturados:** son los agregados triturados, formados por procesos artificiales o conocidas como mecánicas, entre estos existe los mixtos los cuales combinan los materiales fragmentados por procesos naturales y artificiales.

#### 2.2.5. Ensayos establecidos en la investigación

**Ensayo de resistencia a la compresión ASTM C39:** ensayo que se aplica a muestras que se han obtenido del hormigón asignado a obra, el objetivo primordial es conocer la resistencia a la compresión del hormigón, es allí donde se puede establecer cuáles son las propiedades mecánicas y también de durabilidad del diseño de la estructura, su procedimiento consiste en ubicar un cilindro de hormigón en la máquina de ensayos y aplicando la carga de fase en fase, aumentando poco a poco hasta que la muestra logre la ruptura, según las especificaciones técnicas de la máquina se debe tener un rango de carga, para las maquinas hidráulicas debe ser de 0.15 a 0.35MPa/s, para finalizar, al obtener la ruptura se calcula la capacidad de resistencia del hormigón y esto se halla por medio de la división de la carga máxima soportada del cilindro entre el área promedio del mismo. Adicionalmente a esto es importante conocer el factor de corrección, estas se encuentran establecidas en esta norma, es importante acotar que este ensayo se aplica para al menos 2 o tres probetas.

**Ensayo de resistencia a la flexión ASTM C78:** se realiza según la norma para observar las propiedades del material a estudiar cuando es sometido a tensión, así lo indica Casas, Corredor, & Gutierrez (2016) cuando expresan que este ensayo se fundamenta en la aplicación de la fuerza en el centro de la muestra que esta sujeta en ambos extremos, lo que permite conocer la resistencia del material de acuerdo a la carga. El procedimiento consiste en ubicar una probeta tomada del mismo material sobre dos cuchillas o planchas, simulando una viga simple y aplicando la carga en el medio, incrementando la carga de manera creciente al punto en que la probeta presente ruptura y de ese modo conocer el módulo de elasticidad y de ruptura.

**Ensayo de desgaste de los Ángeles ASTM C535:** este ensayo se aplica para determinar la resistencia al desgaste, por medio de la trituración de los agregados pétreos que se utilizarán, este ensayo se basa en introducir dicho agregado dentro de un tambor junto con esferas por vueltas especificadas, luego de esto para conocer su desgaste.

**Ensayo de granulometría ASTM C136-06:** este ensayo se aplica a los agregados finos y grueso, con el fin de determinar de manera cuantitativa el tamaño del agregado, este ensayo se realiza por medio de tamices, la función de estos es conocer de forma clara el porcentaje de retención que corresponde a cada tamiz, estos deben de contemplar las especificaciones por la A.S.T.M., terminado el tamizado se procede a sumar los porcentajes de material retenido acumulado y se divide la totalidad de la suma entre 100, de ese modo se determina el módulo de finura del agregado.

#### **2.2.6. Hormigón**

Se le denomina así a la mezcla de agregados finos y gruesos con cemento y agua, que se emplea para la construcción, este compuesto posee características importantes, como lo es la dureza y resistencia, este puede estar reforzado de barras de hierro o acero y de ese modo denominarse como hormigón armado, lo que hace a los elementos estructurales más adecuados para las distintas cargas a las que son sometidas. Este compuesto posee propiedades que traen consigo ventajas, estas mismas varían según su estado físico.

#### **Diseños de hormigón**

En la ingeniería existen varios tipos de diseño de hormigón, estas se emplean según los requerimientos de acuerdo a las edificaciones, el diseño de hormigón toma en cuenta la relación agua/cemento y por ende la resistencia a la compresión y a la tracción. Los diseños más comunes a utilizar son:  $140\text{kg/cm}^2$ ,  $210\text{kg/cm}^2$ ,  $280\text{kg/cm}^2$ ,  $350\text{kg/cm}^2$  y  $420\text{kg/cm}^2$ . Es importante saber que esta resistencia se obtiene a los 28 días de fraguado. Para esta

investigación se realizaron ensayos a probetas con diseño de 280kg/cm<sup>2</sup>, tomando en consideración que se aplicó a hormigón convencional y a hormigón con inclusión de caucho.

### **Características del hormigón convencional**

**Resistencia y durabilidad:** capacidad que tiene este elemento artificial para resistir las acciones del ambiente, sean estos ataques físicos, químicos, biológicos o algún método que induzca a su deterioro.

**Versatilidad:** este elemento resulta de gran provecho ya que debido a sus propiedades físicas que le permiten trabajar a compresión y flexión, su durabilidad y mediante el uso de encofrados se lo puede moldear acorde a la necesidad de la estructura a construir.

**Bajo mantenimiento:** no resulta de gran mantenimiento por ser un material inerte, poroso y también compacto, además de no perder las propiedades.

**Asequibilidad:** es un material de los más asequibles, ya que su costo no es tan elevado, al ser comparado con el acero.

**Resistencia al fuego:** este tipo de material por ser inerte posee resistencia al fuego, lo que es un indicativo para utilizarlo en construcciones de protección antiincendios.

**Masa térmica:** tiene la ventaja de ser un aislante o actuar como barrera de paso al calor, lo que indica que para la temporada de verano es acertado.

**Producción y utilización local:** debido al peso de este elemento al estar endurecido dificulta su transportación, lo que limita un poco las distancias de donde se realizará la construcción y del lugar del cual se produce y se obtiene el material.

**Efecto albedo:** este consiste en la cantidad de luz que refleje el hormigón, ya que entre más luz refleje menos calor absorbe.

### **Propiedades del hormigón fresco**

Este tipo de hormigón se produce de forma inmediata luego de la mezcla de los materiales correspondientes, desde el inicio en que la mezcla se lleva a cabo, esta desencadena reacciones químicas que se mantienen hasta el momento en que se endurece, estas propiedades son las siguientes:

- **Consistencia:** se denomina como la capacidad que tiene el hormigón para sufrir deformación, este se mide de acuerdo al descenso en centímetros al realizar el cono de Abrams.
- **Docilidad:** calificado como la trabajabilidad que posee el hormigón en su estado fresco, es la capacidad que tiene de ser colocada en el lugar propuesto mediante la

compactación, esta se mide por el ensayo del cono de Abrams y se lee por medio del descenso de centímetros al realizar dicho ensayo.

- **Homogeneidad:** cualidad que define por una distribución proporcional de los materiales, esta es medida por medio de la masa específica de porciones de hormigón fresco que se encuentra separada entre sí.
- **Masa específica:** esta se encuentra relacionada por la masa del hormigón fresco y el volumen que ocupa, esta se puede medir compactado y sin compactar, esta se puede medir por kg/m<sup>3</sup>.
- **Tiempo abierto:** es el tiempo que ocurre entre el amasado del hormigón y el inicio del fraguado, siendo este periodo de tiempo el que permite manejar sus propiedades, sin interferir en sus características.

### **Propiedades del hormigón endurecido**

Las propiedades que adquiere al endurecer ocurre al finalizar su proceso de fraguado, como se conoce en el área de la construcción, las propiedades que adquiere son las siguientes:

- **Densidad:** ocurre de la relación masa – volumen, en hormigones donde sus áridos han sido bien compactados la resistencia oscila entre 2300- 2500 kg/m<sup>3</sup>, para hormigones con áridos ligeros la densidad se encuentre entre 1000 – 1300kg/m<sup>3</sup> y para aquellos con áridos pesados la densidad esta entre los 3000 – 3500kg/m<sup>3</sup>.
- **Compacidad:** ocurre cuando los materiales brindan la máxima densidad según sus propias características, es así como se conoce que un hormigón el cual presente una alta compacidad proporciona mayor protección al acceso de sustancias perjudiciales.
- **Permeabilidad:** se refiere al grado de acceso de líquido o gases que puede penetrar en el hormigón, la relación agua – cemento (a/c), entre mayor es la relación ya mencionada mayor corresponde la permeabilidad y el hormigón tiende a quedar más expuesto.
- **Resistencia:** cuando este elemento se encuentra endurecido tiene la capacidad de resistir a distintas acciones como lo es la compresión, la tracción y el desgaste, sin embargo la más importante es a la compresión, esta se mide en MPa, dependiendo de la capacidad del hormigón pueden llegar a 50MPa y 100MPa, de acuerdo a la resistencia a la tracción esta es más pequeña, sin embargo al considerar la resistencia al desgaste se aprecia que esta se puede observar en pavimentos, ya que los mismos poseen una relación agua – cemento muy baja.
- **Dureza:** propiedad de determinación superficial, sufriendo modificación con el tiempo por el efecto de la carbonatación.

- **Retracción:** fenómeno que identifica el acortamiento del hormigón motivado a la evaporación paulatina del agua que absorbe el cemento, a medida que lo realiza queda sobre este una especie de meniscos, en el hormigón endurecido se presenta el agua en varios estados, como lo son: agua combinada químicamente o de cristalización, agua de gel y agua intercrystalina.

### 2.2.7. Términos importantes

**Calculo de peso volumétrico:** también denominado como peso unitario o densidad en masa de material pétreo, este tipo de cálculo se origina de la relación que existe entre la masa del material y el volumen de masa, para hallarlo es necesario conocer el peso de la muestra y el volumen de la muestra, luego de conocer los valores lo que procede es dividir el peso entre el volumen y posteriormente multiplicarlo por 100.

**Calculo de área de contacto de una probeta:** para conocer el área de contacto de una probeta de hormigón es necesario conocer las dimensiones de la misma, para ello el valor del diámetro y el largo son indispensables, teniendo presente que las probetas tienen una longitud y 2 zonas de agarre es necesario ubicarla de manera centrada en cada mordaza, que nada toque la longitud interna de la probeta, el área de contacto dependerá del diámetro de la misma y su contacto de la ubicación correcta.

**Diseño de hormigón de resistencia 280Kg/m<sup>2</sup>:** los cálculos que se realizan para diseñar la resistencia que tendrá el hormigón debe estar ajustados a las especificaciones, para considerar que estos diseños cumplen, será necesario aplicarlos bajo la norma ACI, el primer paso será determinar el tamaño del agregado grueso que en ese caso será de 1", el segundo paso será la consistencia plástica, el tercer paso y muy importante es determinar la cantidad de agua por volumen de agua mezclada, según lo establecido en la norma mencionada y en vista de los dos parámetros anteriormente descritos por especificación, tomando que no se incorporará aire se asigna un volumen de agua de mezcla de 25lts de agua, como cuarto paso con referencia al tamaño de agregado, ya para el quinto paso se establece la relación agua/cemento de 0,50, según norma se calcula dividiendo el volumen de agua de mezcla, entre la relación agua/cemento, lo que indica que la resistencia del concreto es de 280Kg/cm<sup>2</sup>, en el sexto paso se determina la cantidad de agregado grueso que corresponde a 107Kg y agregado fino que será de 75Kg, para el séptimo paso se conocerá la cantidad de cemento que corresponde a 50Kg, luego del chequeo de los valores de cemento, agua, aire, agregado grueso y agregado fino, si es necesario se hace una corrección por humedad de los agregados, también de lo que aporta el agua, obtenido esto se procede a realizar la mezcla para aplicarle los ensayos que especifica la norma, de ese modo se puede corregir los valores de ser necesarios.

**Tipo de roturas en los cilindros:** los tipos de rotura que presenta los cilindros empleados en ensayo son varios, estos se originan al aplicarle una velocidad de carga continúa y constante, de acuerdo a las tolerancias que se deben tener respecto al tiempo es importante mantenerlas y por sobre todo evitar que se genere un choque, en el caso de las máquinas de tornillo estas deben desplazar el cabezal a 1,3 mm/min, a continuación se podrá visualizar los distintos tipos de rotura y como se calificación:

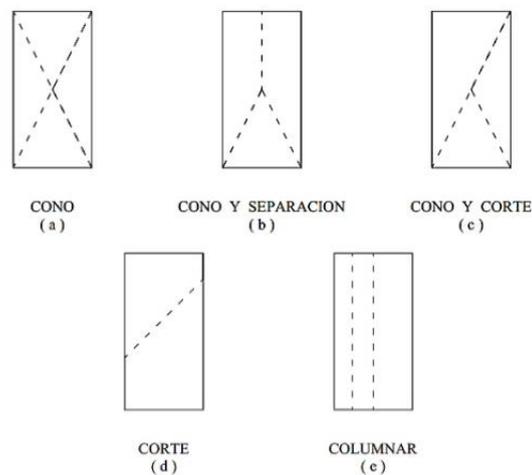


Ilustración 4  
Tipos de rotura  
Fuente: slidershare

**Módulo de finura:** este se halla luego de aplicar el tamizado correspondiente, estandarizado y de acuerdo al que establece la norma americana ASTM, los numero de tamiz que se utilizan son: 6"; 3"; 1 1/2"; 3/4"; 3/8"; N° 4; N° 8, N° 16; N° 30; N° 50 y N° 100, luego de aplicado el tamizado y pesado la cantidad que esta retenida en cada tamiz se procede a realizar la suma de todos estos (excepto el fondo), teniendo la sumatoria se divide entre 100 para de ese modo conocer por medio de porcentaje la finura al cual corresponde. Culminado el proceso anterior se refleja por medio de una gráfica en el eje "X" o de las abscisas los numeros de tamiz que se utilizaron y para el eje "Y" o de las ordenadas el porcentaje que pasa, considerando que estos valores obtenidos de ensayo se encuentren dentro de los limites de las diferentes especificaciones que se adopten, a continuación se presenta un ejemplo de las graficas en las que se plasma la información y tabla de especificaciones:

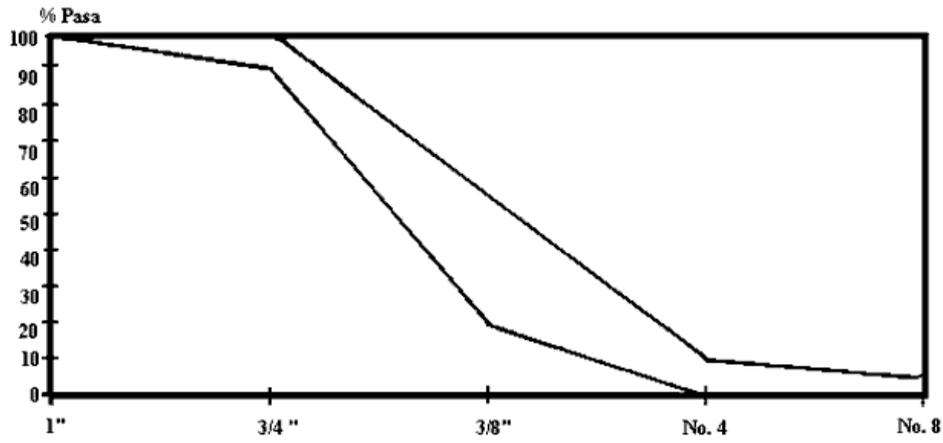


Ilustración 5  
 Gráfica de curva granulométrica  
 Fuente: elconstructorcivil.com

Tabla 1  
 Tabla de especificaciones

Norma Americana (A.S.T.M.)	Norma Inglesa (B.S)	Abertura mm o $\mu$ m
5 pulgadas	-	125 mm
4.24	4 pulgadas	106
3 1/2	3 1/2	90
3	3	75
2 1/2	2 1/2	63
2	2	53
1 3/4	1 3/4	45
1 1/2	1 1/2	37.5
1 1/4	1 1/4	31.5
1 (aproximada)	1(aproximada)	25.4
7/8	7/8	22.4
3/4	3/4	19.0
5/8	5/8	16.0
0.53	1/2	12.7
7/16	-	11.2

3/8	3/8	9.5
5/16	5/16	8.0
0.265	1/4	6.7
No. 3 1/2	-	5.6
No. 4	3/16	4.75
No. 5	-	4.00
No. 6	No. 5	3.35
No. 7	No. 6	2.80
No. 8	No. 7	2.36
No. 10	No. 8	2.00
No. 12	No. 10	1.70
No. 14	No. 12	1.40
No. 16	No. 14	1.18
No. 18	No. 16	1.00
No. 20	No. 18	850 $\mu\text{m}$
No. 25	No. 22	710
No. 30	No. 25	600
No. 35	No. 30	500
No. 40	No. 36	425
No. 45	No. 44	355
No. 50	No. 52	300
No. 60	No. 60	250
No. 70	No. 72	212
No. 80	No. 85	180
No. 100	No. 100	150
No. 120	No. 120	125
No. 140	No. 150	106
No. 170	No. 170	90
No. 200	No. 200	75
No. 230	No. 240	63
No. 270	No. 300	53
No. 325	No. 350	45
No. 400	-	38

Fuente: elconstructorcivil.com

### **2.2.8. Métodos de curado del hormigón**

**Sombreado de trabajo de hormigón:** este se realiza para evitar que el agua contenida se evapore, este tipo de método se aplica sobre losas de carretera, con el fin de proteger del calor y del viento al hormigón, sin embargo no solo se hace para cubrir del sol, sino también para tiempos fríos, ya que en este caso se aplica para poder mantener el calor evitando así la congelación del hormigón, esto solo funciona en haladas suaves y el material que se utiliza es una lona en forma de marcos, es importante tener presente que este método se aplica de manera muy limitada.

**Recubrimiento de superficies de hormigón con yute, lona o bolsas plásticas:** este método se aplica para hormigón estructural, así de ese modo se evita que las superficies se sequen, las bolsas a utilizar pueden ser incluso donde se empaca el cemento, es muy importante asegurar el cubrimiento de las superficies inclinadas y verticales, ya que se humedecerán de forma reiterada, el tiempo para la humectación dependerá completamente de la velocidad en que se evapore el agua, sin embargo es necesario no dejar que la superficie no se seque mientras esta el proceso de curado ocurra.

**Aspersión de agua:** esta se realiza de manera continua en la parte superficial del hormigón, de ese modo proporciona el curado de manera eficiente, este tipo de método es el más implementado para curar las losas de piso, para losas que son grandes se aconseja aplicar el aerosol por medio de una caja de plástico perforada, para las losas de dimensiones pequeñas se puede realizar la aspersión de forma manual. Para las superficies verticales e inclinadas se puede mantener la humedad de manera continua, en este método es importante saber que el agua que se necesita es mayor.

**Acumulación:** se caracteriza por ser el mejor de los métodos para el curado de hormigón, para superficies horizontales como pisos, losas de techo, carreteras y otras más, esta misma se pueden utilizar para las vigas, luego de situar el hormigón en la disposición establecida es importante cubrir la superficie expuesta con yute o lona que este bastante húmeda, pasada las 24 horas se retiran las cubiertas de las superficies, luego se utiliza especie de estanques de arena o arcilla que se construyen a lo largo de las aceras, que se sitúan en el suelo el cual es fraccionado por medio de rectángulos, que son el llenados cada 2 o 3 veces al día según las condiciones climáticas, este método al igual que el de aspersión demanda mucha agua lo que convierte a los estanques muy pesados y debido a ello romperse.

**Membrana de curado:** se caracteriza por el objetivo de evitar la evaporación de agua del hormigón, la membrana puede ser sólida o líquida, esta membrana también se conoce como sellado por medio de los papeles de betún que son a prueba de agua, o emulsiones

bituminosas o lo que corresponde a películas de plástico, si se aplica la cubierta de betún esta será aplicada luego de 24 horas y por medio de sacos de yute, este método de curado no necesita supervisión constante además que se adapta para aquellas construcciones donde el acceso de agua masiva no es posible, ahora bien, este tipo de método está en desventaja al ser comparado con el curado en húmedo, por esto se necesita que la membrana no se dañe, ya que de ser así la afectación sería grave.

**Curado de vapor:** este tipo de curado e incluso el de agua caliente fue adoptada, ya que por medio de estos métodos de curado y de endurecimiento la resistencia del hormigón es acelerada, estos tipos de métodos se aplican para hormigones colados. La temperatura a utilizar por medio del vapor de curado tiene un límite máximo de 750°C, para el curado de agua caliente la temperatura máxima límite es de 1000°C. Con estas temperaturas el desarrollo de la fuerza se lleva a un 70% para un periodo de 28 días al pasar de 4 o 5 horas, motivado a esto el hormigón no puede tener un secado rápido al igual que su enfriamiento porque puede sufrir grietas.

**Curado de cilindros:** este tipo de curado posee 2 tipos de cuidado, el primero debe ser in situ y el segundo en el laboratorio donde se realiza las prácticas, para el primero es importante curar de forma adecuada los cilindros a las primeras horas donde proviene una disminución que no puede pasar desapercibida al medir las resistencias que alcancen las probetas de ensayo a la edad de 28 años, por esto es importante que los factores climáticos no intervengan de manera invasiva en las muestras a ensayarse, este tipo de curado se lleva a temperatura de unos 23° C según lo explica la norma ASTM C31, es importante que los cuidados posteriores obtenidos del terreno, siguiendo un curado para laboratorio con un par de procedimientos: uno bajo agua a 20° C y con una humedad relativa de 95%, Para la realización de un buen curado es necesario seguir las indicaciones de la norma ASTM C31 indicando que para calificar las probetas es importante que el curado sea adecuado, por ello establece que las mismas deben sentirse y verse en todas sus superficies húmedas permanentemente, para ello es importante que las probetas estén juntas y saturadas de agua, ya que no solo afectaría la resistencia sino también aumentaría la difusión de resultados.

**Curado estándar:** durante el curado inicial, los cilindros deben almacenarse en un rango de temperatura de 15.56 °C a 26.67°C en un entorno que previene la pérdida de humedad durante hasta 48 horas. Si la resistencia del diseño del concreto es de 6.000 psi o más, la temperatura de curado inicial debe oscilar entre 20°C y 25.56°C. Las muestras deben estar protegidas de la luz solar directa o de dispositivos de calefacción radiante, si se usan. Un termómetro de mínimo a máximo registrará la temperatura del período de curado inicial, y luego se registrará

al recuperar los cilindros. Para el curado final, los cilindros o vigas deben colocarse en su almacenamiento de curado a más tardar 30 minutos después de retirarlos de los moldes. Los cilindros deben tener agua libre mantenida en sus superficies todo el tiempo y permanecer a una temperatura constante de  $23.06^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 15.83^{\circ}\text{C}$ . Los cilindros y las vigas se pueden colocar en cuartos húmedos o tanques de almacenamiento de agua, pero las vigas deben moverse hacia agua saturada con hidróxido de calcio a la misma temperatura al menos 20 horas antes de la prueba. Evite el secado de las superficies de los rayos entre la extracción del tanque de almacenamiento de agua y las pruebas.

**Curado de campo:** Almacene cilindros o vigas en o sobre la estructura que representa el área de donde se tomó la muestra. Proteja las superficies de ambos de la misma manera que la estructura está protegida, de la mejor manera posible. Para vigas, al final de las 48 horas iniciales ( $\pm 4$  horas) después del moldeado, retire los moldes y colóquelos en la ubicación de la estructura que representan. Si representa pavimentos de una losa en pendiente, aposte los lados y termina con tierra o arena que debe mantenerse húmeda, dejando la superficie superior expuesta. Al igual que con el curado estándar, retire las vigas del campo y almacénelas en agua saturada con hidróxido de calcio durante 24 horas ( $\pm 4$  horas) antes de la prueba. Para el traslado de los cilindros es importante proteger los cilindros con un material que amortigüe las sacudidas del vehículo donde se traslade, al igual que es importante que los cilindros no pierdan su humedad, para ello deben ser cubiertos con plástico o en su defecto arpillera húmeda, para el traslado de estas muestras no puede ser mayor a 4 horas.

### **2.3. Normativas**

#### **Normas ASTM**

Estándar internacional para materiales de prueba (ASTM) para productos fabricados con llantas de desecho. Muchos de estos estándares proporcionan definiciones claras de tecnología, aplicaciones y métodos de prueba. Los ejemplos relacionados con los productos de llantas de desecho incluyen lo siguiente:

**En la norma ASTM C 150** encontramos las especificaciones para el cemento Portland tipo I, II, III, IV y V.

**En la ASTM C 595** observamos las especificaciones para los cementos adicionados hidráulicos, el tipo IS cemento Portland de escoria de alto horno, tipo IP cemento puzolánico Portland, tipo P cemento Portland puzolánico para su uso cuando no se requieren mayores resistencias a edades tempranas, tipo I (PM) puzolana – modificado con cemento Portland, tipo I (SM) cemento Portland modificado con escoria, tipo S cemento de escoria para su uso

en combinación con cemento Portland en la fabricación de hormigón y en combinación con cal hidratada en la fabricación de mortero de albañilería. En la norma ASTM C 845 encontramos las especificaciones para los cementos hidráulicos expansivos con sus requerimientos físicos y químicos.

**En la ASTM C 1157** tenemos las especificaciones de desempeño para cemento hidráulico, tipo GU cemento de uso general, tipo HE cemento de alta resistencia inicial, tipo MS cemento con resistencia moderada a los sulfatos, tipo HS cemento con alta resistencia a los sulfatos, tipo MH cemento con moderado calor de hidratación, tipo LH cemento con bajo calor de hidratación; se establecen requerimientos solo para los ensayos físicos y se hace referencia a los ensayos químicos sin hacer mención de los requerimientos.

### **ASTM D6270-98 Práctica estándar para el uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil**

Esta práctica está destinada a describir el uso de llantas de desecho, llantas de desecho trituradas, mezclas de astillas / tierra de llantas y paredes laterales de llantas. Las aplicaciones de ingeniería civil incluyen relleno de terraplén liviano, relleno ligero de pared de retención, capas de drenaje, aislamiento térmico para limitar la penetración de heladas debajo de las carreteras, relleno aislante para limitar la pérdida de calor de los edificios y reemplazo de suelo o roca en otras aplicaciones de relleno. Se proporcionan propiedades y datos de diseño relacionados para facilitar el uso de estos materiales.

### **ASTM D5603-01 Clasificación estándar para materiales compuestos de caucho particulado vulcanizado reciclado**

Esta clasificación estándar permite la definición de propiedades críticas para el caucho particulado vulcanizado reciclado, con el producto derivado de llantas de desecho comúnmente conocido como caucho de migajas. El uso de estos materiales es importante como relleno en compuestos de caucho para disminuir los costos de los compuestos y / o mejorar las características de rendimiento.

### **ASTM D5644-01 Método de prueba estándar para materiales compuestos de caucho: determinación de la distribución del tamaño de partículas particuladas vulcanizadas**

Estos métodos de prueba describen procedimientos mejorados para definir con precisión la distribución del tamaño de partícula en el caucho de miga, especialmente en productos de malla fina. El control de calidad puede ser un parámetro crítico en aplicaciones innovadoras exitosas en las que el caucho para migas desplaza materias primas vírgenes que se monitorean cuidadosamente para lograr una calidad consistente. Estos procedimientos están ganando

aceptación entre los productores de caucho de miga de calidad que buscan mercados de mayor valor, pero en general no se aplican.

### **ASTM D6814-02 el Método de prueba estándar para la determinación del porcentaje de desvulcanización del caucho de miga basado en la densidad de reticulación**

Este método permite a los mezcladores definir el grado de desvulcanización logrado durante el procesamiento para determinar el uso apropiado de los agentes de curado durante las operaciones de composición. Muchos procesadores históricamente han reclamado desvulcanizar el caucho de migajas, mejorando así su capacidad de unirse químicamente con otros compuestos y mejorar las características de rendimiento. Un beneficio secundario importante de este método es permitir que un evaluador diferencie entre las reclamaciones del procesador y la realidad.

Este método de prueba se puede utilizar en cualquier tipo de hormigón: peso liviano, regular o pesado. Agregue el tamiz que se mantendría en un tamiz de 1-1 / 2 "sobre un tamiz de 1". El muestreo, de acuerdo con los estándares de ASTM, se debe hacer en intervalos desde la porción media del lote de concreto. Si toma muestras de un mezclador estacionario, mezclador de tambor giratorio (es decir, camión mezclador) o agitador, o un mezclador continuo, entonces se deben tomar dos o más muestras a intervalos regulares espaciados del medio del lote y mezclarlas para su muestra oficial. Si toma muestras de un mezclador de pavimentación, entonces el muestreo debe tomarse de al menos cinco porciones diferentes de la pila después de que el contenido se haya descargado completamente, luego se combinan y se mezclan. No se puede tomar ninguna muestra del primer 10 por ciento o del último 10 por ciento de la carga. Aquí hay algunas pautas importantes adicionales.

- La muestra debe tomarse pasando un receptáculo completamente a través de la corriente de descarga, o desviando completamente la corriente de descarga en un contenedor de muestra
- El receptáculo o recipiente de muestra debe estar humedecido
- 15 minutos como límite de tiempo entre tomar la primera y la última porción de muestras para su muestra compuesta
- La muestra compuesta debe tener al menos 0.028 metros cúbicos de hormigón
- Inicie las pruebas de asentamiento, temperatura y contenido de aire en 5 min. después de obtener su porción final de la muestra compuesta
- Comience a moldear las muestras de resistencia dentro de los 15 minutos posteriores a la obtención de la muestra compuesta

## **ASTM C31 - Fabricación y curado de muestras de hormigón en el campo**

Cuando se usa la resistencia como base para la aceptación del hormigón, las muestras deben moldearse y curarse de acuerdo con ASTM C 31. Los moldes de los cilindros pueden ser de metal o plástico, siempre que no sean absorbentes, no sean reactivos al hormigón y mantengan su resistencia, forma y dimensiones bajo todas las condiciones de uso. No deben tener fugas cuando se vierte agua.

- La varilla de apisonamiento debe ser de 3/8 "de diámetro (+/- 1/16-pulgada) para moldes de menos de 6" de diámetro o ancho (moldes de viga)
- Los vibradores deben producir al menos 9,000 vibraciones por minuto, y el elemento vibratorio no debe ser mayor que un cuarto del diámetro del molde del cilindro o un cuarto del ancho del molde del haz.

Los vibradores o varillas son completamente intercambiables, pero los vibradores deben usarse para asentamientos de 1 "o menos.

### **Cilindros**

- Al moldear cilindros, rellene: 2 capas (25 barras) para cilindros de 4 "de diámetro; 3 capas (25 barras) para cilindros de 6 "de diámetro; 4 capas (50 barras) para cilindros de 9 "de diámetro
- Toque fuera de los moldes 10 - 15 veces con un mazo o una mano abierta para cada levantamiento
- Cuando vibre los cilindros, rellene: 2 capas para todos los tamaños de diámetro de cilindro, pero inserte el vibrador una vez para cilindros de 4 "de diámetro, dos veces para cilindros de 6" de diámetro y cuatro veces para cilindros de 9 "de diámetro para ambas capas
- Inserte la varilla o el vibrador 1 pulgada en la capa subyacente
- El cilindro debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso (el agregado de más de 2 "debe ser tamizado en húmedo fuera de la mezcla)
- Los moldes del cilindro deben ser dos veces la longitud del diámetro

### **Informe**

- Número de identificación (enumeración de acuerdo a cada proyecto)
- Ubicación del hormigón representado por las muestras (nombre de la estructura construida con el hormigón ensayado, detallando ubicación, sea ejes x/y en planos o abscisas)

- Fecha y hora
- Nombre del responsable del moldeo de muestras
- Revenimiento, contenido de aire y temperatura del hormigón
- Método de curado

### **ASTM C033 – Especificaciones de agregado para hormigón**

Esta especificación define de forma detallada como deben estar y de qué modo se deben usar los agregados para el hormigón, al igual que la preparación del mismo, para de ese modo ser usado. Los agregados utilizados pueden ser tanto gruesos como finos, los primeros regularmente se definen como grava, grava triturada y piedra triturada, el segundo grupo pertenece a las arenas naturales, elaboradas o una combinación de ambas. En esta misma norma se establece los límites que debe contener cada sustancia, inclusive lo perjudicial que pueden resultar ser si estos no son tratados como debe ser, al igual que los parámetros que debe contener cada agregado.

## **Capítulo III**

### **Marco Metodológico**

#### **3.1. Investigación experimental**

Dentro de la metodología y todo lo que con ella respecta, existen distintos tipos de investigación, estos se desarrollan según la información que se precisa, además que permite no solo conocer los factores que intervienen sino además considerar las características relevantes que determinen dicha investigación, así lo determina Ávila Baray (2014) en su libro de metodología: “La investigación experimental en las ciencias sociales difiere notablemente de la investigación experimental en las ciencias naturales debido a las características de las unidades de análisis en el área social. Un experimento tiene como propósito evaluar o examinar los efectos que se manifiestan en la variable dependiente cuando se introduce la variable independiente, es decir, se trata de probar una relación causal” ( párr.1).

Este tipo de investigación experimental, tiene como fin poder conocer los resultados que se obtuvieron de dichos experimentos, para así identificar lo que realmente incurre y afecta directamente al experimento, además de obtener opiniones y datos de interés, que posteriormente pueden ser un aporte a futuras investigaciones, la aplicación de este tipo de experimento se emplea en trabajos donde tiene como objetivo conocer realmente comportamientos, características y/o aspectos.

De acuerdo a la ciencia este tipo de investigación, cuya base es el empirismo, se reseña de acuerdo a la hipótesis considerada en la investigación, por medio de la observación se establece que ésta se basa a la evidencia y por ende a los resultados que obtendrá, Cruz (2018) lo indica: “La investigación empírica se refiere a cualquier investigación fundada en la experimentación u observación, conducida generalmente a responder una pregunta específica o hipótesis.

La palabra empírica significa que la información es obtenida mediante experiencia, observación y/o experimentación” ( párr. 1). Para esta investigación se empleó la utilización de muestras que se sometieron a ensayos u estudios para conocer datos que forman parte de la investigación.

#### **3.2. Investigación Bibliográfica**

La investigación bibliográfica tiene como principio base la búsqueda, revisión y selección de toda aquella información y material bibliográfico existente que de luces acerca de todos y cada uno de los componentes en los que se basa el tema a investigar.

Consiste en uno de los primordiales pasos a seguir para cualquier trabajo investigativo, e incluye la notificación de fuentes de información, además de incluir fases o procesos que comprenden la observación, la investigación, la reflexión y la ejecución del análisis para encontrar bases sólidas que fundamenten el desarrollo de cualquier estudio.

### **3.3. Investigación de Laboratorio**

En este aspecto se ampliará la información de acuerdo a las actividades realizadas en el laboratorio, considerando los ensayos aplicados de forma ordenada, inicialmente para la realización de las muestras fue necesario conocer el diseño de hormigón a utilizar, seguidamente iniciar con los ensayos de rigor que permitieran obtener las resistencias y el desgaste.

Es muy importante describir la procedencia de nuestro material de adhesión, el cual tiene origen en el reciclaje de caucho tipo lona seleccionado de neumáticos desechados, éste caucho fue procesado de forma manual, con el uso únicamente de agua y cuchillo, cortándolo de tal manera que obtenga la forma y tamaño de una piedra acorde al diseño para el reemplazo del agregado grueso, a diferencia del que se utilizó para el reemplazo del agregado fino, el cual fue triturado de forma mecánica asemejando la granulometría de la arena del diseño, (Ver anexo 6).

El primer ensayo se basa en conocer el módulo de finura de los agregados, el mismo se determinó por medio de los porcentaje de material retenido acumulado, el segundo ensayo realizado se aplicó al caucho grueso, este ensayo se denomina desgaste de abrasión de los Ángeles, posteriormente se aplicó un tercer ensayo denominado ensayo de resistencia a la compresión donde se utilizaron 5 probetas, una con un diseño de hormigón tradicional, 2 con inclusión de caucho fino en porcentaje de uno de 5% y otro de 10%, las 2 últimas muestras contenían caucho grueso en un 5% y 10% de inclusión, respectivamente. De igual modo se aplicó el ensayo de resistencia a la flexión en 5 muestras con las mismas características, cada ensayo fue realizado bajo supervisión y con asistencia de personal calificado del laboratorio Consees Cia. Ltda., los datos obtenidos se establecieron por medio de gráficos que señalan el comportamiento de cada muestra.

## Capítulo IV

### Análisis e interpretación de resultados

#### 4.1. Propuesta

La materia prima y producto base de esta investigación es el caucho reciclado, lo que significa que se realizó la recolección de neumáticos fuera de uso en distintos puntos de la periferia de la ciudad.

Hubo varios puntos dentro de la ciudad tales como vulcanizadoras que tenían acumulado de forma no cuidadosa, ya que los tenían a la intemperie, siendo expuestos a servir como envases idóneos para la proliferación de enfermedades mediante insectos.

Inicialmente, se tenía la noción de donde conseguir caucho reciclado ya procesado, es decir triturado mediante procesos mecánicos con equipos industrializados, y efectivo se hallaron varias empresas dedicadas a esto. Las que pudieron ser accesibles fueron en particular tres de ellas, conocidas como: Apci-Aliboc S.A., Ecocaucho y Ecsade S.A.

Pero aun así, encontrando grandes empresas con equipos industriales de calidad, solo pudieron brindar la solución para el caucho que reemplaza al agregado fino, mas no habían procesos de trituración tales que arrojaran el tamaño de caucho triturado correspondiente a la granulometría de piedra de ½”, que fue con la cual se realizó el diseño de hormigón.

Una de ellas estaban intentando implementar una excepción en uno de los procesos de triturados, para examinar si podía cumplir con el requerimiento, pero solamente se obtuvo una muestra conocida como CHIPS, que consistía en un tira de caucho fina con dimensiones de 15cm. de longitud y de 3 a 4 cm. de ancho, un producto nada asemejado a la forma de una piedra triturada, además de contener alambres en su interior.

Por lo tanto, al ver que no se hallaba el caucho deseado con aquella forma de piedra triturada, se decidió realizar la recolección de neumáticos por cuenta propia.

La búsqueda no fue fácil, pues al no contar con una máquina procesadora y trituradora de neumáticos, los cuales en la mayoría de los casos eran neumáticos con estructura interna alambrada, no era posible dar la forma y dimensión al caucho simulando la de los agregados pétreos, por lo tanto, la búsqueda se limitaba únicamente a la recolección de neumáticos de lona, cuya estructura interna estaba formada por caucho puro, haciendo fácil la trituración manual, con la ayuda de cuchillos de cocina y mano de obra por parte de los autores de la investigación.

De esta manera, ya teniendo el producto con las dos dimensiones solicitadas, se las emplea en la fabricación de hormigón a base de caucho reciclado, para ser ensayado y determinar su eficiencia y desempeño en el campo de la construcción.

## **4.2. Recolección de datos**

La obtención de datos debe hacerse por medio de un procedimiento que permita conocer detalladamente la información, del mismo modo según el instrumento de recolección su aplicación se establecerá en el momento adecuado. Para el presente trabajo de titulación fue necesario la práctica de ensayos que se aplicaron al hormigón con inclusión de caucho, al igual que a un hormigón convencional.

Los resultados obtenidos se registraron en tablas de datos debidamente ubicados, para luego representarlos gráficamente y así hacer lo más ilustrado posible, para el porcentaje de inclusión de caucho se estableció manejar 2 porcentajes de caucho, el primero en 5% y el segundo en 10%, este en sustitución de agregado fino y agregado grueso, manteniendo los demás agregados, un punto importante de aclarar es indicar que se utilizaron 2 muestras que su único cambio fue el agregado fino, la igual que otras 2 muestras donde su único cambio fue de agregado grueso.

## **4.3. Ensayos realizados a los agregados y a las probetas**

Tomando en consideración que los ensayos aplicados en ingeniería son los que indican la calidad y si aplican los requerimientos establecidos, se lleva a cabo la realización de cuatro ensayos, donde se conoce los detalles de agregado y la resistencia a la flexión y compresión, al igual que el desgaste que sufre el agregado, todo bajo normativa de acuerdo a la ASTM, para el cual se lleva un control y procedimiento de cada ensayo.

### **4.3.1. Ensayo granulométrico**

Este ensayo se realizó al caucho que sustituyó al agregado fino o grueso, para este caso en particular se aplicó el tamizado para ambos agregados, el primero es el agregado fino que fue pasado por tamices desde el tamiz 3/8" hasta el N° 100, donde se obtuvo un módulo de finura de 2,6 siendo considerado como muy fina ya que está es menor a 2,7, también se tuvo una densidad saturada superficialmente seca de  $2.564 \text{ Kg/m}^3$  y peso volumétrico suelto de  $1.456 \text{ Kg/m}^3$ . Incluso en la gráfica originada a partir de los datos se puede observar que el caucho molido se encuentra dentro de las especificaciones ASTM, solo para el intervalo de 50 – 85 que corresponde al tamiz N° 16 existe una pequeña variación que se excede del % que pasa.

Para el agregado grueso se utilizó tamiz 1 1/2"; 1; 1/2"; N° 4 y N° 8, donde se obtuvo que los valores se encuentran dentro de la gráfica que establece las especificaciones de ASTM, con una densidad saturada superficialmente seca de  $2.559 \text{ Kg/m}^3$ , peso volumétrico suelto de  $1.289 \text{ Kg/m}^3$  y un peso volumétrico de varillado de  $1.425 \text{ Kg/m}^3$

Tabla 2

Tabla de ensayo granulométrico del agregado fino

					
<b>ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO</b>					
PROYECTO: Tesis de Hormigón con caucho Cantón Guayaquil - Prov. del				FECHA: 09/08/2018	
UBICACIÓN: Guayas					
DESCRIPCION DEL MATERIAL : Arena					
TAMIZ	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN A.S.T.M.
3/8 "	0	0,00	0,00	100,00	100
No.4	17,30	0,87	0,87	99,14	95 - 100
No.8	24,90	1,25	2,12	97,89	80 - 100
No.16	211,30	10,57	12,69	87,33	50 - 85
No.30	1038,30	51,92	64,61	35,41	25 - 60
No.50	372,40	18,62	83,23	16,79	10 - 30
No.100	320,50	16,03	99,26	0,76	2 - 10
FONDO	15,30	0,77		0,00	0
TOTAL	2000,00	100,00	262,78		

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

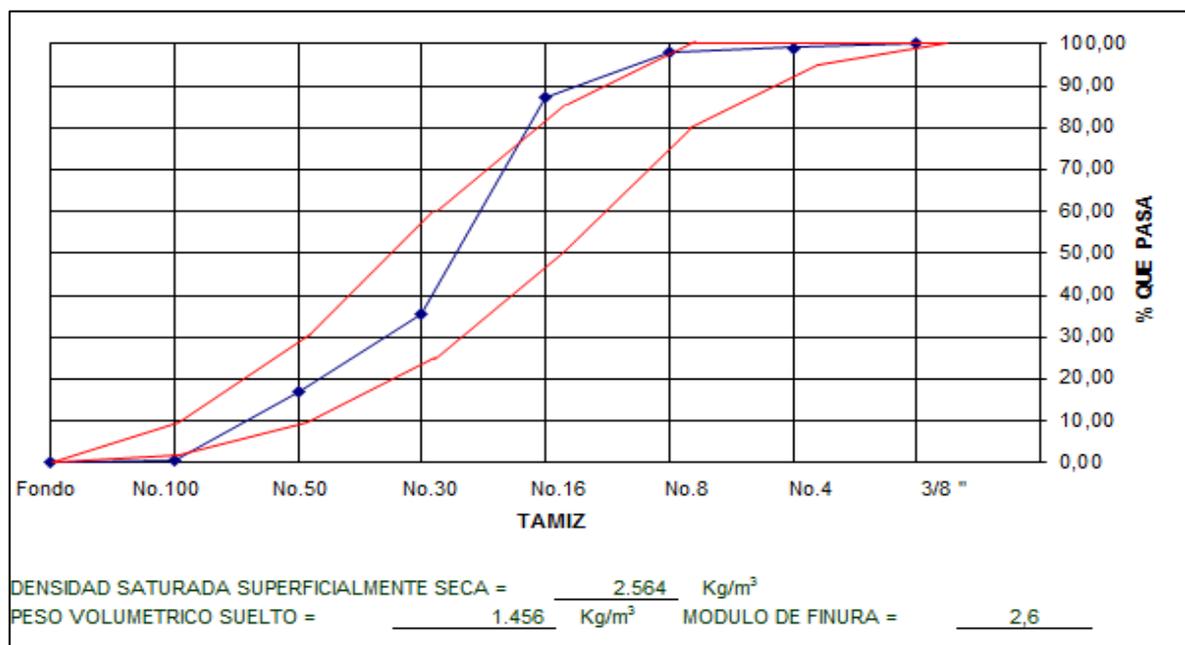


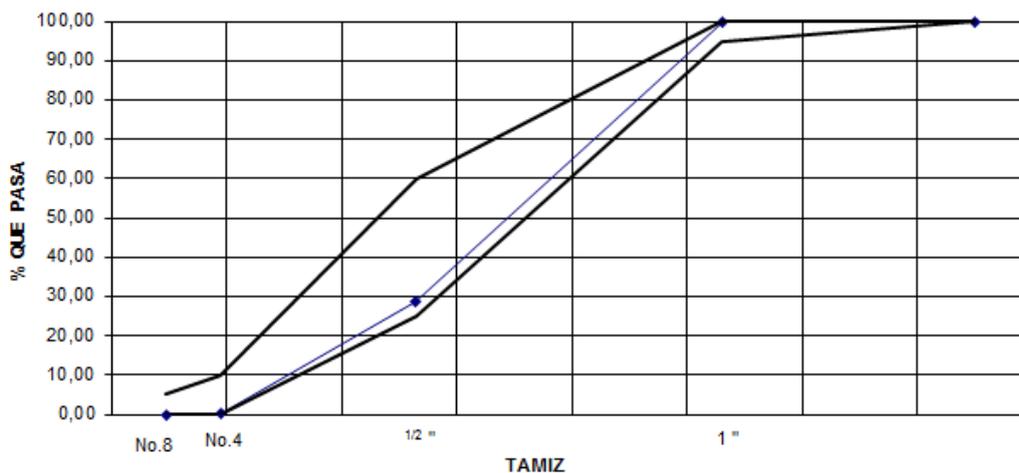
Ilustración 6  
 Curva granulométrica del agregado fino  
 Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

Tabla 3

Tabla de ensayo granulométrico del agregado grueso

 <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> </div> <div style="text-align: right;">  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> </div>					
<b>ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO</b>					
PROYECTO: Tesis Cantón Guayaquil - Prov. del					
UBICACIÓN: Guayas			FECHA: 09/08/2018		
DESCRIPCION DEL MATERIAL : Tamaño Max 3/4"					
TAMIZ	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN A.S.T.M.
1 1/2 "	0	0,00	0,00	100,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100,00	95-100
3/4 "					
1/2 "	1950,00	71,33	71,33	28,67	25-60
3/8 "					
No.4	782,00	28,60	99,93	0,07	0-10
No.8					0-5
FONDO	1,80	0,07	100,00	0,00	
TOTAL	2733,80	100,00			

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)



DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA =  $\frac{2.559}{1.425}$  Kg/m<sup>3</sup>  
 PESO VOLUMETRIC VOVARILLADO =  $\frac{2.559}{1.425}$  Kg/m<sup>3</sup> PESO VOLUMETRIC SUELTO =  $\frac{2.559}{1.289}$  Kg/m<sup>3</sup>

Ilustración 7  
 Curva granulométrica del agregado grueso  
 Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

### 4.3.2. Ensayo desgaste de los Ángeles

El ensayo de desgaste de abrasión fue aplicado al caucho que fue cortado de forma manual, con una carga de 12 esferas con 500 revoluciones, tomando en consideración la norma ASTM C – 131, teniendo como resultado final un porcentaje de pérdida del 0%, en vista que el material era caucho, lo que indica que no contiene un desgaste por abrasión.

Tabla 4

Tabla de ensayo a la abrasión del caucho - agregado grueso

 <span style="margin-left: 100px;">UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</span> <span style="margin-left: 100px;">FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</span> <span style="margin-left: 100px;">CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</span> 					
<b>ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES</b>					
PROYECTO: Tesis de grado con caucho			FECHA : 09/08/2018		
MUESTRA: Caucho Grueso					
	MALLAS		PESO ANTES DEL ENSAYO gr.	PESO DESPUES POR TAMIZ No.12 gr.	% DE PERDIDA
	PASA	RETIENE			
	1 1/2	1	2500		
	1	3/4	2500		
			5000	5000	
$\% \text{ PERDIDA} = \frac{P_i - P_t}{P_i}$					
$\% \text{ PERDIDA} = \frac{5000 - 5000}{5000} \quad \quad \quad \% \text{ PERDIDA} = 0,00$					
Observaciones: Norma ASTM C-131					
Graduación A (12 Cargas Abrasivas)					
500 Revoluciones					

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

### **4.3.3. Diseño de hormigón**

De acuerdo a los ensayos realizados a los agregados, se tiene como propiedades físicas del agregado grueso un peso volumétrico varillado ( P.V.V.) de 1425 Kg/m<sup>3</sup>, Peso volumétrico suelto ( P.V.S.) de 1289 Kg/m<sup>3</sup>, y una densidad saturada superficialmente seca ( D.S.S.S. ) de 2559 Kg/m<sup>3</sup>, así mismo, se tiene que las propiedades físicas del agregado fino son: densidad saturada superficialmente seca ( D.S.S.S. ) 2564 Kg/m<sup>3</sup>, peso volumétrico suelto ( P.V.S.) 1456 Kg/m<sup>3</sup> y un módulo de finura (M.F.) de 2,6.

Con estos datos se procede a realizar los cálculos para el diseño de hormigón de 280 Kg/cm<sup>2</sup>, tomando en cuenta una relación de agua/cemento ( A/C) de 0,50 , obteniendo que para 1 m<sup>3</sup> de hormigón se necesita 440 Kg de cemento, 220 Kg de agua, 941 Kg de piedra, 661 Kg de arena, así también tenemos que el peso de los materiales para la elaboración de hormigón, tomando como referencia un saco de cemento de 50 Kg. son: 25lts. de agua, 107 Kg de piedra, 75 Kg. de arena.

Como dosificación general para la elaboración de hormigón en campo, se obtiene que para 1 saco de cemento de 50 Kg., se debe utilizar 3 cajonetas de piedra, 3 cajonetas de arena y 25 lts. de agua considerando como medidas interiores de las cajonetas 0,36 x 0,36 x 0,20 m., el revenimiento o asentamiento del hormigón según el diseño y la relación agua/cemento utilizada arroja un valor de 7 cm. (+/- 2 cm.) además de que los materiales deben encontrarse en estado seco, (Ver anexo 1).



## DISEÑO DE HORMIGON

PROYECTO: Tesis de Hormigón con Caucho  
 FECHA: 09/08/2018  
 UBICACIÓN: Cantón Guayaquil - Provincia del Guayas  
 TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO: 1" REVENIMIENTO: 7 cm  
 CEMENTO: Holcim - Rocafuerte Tipo IP AGUA: Limpia  
 RELACION AGUA - CEMENTO (A/C) 0,50 NUMERO DE SACOS DE CEMENTO: **8,80**  
 RESISTENCIA 280 Kg/cm<sup>2</sup>

### PROPIEDADES FISICAS

AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO	
Peso Volumétrico Varillado (P.V.V.):	1425 Kg/m <sup>3</sup>	Densidad Saturada Sup. Seca (D.S.S.S.):	2564 Kg/m <sup>3</sup>
Peso Volumétrico Suelto (P.V.S.):	1289 Kg/m <sup>3</sup>	Peso Volumétrico Suelto (P.V.S.):	1456 Kg/m <sup>3</sup>
Densidad Saturada Sup. Seca (D.S.S.S.):	2559 Kg/m <sup>3</sup>	Modulo de Finura (M.F.):	2,6

PESO EN KG. EN 1 m <sup>3</sup> DE HORMIGON			PESO EN KG. PARA UN SACO DE CEMENTO		
CEMENTO:	440	Kg.	CEMENTO:	50	Kg.
AGUA:	220	Kg.	AGUA:	25	lts.
PIEDRA:	941	Kg.	PIEDRA:	107	Kg.
ARENA:	661	Kg.	ARENA:	75	Kg.

OBSERVACIONES

**Cemento** 1 saco 50 Kg.

---

**Piedra** 3 cajonetas Cajonetas 36 x 36 x 20 cm.

---

**Arena** 2 cajonetas Cajonetas 36 x 36 x 20 cm.

---

**Agua** 25 litros

---

Las medidas de las cajonetas son interiores.

---

**Los materiales deben de encontrarse en estado seco.**

---



---

CALCULADO POR: **Los autores**

#### **4.3.4. Asentamiento del hormigón**

Mediante el ensayo de asentamiento tanto en el hormigón tradicional como en el hormigón con inclusión de caucho reciclado en sus diferentes porcentajes se logró determinar el comportamiento del producto recién elaborado, obteniendo un revenimiento 7cm.; Mientras que en las muestras con inclusión de caucho en reemplazo de agregado fino en un 5% y 10% se obtuvo un revenimiento de 11.5cm. Y 13 cm. respectivamente.

Finalmente, para la tanda de hormigón con inclusión de caucho en reemplazo del 5% y 10% de agregado grueso, se presentó un asentamiento de 10cm. y 8cm. respectivamente, (Ver anexo 2).

#### **4.3.5. Ensayo de resistencia a la compresión**

En este ensayo se tomó a consideración cinco (5) cilindros, el primero de ellos de hormigón tradicional, el segundo y tercero de caucho fino, el cuarto y quinto de caucho grueso, (Ver anexo 3).

Para iniciar con los resultados de las resistencias será necesario comenzar por el de hormigón tradicional con una resistencia diseñada de  $280\text{Kg/cm}^2$ , la cual arrojó luego de aplicado el ensayo una resistencia de  $304\text{ Kg/cm}^2$  al tener una carga máxima de 55.474 Kg, la segunda muestra de hormigón con un caucho fino de 5% con resistencia diseñada de  $280\text{ Kg/cm}^2$  dio como resultado final una resistencia de  $253\text{ Kg/cm}^2$  con una carga de 44.330 Kg, la tercera muestra de hormigón con caucho fino de 10% y diseño de resistencia de  $280\text{ Kg/cm}^2$ , dio un valor de resistencia final de  $203\text{ Kg/cm}^2$  con carga de 37.068 Kg, la cuarta muestra posee un hormigón con 5% de caucho grueso con diseño de resistencia de  $210\text{ Kg/cm}^2$  que posteriormente aplicado el ensayo se obtuvo una resistencia de  $188\text{Kg/cm}^2$  con una carga de 34.306 Kg, para la quinta y última muestra con un 10% de caucho grueso y diseño de resistencia de  $280\text{ Kg/cm}^2$ , para después de aplicado el ensayo se obtuvo una resistencia de  $135\text{ Kg/cm}^2$  con una carga de 24.658 Kg. (Ver anexo 4.)

Tabla 5

Tabla de resultados de ensayos a la compresión – Hormigón tradicional

	<b>UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>																																																						
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO																																																							
PROYECTO:	TESIS	FECHA:	29-sep-18																																																				
AGREGADO GRUESO	_____	AGREGADO FINO:	_____																																																				
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:	_____	RESISTENCIA DISEÑADA:	280 Kg/cm <sup>2</sup>																																																				
DÍAMETRO CILINDRO:	15,24 cm.	ALTURA:	30,48 cm.																																																				
		ÁREA :	182 cm <sup>2</sup>																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CILINDRO</th> <th rowspan="2">No.</th> <th colspan="2">FECHA</th> <th rowspan="2">DIAS</th> <th rowspan="2">CARGA MÁXIMA Kg.</th> <th rowspan="2">ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm<sup>2</sup></th> </tr> <tr> <th>TOMA</th> <th>ROTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7" style="text-align: center; vertical-align: middle;">MUESTRA 1 - SIN INCLUSIÓN DE CAUCHO</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">01-sep-18</td> <td style="text-align: center;">08-sep-18</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">31.103</td> <td style="text-align: center;">171</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">01-sep-18</td> <td style="text-align: center;">08-sep-18</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">30.205</td> <td style="text-align: center;">166</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">01-sep-18</td> <td style="text-align: center;">15-sep-18</td> <td style="text-align: center;">14</td> <td style="text-align: center;">41.344</td> <td style="text-align: center;">227</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">01-sep-18</td> <td style="text-align: center;">22-sep-18</td> <td style="text-align: center;">21</td> <td style="text-align: center;">47.504</td> <td style="text-align: center;">260</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">01-sep-18</td> <td style="text-align: center;">22-sep-18</td> <td style="text-align: center;">21</td> <td style="text-align: center;">47.192</td> <td style="text-align: center;">259</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">01-sep-18</td> <td style="text-align: center;">29-sep-18</td> <td style="text-align: center;">28</td> <td style="text-align: center;">53.516</td> <td style="text-align: center;">293</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">01-sep-18</td> <td style="text-align: center;">29-sep-18</td> <td style="text-align: center;">28</td> <td style="text-align: center;">55.474</td> <td style="text-align: center;">304</td> </tr> </tbody> </table>				CILINDRO	No.	FECHA		DIAS	CARGA MÁXIMA Kg.	ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	TOMA	ROTURA	MUESTRA 1 - SIN INCLUSIÓN DE CAUCHO	1	01-sep-18	08-sep-18	7	31.103	171	2	01-sep-18	08-sep-18	7	30.205	166	3	01-sep-18	15-sep-18	14	41.344	227	4	01-sep-18	22-sep-18	21	47.504	260	5	01-sep-18	22-sep-18	21	47.192	259	6	01-sep-18	29-sep-18	28	53.516	293	7	01-sep-18	29-sep-18	28	55.474	304
CILINDRO	No.	FECHA				DIAS	CARGA MÁXIMA Kg.				ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>																																												
		TOMA	ROTURA																																																				
MUESTRA 1 - SIN INCLUSIÓN DE CAUCHO	1	01-sep-18	08-sep-18	7	31.103	171																																																	
	2	01-sep-18	08-sep-18	7	30.205	166																																																	
	3	01-sep-18	15-sep-18	14	41.344	227																																																	
	4	01-sep-18	22-sep-18	21	47.504	260																																																	
	5	01-sep-18	22-sep-18	21	47.192	259																																																	
	6	01-sep-18	29-sep-18	28	53.516	293																																																	
	7	01-sep-18	29-sep-18	28	55.474	304																																																	

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

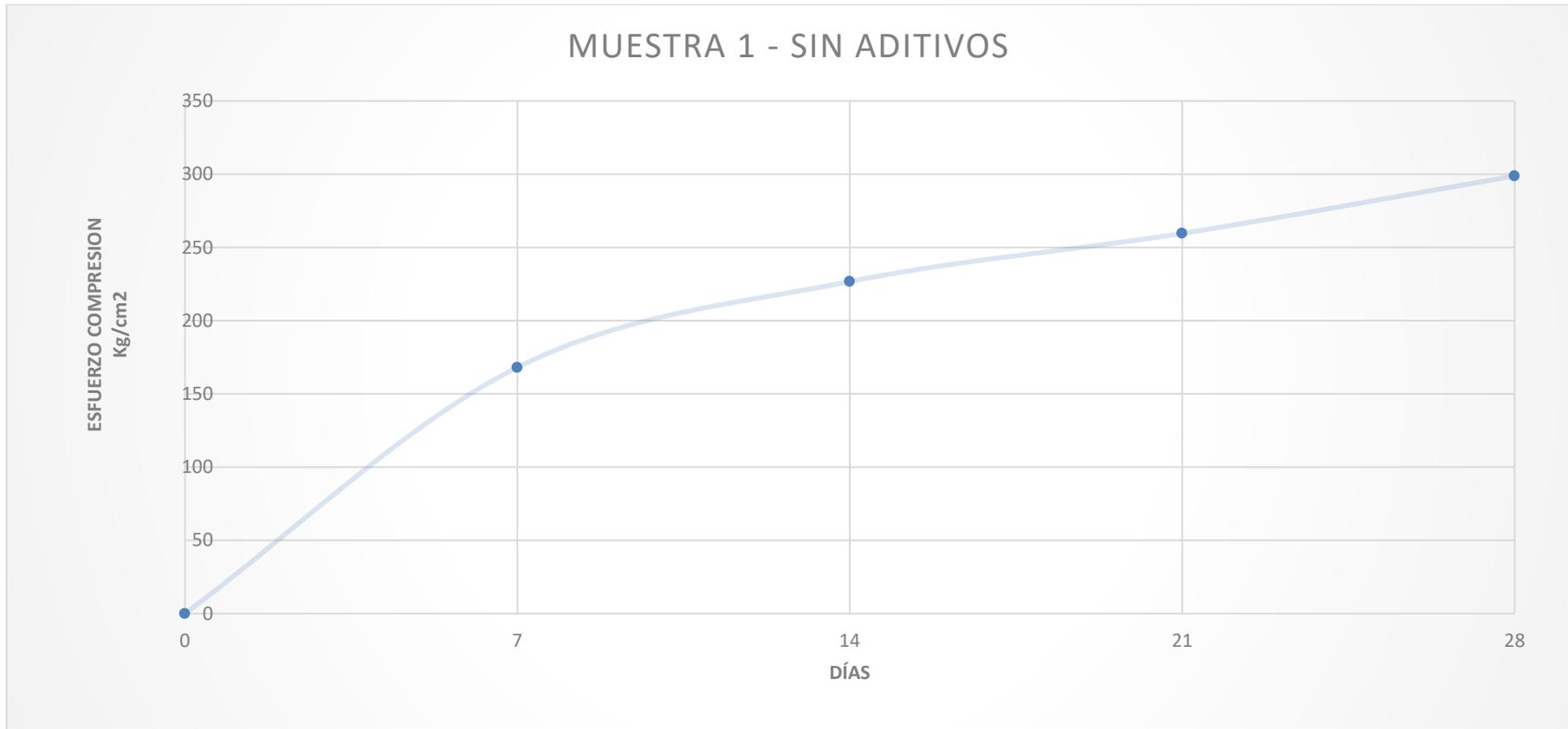


Ilustración 8  
*Curva de resistencia a la compresión durante 28 días - Hormigón tradicional*  
Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

Tabla 6

Tabla de resultados de ensayos a la compresión – Inclusión de 5% caucho fino

		<b>UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>																																																																										
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN</b>																																																																												
PROYECTO:	TESIS			FECHA:	01-oct-18																																																																							
AGREGADO GRUESO				AGREGADO FINO:																																																																								
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:				RESISTENCIA DISEÑADA:	280 Kg/cm <sup>2</sup>																																																																							
DIÁMETRO CILINDRO:	15,24	cm.	ALTURA:	30,48	cm.																																																																							
				ÁREA :	182 cm <sup>2</sup>																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CILINDRO</th> <th rowspan="2">No.</th> <th colspan="2">FECHA</th> <th rowspan="2">DIAS</th> <th rowspan="2">CARGA MÁXIMA Kg.</th> <th rowspan="2">ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm<sup>2</sup></th> </tr> <tr> <th>TOMA</th> <th>ROTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="9" style="text-align: center;">muestra 2 - 5% CAUCHO FINO</td> <td>1</td> <td>03-sep-18</td> <td>10-sep-18</td> <td>7</td> <td>28.332</td> <td>155</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>03-sep-18</td> <td>10-sep-18</td> <td>7</td> <td>28.630</td> <td>157</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>03-sep-18</td> <td>17-sep-18</td> <td>14</td> <td>34.940</td> <td>192</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>03-sep-18</td> <td>17-sep-18</td> <td>14</td> <td>38.848</td> <td>213</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>03-sep-18</td> <td>24-sep-18</td> <td>21</td> <td>41.643</td> <td>228</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>03-sep-18</td> <td>24-sep-18</td> <td>21</td> <td>44.438</td> <td>244</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>03-sep-18</td> <td>01-oct-18</td> <td>28</td> <td>43.407</td> <td>238</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>03-sep-18</td> <td>01-oct-18</td> <td>28</td> <td>44.805</td> <td>246</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>03-sep-18</td> <td>01-oct-18</td> <td>28</td> <td>44.330</td> <td>243</td> </tr> <tr> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> </tr> </tbody> </table>						CILINDRO	No.	FECHA		DIAS	CARGA MÁXIMA Kg.	ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	TOMA	ROTURA	muestra 2 - 5% CAUCHO FINO	1	03-sep-18	10-sep-18	7	28.332	155	2	03-sep-18	10-sep-18	7	28.630	157	3	03-sep-18	17-sep-18	14	34.940	192	4	03-sep-18	17-sep-18	14	38.848	213	5	03-sep-18	24-sep-18	21	41.643	228	6	03-sep-18	24-sep-18	21	44.438	244	7	03-sep-18	01-oct-18	28	43.407	238	8	03-sep-18	01-oct-18	28	44.805	246	9	03-sep-18	01-oct-18	28	44.330	243	----	----	----	----	----	----	----
CILINDRO	No.	FECHA		DIAS	CARGA MÁXIMA Kg.			ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>																																																																				
		TOMA	ROTURA																																																																									
muestra 2 - 5% CAUCHO FINO	1	03-sep-18	10-sep-18	7	28.332	155																																																																						
	2	03-sep-18	10-sep-18	7	28.630	157																																																																						
	3	03-sep-18	17-sep-18	14	34.940	192																																																																						
	4	03-sep-18	17-sep-18	14	38.848	213																																																																						
	5	03-sep-18	24-sep-18	21	41.643	228																																																																						
	6	03-sep-18	24-sep-18	21	44.438	244																																																																						
	7	03-sep-18	01-oct-18	28	43.407	238																																																																						
	8	03-sep-18	01-oct-18	28	44.805	246																																																																						
	9	03-sep-18	01-oct-18	28	44.330	243																																																																						
----	----	----	----	----	----	----																																																																						

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

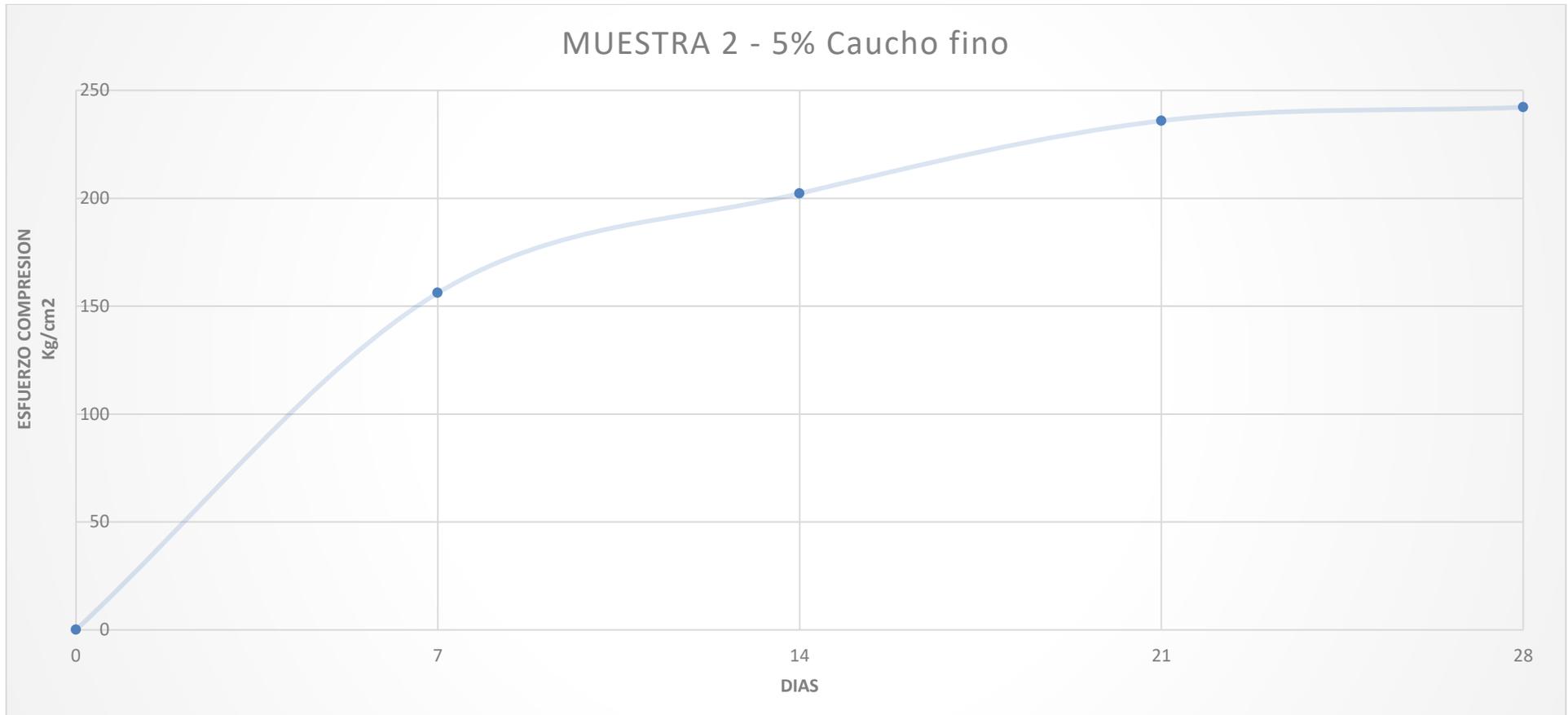


Ilustración 9

*Curva de resistencia a la compresión durante 28 días – Inclusión de 5% caucho fino*

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

Tabla 7

Tabla de resultados de ensayos a la compresión – Inclusión de 10% caucho fino

		<b>UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				<small>FACULTAD</small> <b>INGENIERÍA, INDUSTRIA</b> <small>Y CONSTRUCCIÓN</small>																																																																									
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN</b>																																																																															
PROYECTO:	TESIS					FECHA:	02-oct-18																																																																								
AGREGADO GRUESO	_____					AGREGADO FINO:	_____																																																																								
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO:	_____					RESISTENCIA DISEÑADA:	280	Kg/cm <sup>2</sup>																																																																							
DIÁMETRO CILINDRO:	15,24	cm.	ALTURA:	30,48	cm.	ÁREA :	182	cm <sup>2</sup>																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CILINDRO</th> <th rowspan="2">No.</th> <th colspan="2">FECHA</th> <th rowspan="2">DIAS</th> <th rowspan="2">CARGA MÁXIMA Kg.</th> <th rowspan="2">ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm<sup>2</sup></th> </tr> <tr> <th>TOMA</th> <th>ROTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="9" style="text-align: center;">muestra 3 10% CAUCHO FINO</td> <td>1</td> <td>04-sep-18</td> <td>11-sep-18</td> <td>7</td> <td>21.521</td> <td>118</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>04-sep-18</td> <td>11-sep-18</td> <td>7</td> <td>18.771</td> <td>103</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>04-sep-18</td> <td>18-sep-18</td> <td>14</td> <td>16.459</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>04-sep-18</td> <td>18-sep-18</td> <td>14</td> <td>25.158</td> <td>138</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>04-sep-18</td> <td>25-sep-18</td> <td>21</td> <td>31.844</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>04-sep-18</td> <td>25-sep-18</td> <td>21</td> <td>31.894</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>04-sep-18</td> <td>02-oct-18</td> <td>28</td> <td>34.419</td> <td>189</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>04-sep-18</td> <td>02-oct-18</td> <td>28</td> <td>35.693</td> <td>196</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>04-sep-18</td> <td>02-oct-18</td> <td>28</td> <td>37.068</td> <td>203</td> </tr> <tr> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> </tr> </tbody> </table>									CILINDRO	No.	FECHA		DIAS	CARGA MÁXIMA Kg.	ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	TOMA	ROTURA	muestra 3 10% CAUCHO FINO	1	04-sep-18	11-sep-18	7	21.521	118	2	04-sep-18	11-sep-18	7	18.771	103	3	04-sep-18	18-sep-18	14	16.459	90	4	04-sep-18	18-sep-18	14	25.158	138	5	04-sep-18	25-sep-18	21	31.844	175	6	04-sep-18	25-sep-18	21	31.894	175	7	04-sep-18	02-oct-18	28	34.419	189	8	04-sep-18	02-oct-18	28	35.693	196	9	04-sep-18	02-oct-18	28	37.068	203	----	----	----	----	----	----	----
CILINDRO	No.	FECHA		DIAS	CARGA MÁXIMA Kg.	ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>																																																																									
		TOMA	ROTURA																																																																												
muestra 3 10% CAUCHO FINO	1	04-sep-18	11-sep-18	7	21.521	118																																																																									
	2	04-sep-18	11-sep-18	7	18.771	103																																																																									
	3	04-sep-18	18-sep-18	14	16.459	90																																																																									
	4	04-sep-18	18-sep-18	14	25.158	138																																																																									
	5	04-sep-18	25-sep-18	21	31.844	175																																																																									
	6	04-sep-18	25-sep-18	21	31.894	175																																																																									
	7	04-sep-18	02-oct-18	28	34.419	189																																																																									
	8	04-sep-18	02-oct-18	28	35.693	196																																																																									
	9	04-sep-18	02-oct-18	28	37.068	203																																																																									
----	----	----	----	----	----	----																																																																									

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

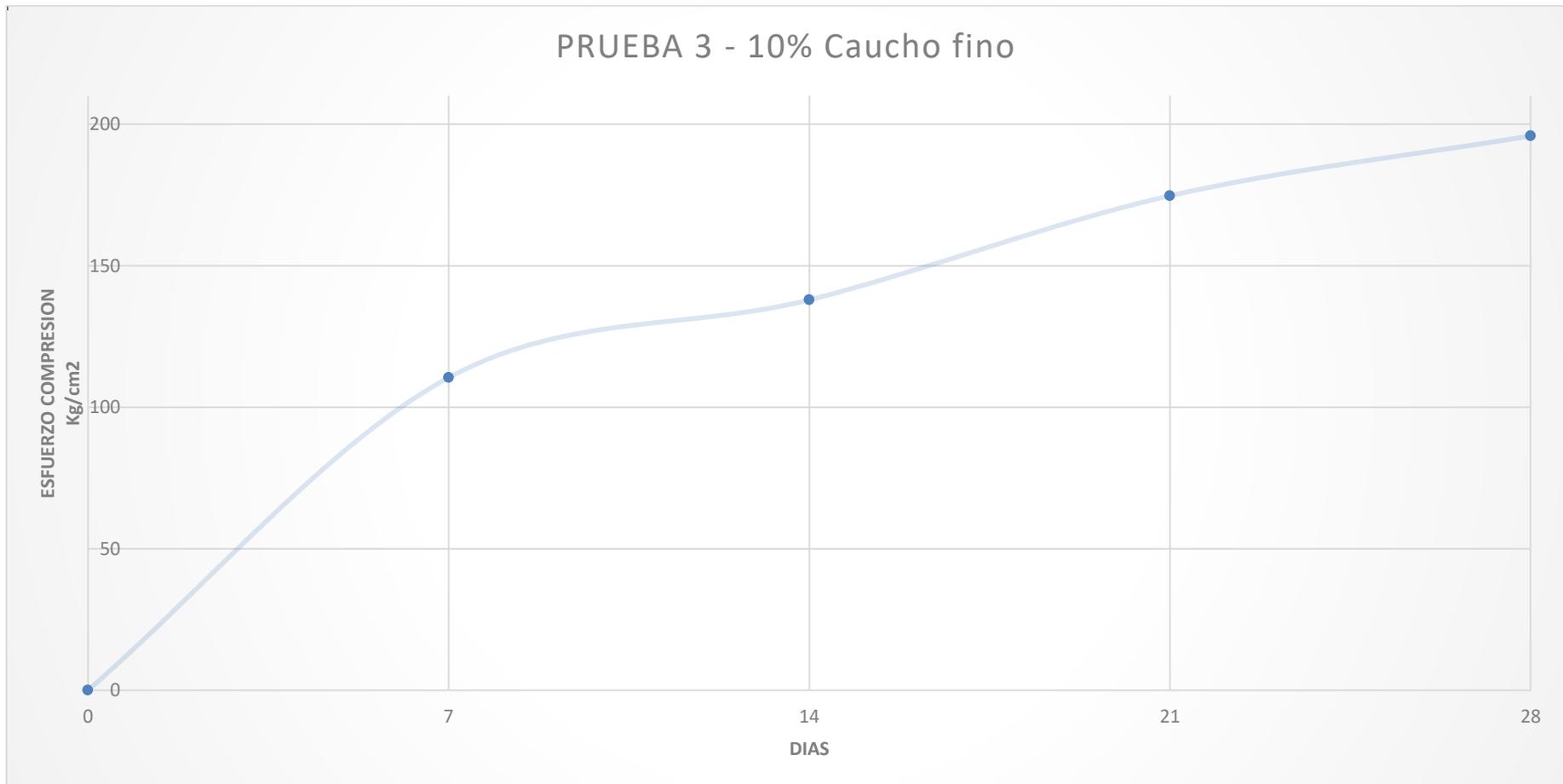


Ilustración 10  
Curva de resistencia a la compresión durante 28 días – Inclusión de 10% caucho fino  
Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

Tabla 8

Tabla de resultados de ensayos a la compresión – Inclusión de 5% caucho grueso

	<b>UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>																																																																								
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN																																																																									
PROYECTO:	TESIS	FECHA:	03-oct-18																																																																						
AGREGADO GRUESO	_____	AGREGADO FINO:	_____																																																																						
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:	_____	RESISTENCIA DISEÑADA:	280 Kg/cm <sup>2</sup>																																																																						
DIÁMETRO CILINDRO:	15,24 cm.	ALTURA:	30,48 cm																																																																						
		ÁREA :	182 cm <sup>2</sup>																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CILINDRO</th> <th rowspan="2">No.</th> <th colspan="2">FECHA</th> <th rowspan="2">DIAS</th> <th rowspan="2">CARGA MÁXIMA Kg.</th> <th rowspan="2">ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm<sup>2</sup></th> </tr> <tr> <th>TOMA</th> <th>ROTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="9" style="text-align: center; vertical-align: middle;">muestra 4 5% CAUCHO GRUESO</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">05-sep-18</td> <td style="text-align: center;">12-sep-18</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">21.821</td> <td style="text-align: center;">120</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">05-sep-18</td> <td style="text-align: center;">12-sep-18</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">22.083</td> <td style="text-align: center;">121</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">05-sep-18</td> <td style="text-align: center;">19-sep-18</td> <td style="text-align: center;">14</td> <td style="text-align: center;">26.157</td> <td style="text-align: center;">143</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">05-sep-18</td> <td style="text-align: center;">19-sep-18</td> <td style="text-align: center;">14</td> <td style="text-align: center;">27.482</td> <td style="text-align: center;">151</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">05-sep-18</td> <td style="text-align: center;">26-sep-18</td> <td style="text-align: center;">21</td> <td style="text-align: center;">29.019</td> <td style="text-align: center;">159</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">05-sep-18</td> <td style="text-align: center;">26-sep-18</td> <td style="text-align: center;">21</td> <td style="text-align: center;">33.394</td> <td style="text-align: center;">183</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">05-sep-18</td> <td style="text-align: center;">03-oct-18</td> <td style="text-align: center;">28</td> <td style="text-align: center;">29.394</td> <td style="text-align: center;">161</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">05-sep-18</td> <td style="text-align: center;">03-oct-18</td> <td style="text-align: center;">28</td> <td style="text-align: center;">33.594</td> <td style="text-align: center;">184</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">05-sep-18</td> <td style="text-align: center;">03-oct-18</td> <td style="text-align: center;">28</td> <td style="text-align: center;">34.306</td> <td style="text-align: center;">188</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">----</td> </tr> </tbody> </table>				CILINDRO	No.	FECHA		DIAS	CARGA MÁXIMA Kg.	ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	TOMA	ROTURA	muestra 4 5% CAUCHO GRUESO	1	05-sep-18	12-sep-18	7	21.821	120	2	05-sep-18	12-sep-18	7	22.083	121	3	05-sep-18	19-sep-18	14	26.157	143	4	05-sep-18	19-sep-18	14	27.482	151	5	05-sep-18	26-sep-18	21	29.019	159	6	05-sep-18	26-sep-18	21	33.394	183	7	05-sep-18	03-oct-18	28	29.394	161	8	05-sep-18	03-oct-18	28	33.594	184	9	05-sep-18	03-oct-18	28	34.306	188	----	----	----	----	----	----
CILINDRO	No.	FECHA				DIAS	CARGA MÁXIMA Kg.				ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>																																																														
		TOMA	ROTURA																																																																						
muestra 4 5% CAUCHO GRUESO	1	05-sep-18	12-sep-18	7	21.821	120																																																																			
	2	05-sep-18	12-sep-18	7	22.083	121																																																																			
	3	05-sep-18	19-sep-18	14	26.157	143																																																																			
	4	05-sep-18	19-sep-18	14	27.482	151																																																																			
	5	05-sep-18	26-sep-18	21	29.019	159																																																																			
	6	05-sep-18	26-sep-18	21	33.394	183																																																																			
	7	05-sep-18	03-oct-18	28	29.394	161																																																																			
	8	05-sep-18	03-oct-18	28	33.594	184																																																																			
	9	05-sep-18	03-oct-18	28	34.306	188																																																																			
----	----	----	----	----	----																																																																				

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

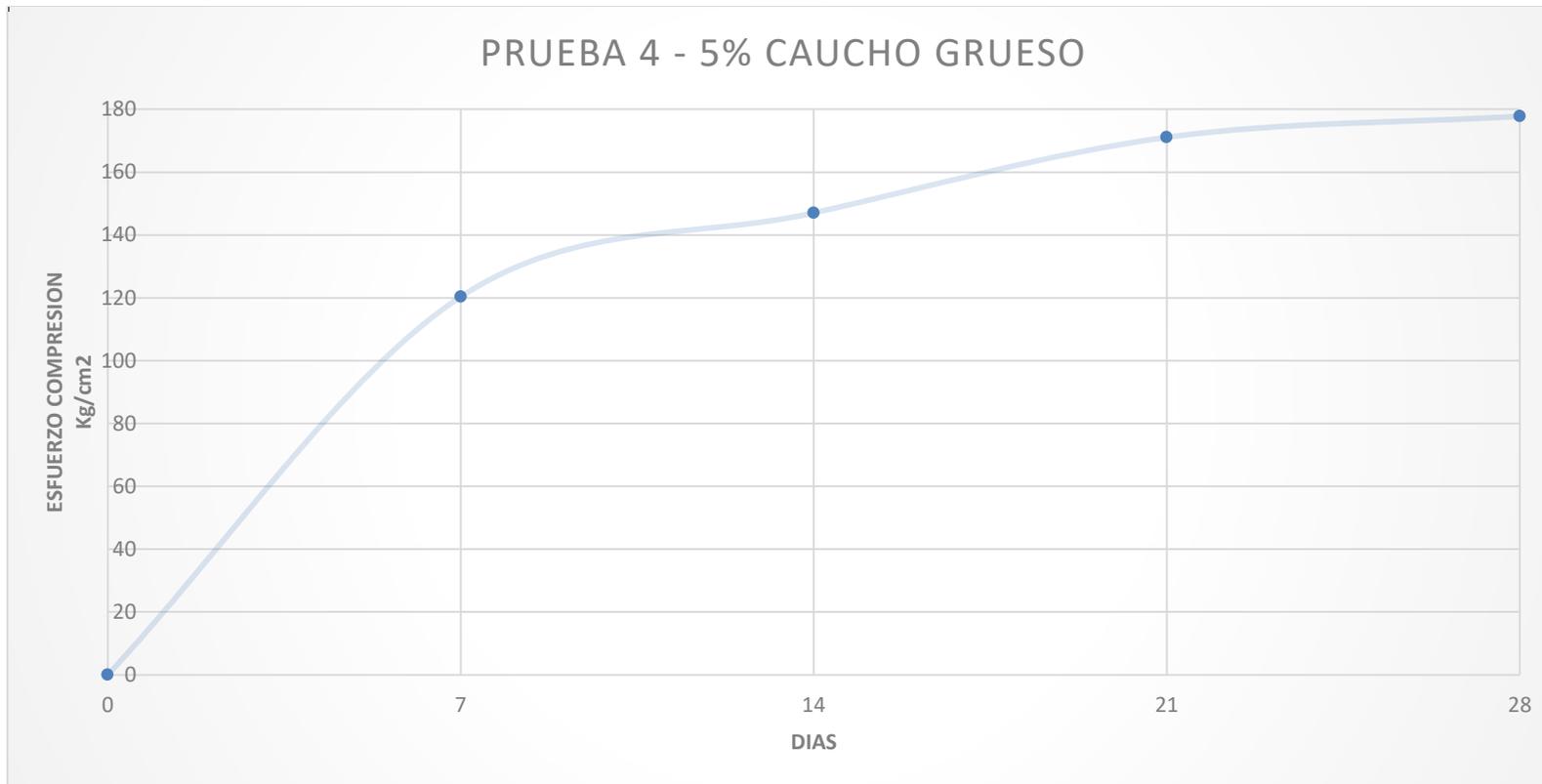


Ilustración 11  
Curva de resistencia a la compresión durante 28 días – Inclusión de 5% caucho grueso  
Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

Tabla 9

Tabla de resultados de ensayos a la compresión – Inclusión de 10% caucho grueso

 <b>UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 																																																																						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN																																																																						
PROYECTO:	TESIS				FECHA:	15-sep-18																																																																
AGREGADO GRUESO	_____			AGREGADO FINO:	_____																																																																	
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO:	_____			RESISTENCIA DISEÑADA:	280	Kg/cm <sup>2</sup>																																																																
DIÁMETRO CILINDRO:	15,24	cm.	ALTURA:	30,48	cm.	ÁREA : 182 cm <sup>2</sup>																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CILINDRO</th> <th rowspan="2">No.</th> <th colspan="2">FECHA</th> <th rowspan="2">DIAS</th> <th rowspan="2">CARGA MÁXIMA Kg.</th> <th rowspan="2">ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm<sup>2</sup></th> </tr> <tr> <th>TOMA</th> <th>ROTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="9" style="text-align: center; vertical-align: middle;">muestra 5 10% CAUCHO GRUESO</td> <td>1</td> <td>08-sep-18</td> <td>15-sep-18</td> <td>7</td> <td>18.709</td> <td>103</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>08-sep-18</td> <td>15-sep-18</td> <td>7</td> <td>19.346</td> <td>106</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>08-sep-18</td> <td>22-sep-18</td> <td>14</td> <td>20.496</td> <td>112</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>08-sep-18</td> <td>22-sep-18</td> <td>14</td> <td>20.620</td> <td>113</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>08-sep-18</td> <td>29-sep-18</td> <td>21</td> <td>21.784</td> <td>119</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>08-sep-18</td> <td>29-sep-18</td> <td>21</td> <td>21.084</td> <td>116</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>08-sep-18</td> <td>06-oct-18</td> <td>28</td> <td>23.547</td> <td>129</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>08-sep-18</td> <td>06-oct-18</td> <td>28</td> <td>22.734</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>08-sep-18</td> <td>06-oct-18</td> <td>28</td> <td>24.658</td> <td>135</td> </tr> </tbody> </table>							CILINDRO	No.	FECHA		DIAS	CARGA MÁXIMA Kg.	ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	TOMA	ROTURA	muestra 5 10% CAUCHO GRUESO	1	08-sep-18	15-sep-18	7	18.709	103	2	08-sep-18	15-sep-18	7	19.346	106	3	08-sep-18	22-sep-18	14	20.496	112	4	08-sep-18	22-sep-18	14	20.620	113	5	08-sep-18	29-sep-18	21	21.784	119	6	08-sep-18	29-sep-18	21	21.084	116	7	08-sep-18	06-oct-18	28	23.547	129	8	08-sep-18	06-oct-18	28	22.734	125	9	08-sep-18	06-oct-18	28	24.658	135
CILINDRO	No.	FECHA		DIAS	CARGA MÁXIMA Kg.	ESFUERZO COMPRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>																																																																
		TOMA	ROTURA																																																																			
muestra 5 10% CAUCHO GRUESO	1	08-sep-18	15-sep-18	7	18.709	103																																																																
	2	08-sep-18	15-sep-18	7	19.346	106																																																																
	3	08-sep-18	22-sep-18	14	20.496	112																																																																
	4	08-sep-18	22-sep-18	14	20.620	113																																																																
	5	08-sep-18	29-sep-18	21	21.784	119																																																																
	6	08-sep-18	29-sep-18	21	21.084	116																																																																
	7	08-sep-18	06-oct-18	28	23.547	129																																																																
	8	08-sep-18	06-oct-18	28	22.734	125																																																																
	9	08-sep-18	06-oct-18	28	24.658	135																																																																

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

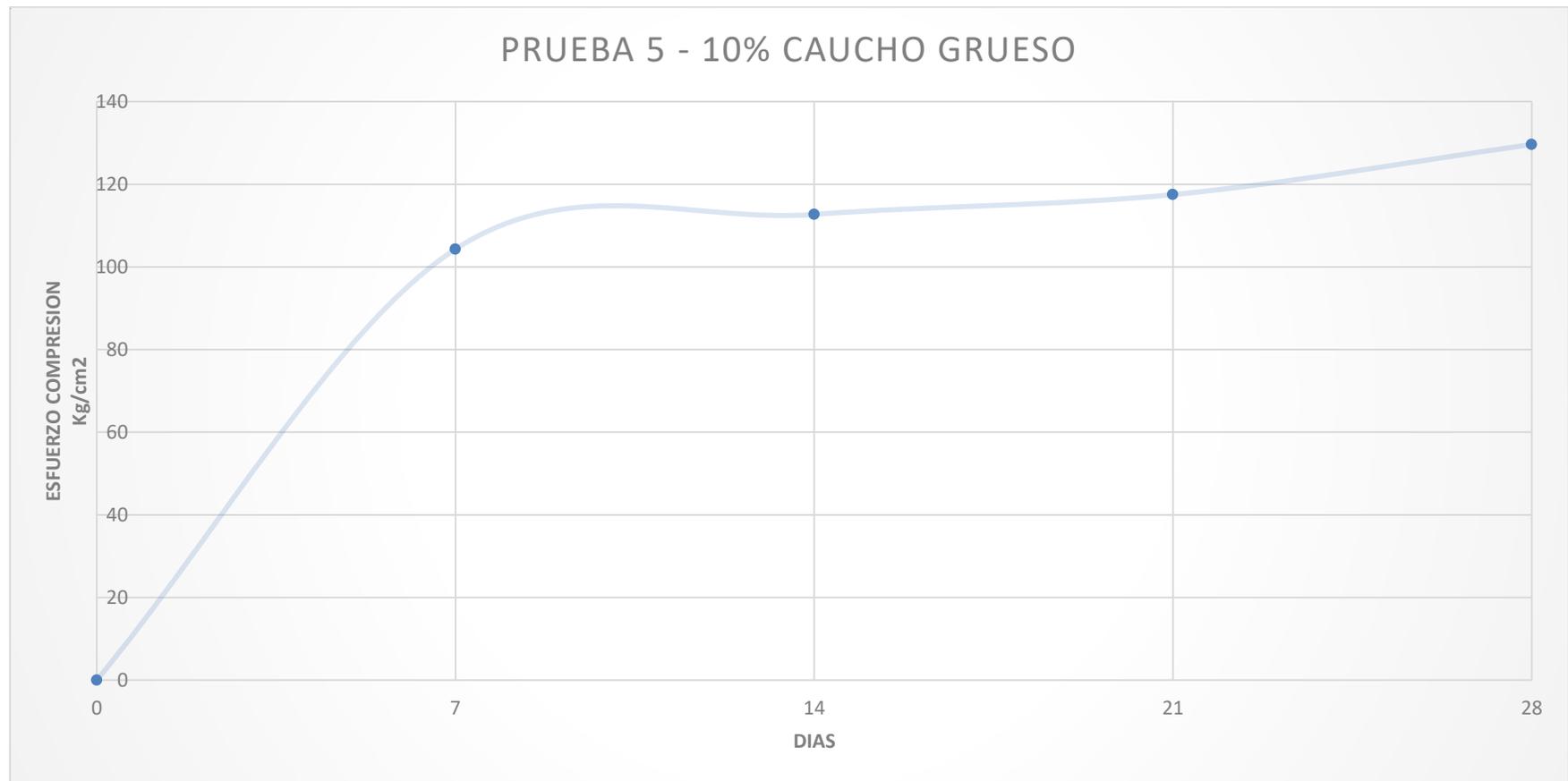


Ilustración 12  
*Curva de resistencia a la compresión a los 28 días – Inclusión de 10% caucho grueso*  
Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

#### **4.3.6. Ensayo de resistencia a la flexión**

En la aplicación de este ensayo al igual que el anterior se realizó con 5 muestras, una del hormigón tradicional y 2 con el caucho grueso, (Ver anexo 3).

La primera viga a ensayar de hormigón tradicional diseñada con una resistencia de 3.40 MPa tuvo un resultado posterior de 3.41 MPa al cabo de los 28 días de edad, la segunda viga a evaluar con el agregado de caucho fino en un porcentaje de 5% y resistencia diseñada de 3.40 MPa dio como resultado luego de aplicado el ensayo un valor de 2.89 MPa a los 28 días de edad, la tercera viga con agregado de 10% de caucho fino prevista para ensayo con una resistencia de diseño de 3.40 MPa dio un resultado posterior a la aplicación de ensayo de 2.79 MPa a los 28 días de edad, la cuarta viga de hormigón con agregado de 5% de caucho grueso puesta a ensayo con diseño de resistencia de 3.40 MPa dio como resultado 2.75 MPa a los 28 días de edad, para la última viga puesta a ensayo con 10% de agregado de caucho grueso con un diseño de resistencias de 3.40 MPa se obtuvo 2.54 MPa como resultado final a los 28 días de edad, (Ver anexo 5).

Tabla 10

Tabla de resultados de ensayos a la flexión – Hormigón tradicional

	<b>UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>																																																																																		
<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN</b>																																																																																			
PROYECTO: TESIS CEMENTO: RELACIÓN AGUA - CEMENTO (A/C) RESISTENCIA LARGO = 53 cm.	3,40 MPa ANCHO = 15.5 cm.	FECHA: 29/09/2018 MÓDULO DE FINURA: VOLUMEN: 12733,3 cm <sup>3</sup> REVENIMIENTO: cm. ESPESOR = 15.5 cm.																																																																																	
PRUEBA 1- SIN INCLUSIÓN DE CAUCHO	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">VIGA No.</th> <th colspan="2">FECHA</th> <th rowspan="2">EDAD DIAS</th> <th rowspan="2">MÁXIMA Kg.</th> <th rowspan="2">RESISTENCIA Kg/cm<sup>2</sup></th> <th rowspan="2">RESISTENCIA MPa</th> <th rowspan="2">%</th> </tr> <tr> <th>TOMA</th> <th>ROTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>01/09/2018</td><td>08/09/2018</td><td>7</td><td>1999</td><td>25,98</td><td>2,55</td><td>75</td></tr> <tr><td>2</td><td>01/09/2018</td><td>08/09/2018</td><td>7</td><td>1880</td><td>24,43</td><td>2,40</td><td>70</td></tr> <tr><td>3</td><td>01/09/2018</td><td>15/09/2018</td><td>14</td><td>2301</td><td>29,90</td><td>2,93</td><td>86</td></tr> <tr><td>4</td><td>01/09/2018</td><td>15/09/2018</td><td>14</td><td>2329</td><td>30,27</td><td>2,97</td><td>87</td></tr> <tr><td>5</td><td>01/09/2018</td><td>22/09/2018</td><td>21</td><td>2341</td><td>30,42</td><td>2,98</td><td>88</td></tr> <tr><td>6</td><td>01/09/2018</td><td>22/09/2018</td><td>21</td><td>2384</td><td>30,98</td><td>3,04</td><td>89</td></tr> <tr><td>7</td><td>01/09/2018</td><td>29/09/2018</td><td>28</td><td>2625</td><td>34,11</td><td>3,35</td><td>98</td></tr> <tr><td>8</td><td>01/09/2018</td><td>29/09/2018</td><td>28</td><td>2679</td><td>34,82</td><td>3,41</td><td>100</td></tr> <tr> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>	VIGA No.	FECHA		EDAD DIAS	MÁXIMA Kg.	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA MPa	%	TOMA	ROTURA	1	01/09/2018	08/09/2018	7	1999	25,98	2,55	75	2	01/09/2018	08/09/2018	7	1880	24,43	2,40	70	3	01/09/2018	15/09/2018	14	2301	29,90	2,93	86	4	01/09/2018	15/09/2018	14	2329	30,27	2,97	87	5	01/09/2018	22/09/2018	21	2341	30,42	2,98	88	6	01/09/2018	22/09/2018	21	2384	30,98	3,04	89	7	01/09/2018	29/09/2018	28	2625	34,11	3,35	98	8	01/09/2018	29/09/2018	28	2679	34,82	3,41	100	----	----	----	----	----	----	----	---
VIGA No.	FECHA		EDAD DIAS	MÁXIMA Kg.						RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA MPa	%																																																																							
	TOMA	ROTURA																																																																																	
1	01/09/2018	08/09/2018	7	1999	25,98	2,55	75																																																																												
2	01/09/2018	08/09/2018	7	1880	24,43	2,40	70																																																																												
3	01/09/2018	15/09/2018	14	2301	29,90	2,93	86																																																																												
4	01/09/2018	15/09/2018	14	2329	30,27	2,97	87																																																																												
5	01/09/2018	22/09/2018	21	2341	30,42	2,98	88																																																																												
6	01/09/2018	22/09/2018	21	2384	30,98	3,04	89																																																																												
7	01/09/2018	29/09/2018	28	2625	34,11	3,35	98																																																																												
8	01/09/2018	29/09/2018	28	2679	34,82	3,41	100																																																																												
----	----	----	----	----	----	----	---																																																																												

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

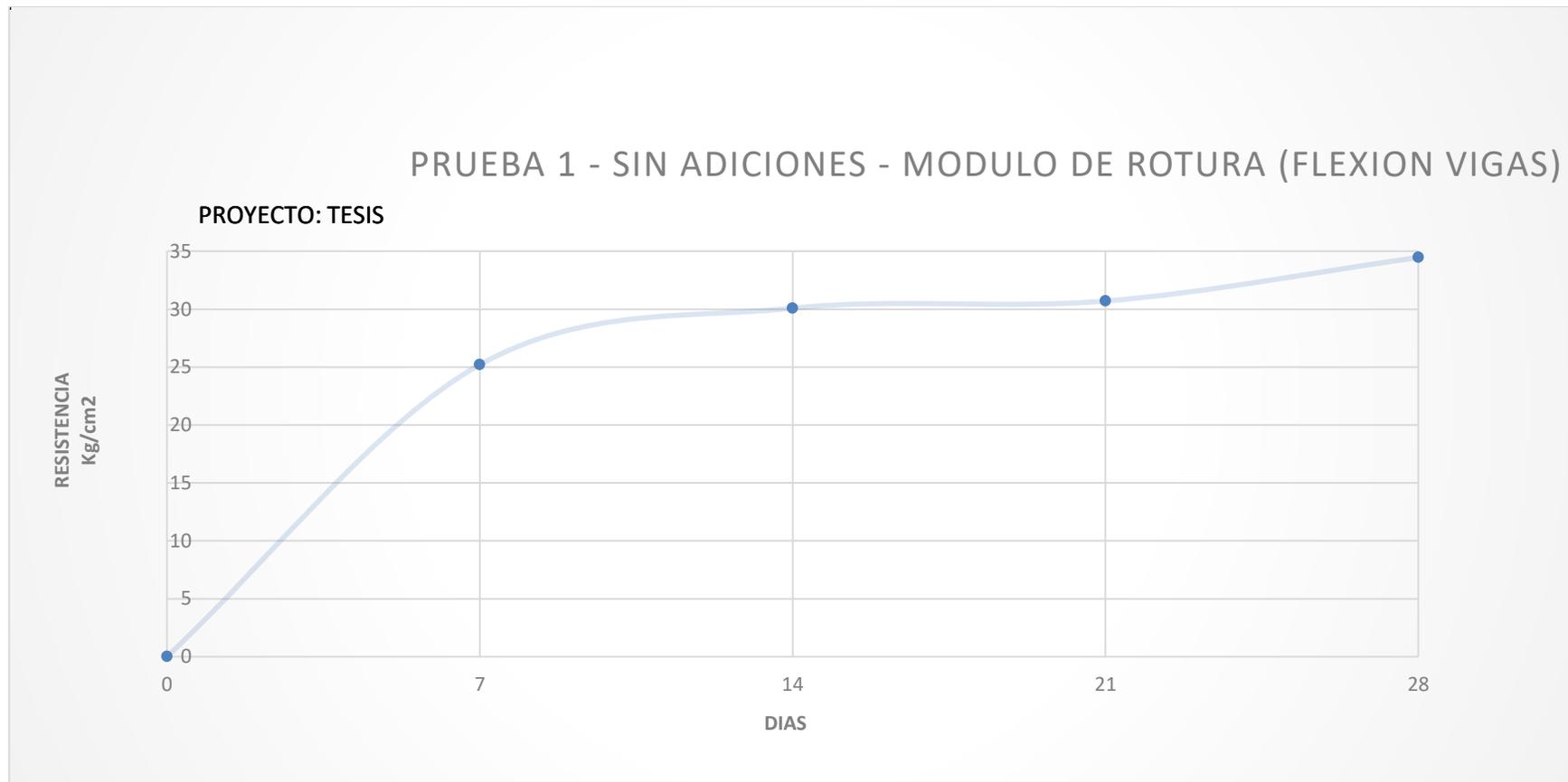


Ilustración 13  
*Curva de resistencia a la flexión – Hormigón sin inclusión de caucho*  
Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

Tabla 11

Tabla de resultados de ensayos a la flexión – Inclusión de 5% caucho fino

	<b>UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>																																																																																		
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN																																																																																			
PROYECTO: TESIS CEMENTO: RELACIÓN AGUA - CEMENTO (A/C) RESISTENCIA 3,40 MPa LARGO = 53 cm. ANCHO = 15.5 cm.	ESPESOR = 15.5 cm.	FECHA: 01/10/2018 MODULO DE FINURA: VOLUMEN: 12733,3 cm <sup>3</sup> REVENIMIENTO cm.																																																																																	
PRUEBA 2 - 5% CAUCHO FINO	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">VIGA No.</th> <th colspan="2">FECHA</th> <th rowspan="2">EDAD DIAS</th> <th rowspan="2">RESISTENCIA MÁXIMA Kg.</th> <th rowspan="2">RESISTENCIA Kg/cm<sup>2</sup></th> <th rowspan="2">RESISTENCIA MPa</th> <th rowspan="2">%</th> </tr> <tr> <th>TOMA</th> <th>ROTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>03/09/2018</td><td>10/09/2018</td><td>7</td><td>1473</td><td>19,14</td><td>1,88</td><td>55</td></tr> <tr><td>2</td><td>03/09/2018</td><td>10/09/2018</td><td>7</td><td>1599</td><td>20,78</td><td>2,04</td><td>60</td></tr> <tr><td>3</td><td>03/09/2018</td><td>17/09/2018</td><td>14</td><td>2062</td><td>26,80</td><td>2,63</td><td>77</td></tr> <tr><td>4</td><td>03/09/2018</td><td>17/09/2018</td><td>14</td><td>2065</td><td>26,84</td><td>2,63</td><td>77</td></tr> <tr><td>5</td><td>03/09/2018</td><td>24/09/2018</td><td>21</td><td>1970</td><td>25,60</td><td>2,51</td><td>74</td></tr> <tr><td>6</td><td>03/09/2018</td><td>24/09/2018</td><td>21</td><td>2253</td><td>29,28</td><td>2,87</td><td>84</td></tr> <tr><td>7</td><td>03/09/2018</td><td>01/10/2018</td><td>28</td><td>2122</td><td>27,58</td><td>2,70</td><td>80</td></tr> <tr><td>8</td><td>03/09/2018</td><td>01/10/2018</td><td>28</td><td>2270</td><td>29,50</td><td>2,89</td><td>85</td></tr> <tr> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> </tr> </tbody> </table>	VIGA No.	FECHA		EDAD DIAS	RESISTENCIA MÁXIMA Kg.	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA MPa	%	TOMA	ROTURA	1	03/09/2018	10/09/2018	7	1473	19,14	1,88	55	2	03/09/2018	10/09/2018	7	1599	20,78	2,04	60	3	03/09/2018	17/09/2018	14	2062	26,80	2,63	77	4	03/09/2018	17/09/2018	14	2065	26,84	2,63	77	5	03/09/2018	24/09/2018	21	1970	25,60	2,51	74	6	03/09/2018	24/09/2018	21	2253	29,28	2,87	84	7	03/09/2018	01/10/2018	28	2122	27,58	2,70	80	8	03/09/2018	01/10/2018	28	2270	29,50	2,89	85	----	----	----	----	----	----	----	----
VIGA No.	FECHA		EDAD DIAS	RESISTENCIA MÁXIMA Kg.						RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA MPa	%																																																																							
	TOMA	ROTURA																																																																																	
1	03/09/2018	10/09/2018	7	1473	19,14	1,88	55																																																																												
2	03/09/2018	10/09/2018	7	1599	20,78	2,04	60																																																																												
3	03/09/2018	17/09/2018	14	2062	26,80	2,63	77																																																																												
4	03/09/2018	17/09/2018	14	2065	26,84	2,63	77																																																																												
5	03/09/2018	24/09/2018	21	1970	25,60	2,51	74																																																																												
6	03/09/2018	24/09/2018	21	2253	29,28	2,87	84																																																																												
7	03/09/2018	01/10/2018	28	2122	27,58	2,70	80																																																																												
8	03/09/2018	01/10/2018	28	2270	29,50	2,89	85																																																																												
----	----	----	----	----	----	----	----																																																																												

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

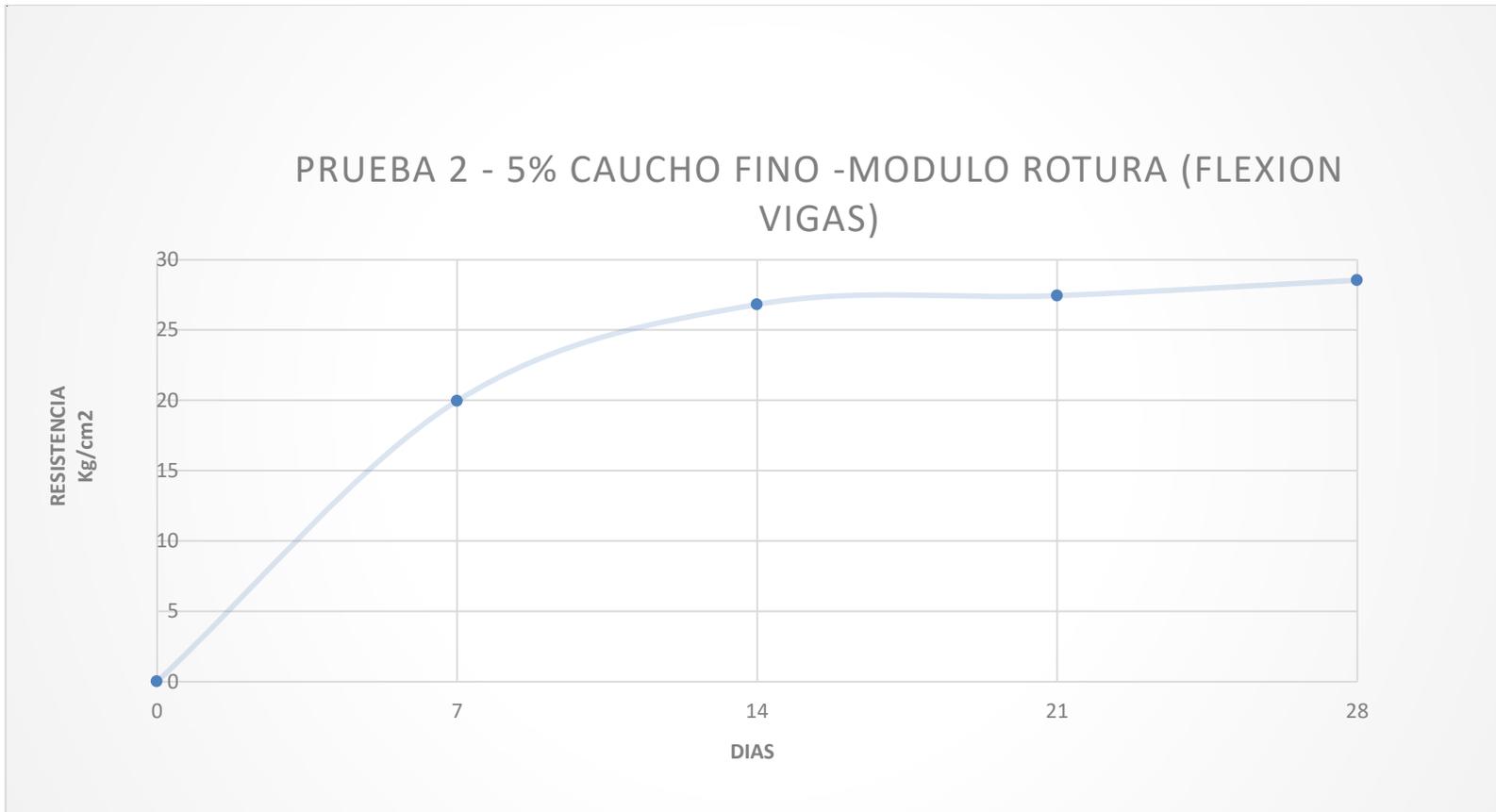


Ilustración 14  
*Curva de resistencia a la flexión – Inclusión de 5% caucho fino*  
Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

Tabla 12

Tabla de resultados de ensayos a la flexión – Inclusión de 10% caucho fino

	<b>UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>																																																																																					
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN																																																																																						
PROYECTO : TESIS CEMENTO: RELACIÓN AGUA - CEMENTO (A/C) RESISTENCIA                      3,40        MPa LARGO = 53 cm.                      ANCHO = 15.5 cm.	MODULO DE FINURA: VOLUMEN:                      12733,3                      cm <sup>3</sup> REVENIMIENTO:                      cm. ESPESOR = 15.5 cm.	FECHA:                      02/10/2018																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">VIGA No.</th> <th colspan="2">FECHA</th> <th rowspan="2">EDAD DIAS</th> <th rowspan="2">MÁXIMA Kg.</th> <th rowspan="2">RESISTENCIA Kg/cm<sup>2</sup></th> <th rowspan="2">RESISTENCIA MPa</th> <th rowspan="2">%</th> </tr> <tr> <th>TOMA</th> <th>ROTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="8">PRUEBA 3 - 10% CAUCHO FINO</td> <td>1</td> <td>04/09/2018</td> <td>11/09/2018</td> <td>7</td> <td>1531</td> <td>19,90</td> <td>1,95</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>04/09/2018</td> <td>11/09/2018</td> <td>7</td> <td>1469</td> <td>19,09</td> <td>1,87</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>04/09/2018</td> <td>18/09/2018</td> <td>14</td> <td>1654</td> <td>21,50</td> <td>2,11</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>04/09/2018</td> <td>18/09/2018</td> <td>14</td> <td>1710</td> <td>22,22</td> <td>2,18</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>04/09/2018</td> <td>25/09/2018</td> <td>21</td> <td>1893</td> <td>24,60</td> <td>2,41</td> <td>71</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>04/09/2018</td> <td>25/09/2018</td> <td>21</td> <td>1856</td> <td>24,12</td> <td>2,37</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>04/09/2018</td> <td>02/10/2018</td> <td>28</td> <td>2048</td> <td>26,62</td> <td>2,61</td> <td>77</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>04/09/2018</td> <td>02/10/2018</td> <td>28</td> <td>2187</td> <td>28,42</td> <td>2,79</td> <td>82</td> </tr> <tr> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>			VIGA No.	FECHA		EDAD DIAS	MÁXIMA Kg.	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA MPa	%	TOMA	ROTURA	PRUEBA 3 - 10% CAUCHO FINO	1	04/09/2018	11/09/2018	7	1531	19,90	1,95	57	2	04/09/2018	11/09/2018	7	1469	19,09	1,87	55	3	04/09/2018	18/09/2018	14	1654	21,50	2,11	62	4	04/09/2018	18/09/2018	14	1710	22,22	2,18	64	5	04/09/2018	25/09/2018	21	1893	24,60	2,41	71	6	04/09/2018	25/09/2018	21	1856	24,12	2,37	70	7	04/09/2018	02/10/2018	28	2048	26,62	2,61	77	8	04/09/2018	02/10/2018	28	2187	28,42	2,79	82	----	----	----	----	----	----	----	----	---
VIGA No.	FECHA			EDAD DIAS	MÁXIMA Kg.						RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA MPa		%																																																																								
	TOMA	ROTURA																																																																																				
PRUEBA 3 - 10% CAUCHO FINO	1	04/09/2018	11/09/2018	7	1531	19,90	1,95	57																																																																														
	2	04/09/2018	11/09/2018	7	1469	19,09	1,87	55																																																																														
	3	04/09/2018	18/09/2018	14	1654	21,50	2,11	62																																																																														
	4	04/09/2018	18/09/2018	14	1710	22,22	2,18	64																																																																														
	5	04/09/2018	25/09/2018	21	1893	24,60	2,41	71																																																																														
	6	04/09/2018	25/09/2018	21	1856	24,12	2,37	70																																																																														
	7	04/09/2018	02/10/2018	28	2048	26,62	2,61	77																																																																														
	8	04/09/2018	02/10/2018	28	2187	28,42	2,79	82																																																																														
----	----	----	----	----	----	----	----	---																																																																														

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

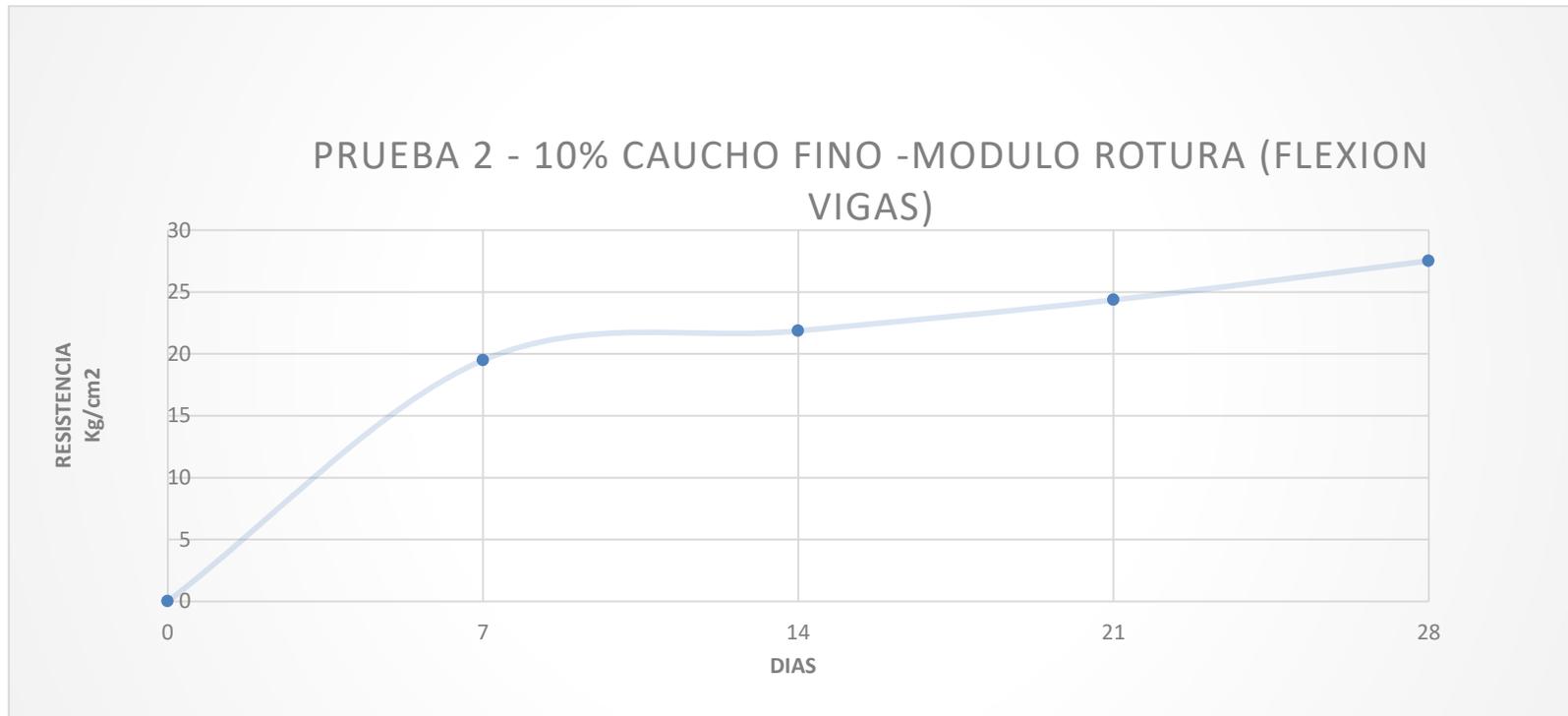


Ilustración 15  
Curva de resistencia a la flexión – Inclusión de 10% caucho fino  
Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)



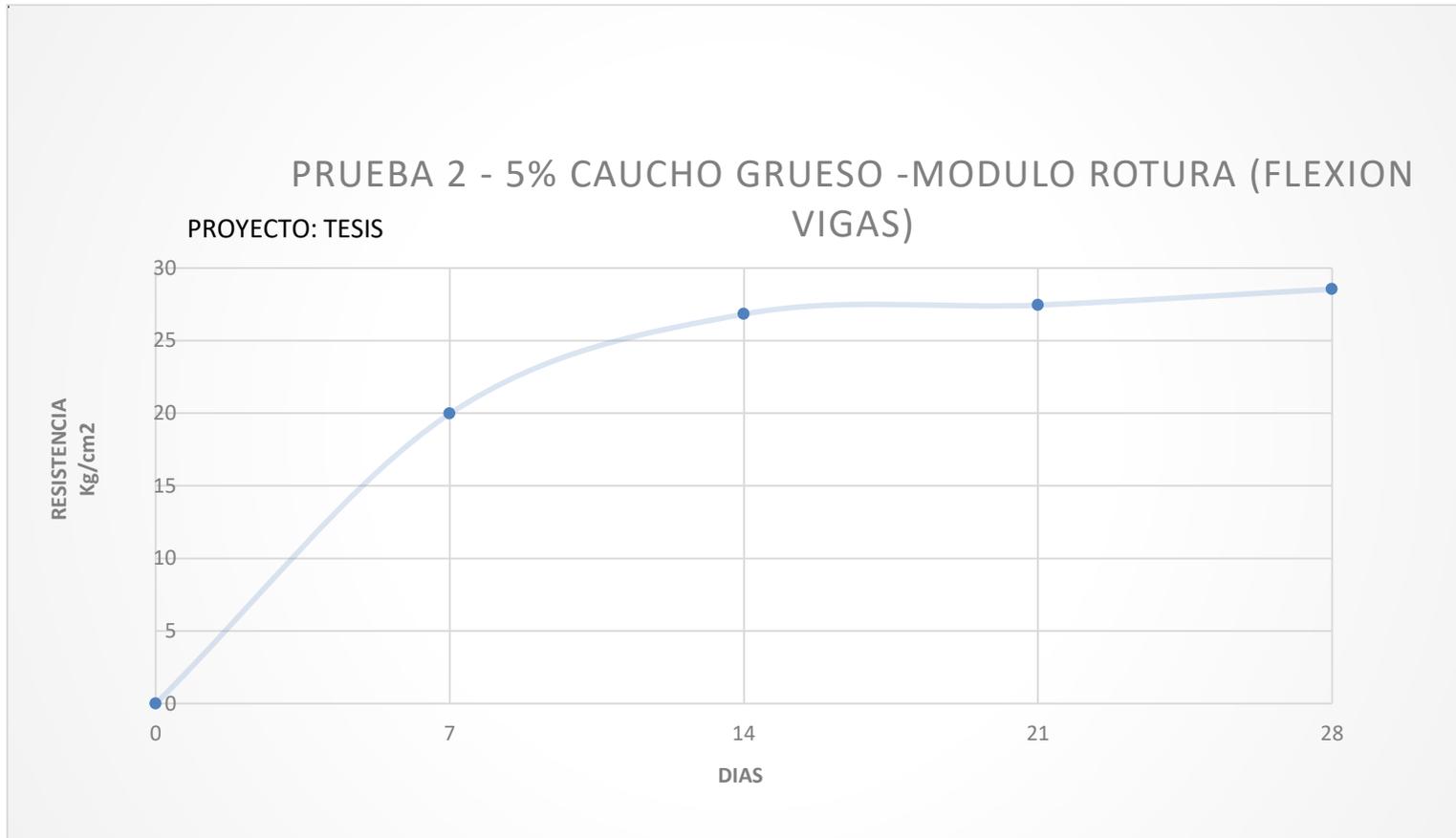


Ilustración 16

*Curva de resistencia a la flexión – Inclusión de 5% caucho fino*

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

Tabla 14

Tabla de resultados de ensayos a la flexión – Inclusión de 10% caucho grueso

	<b>UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>																																																																																			
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN																																																																																				
PROYECTO: TESIS CEMENTO: RELACIÓN AGUA - CEMENTO (A/C) RESISTENCIA	3,40          MPa	FECHA: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">06/10/2018</span>																																																																																		
LARGO = 53 cm.	ANCHO = 15.5 cm.	ESPESOR = 15.5 cm. MODULO DE FINURA: VOLUMEN:          12733,3          cm <sup>3</sup> REVENIMIENTO:          cm.																																																																																		
PRUEBA 5 10% CAUCHO GRUESO	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">VIGA No.</th> <th colspan="2">FECHA</th> <th rowspan="2">EDAD DIAS</th> <th rowspan="2">MÁXIMA Kg.</th> <th rowspan="2">RESISTENCIA Kg/cm<sup>2</sup></th> <th rowspan="2">RESISTENCIA MPa</th> <th rowspan="2">%</th> </tr> <tr> <th>TOMA</th> <th>ROTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>08/09/2018</td><td>15/09/2018</td><td>7</td><td>1527</td><td>19,84</td><td>1,95</td><td>57</td></tr> <tr><td>2</td><td>08/09/2018</td><td>15/09/2018</td><td>7</td><td>1793</td><td>23,30</td><td>2,29</td><td>67</td></tr> <tr><td>3</td><td>08/09/2018</td><td>22/09/2018</td><td>14</td><td>1664</td><td>21,63</td><td>2,12</td><td>62</td></tr> <tr><td>4</td><td>08/09/2018</td><td>22/09/2018</td><td>14</td><td>1587</td><td>20,62</td><td>2,02</td><td>59</td></tr> <tr><td>5</td><td>08/09/2018</td><td>29/09/2018</td><td>21</td><td>1835</td><td>23,85</td><td>2,34</td><td>69</td></tr> <tr><td>6</td><td>08/09/2018</td><td>29/09/2018</td><td>21</td><td>1879</td><td>24,42</td><td>2,39</td><td>70</td></tr> <tr><td>7</td><td>08/09/2018</td><td>06/10/2018</td><td>28</td><td>1818</td><td>23,63</td><td>2,32</td><td>68</td></tr> <tr><td>8</td><td>08/09/2018</td><td>06/10/2018</td><td>28</td><td>1995</td><td>25,93</td><td>2,54</td><td>75</td></tr> <tr> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>	VIGA No.	FECHA		EDAD DIAS	MÁXIMA Kg.	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA MPa	%	TOMA	ROTURA	1	08/09/2018	15/09/2018	7	1527	19,84	1,95	57	2	08/09/2018	15/09/2018	7	1793	23,30	2,29	67	3	08/09/2018	22/09/2018	14	1664	21,63	2,12	62	4	08/09/2018	22/09/2018	14	1587	20,62	2,02	59	5	08/09/2018	29/09/2018	21	1835	23,85	2,34	69	6	08/09/2018	29/09/2018	21	1879	24,42	2,39	70	7	08/09/2018	06/10/2018	28	1818	23,63	2,32	68	8	08/09/2018	06/10/2018	28	1995	25,93	2,54	75	----	----	----	----	----	----	----	---	
VIGA No.	FECHA		EDAD DIAS	MÁXIMA Kg.						RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA MPa	%																																																																								
	TOMA	ROTURA																																																																																		
1	08/09/2018	15/09/2018	7	1527	19,84	1,95	57																																																																													
2	08/09/2018	15/09/2018	7	1793	23,30	2,29	67																																																																													
3	08/09/2018	22/09/2018	14	1664	21,63	2,12	62																																																																													
4	08/09/2018	22/09/2018	14	1587	20,62	2,02	59																																																																													
5	08/09/2018	29/09/2018	21	1835	23,85	2,34	69																																																																													
6	08/09/2018	29/09/2018	21	1879	24,42	2,39	70																																																																													
7	08/09/2018	06/10/2018	28	1818	23,63	2,32	68																																																																													
8	08/09/2018	06/10/2018	28	1995	25,93	2,54	75																																																																													
----	----	----	----	----	----	----	---																																																																													

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

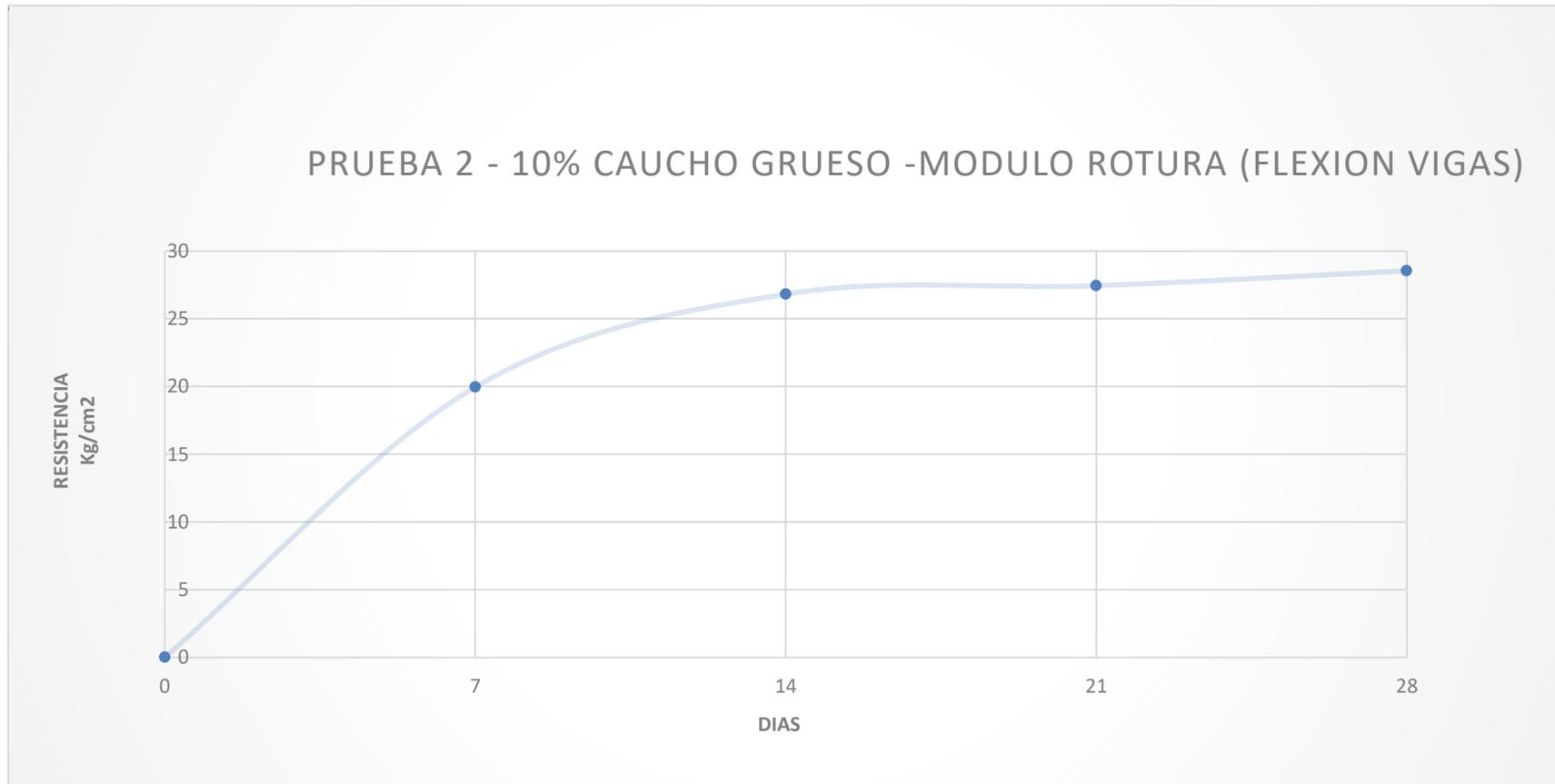


Ilustración 17  
*Curva de resistencia a la flexión – Inclusión de 10% caucho grueso*  
Fuente: Ordóñez M.; Loo F. (2018)

## PÁRRAFO COMPARATIVO

Con esta investigación se pretende mejorar el comportamiento mecánico de flexión y/o compresión del hormigón con la inclusión de partículas de caucho de neumáticos reciclados, con dimensiones que se asemejen a la granulometría de la piedra de ½” y a la de arena; sin embargo, a pesar de no haber obtenidos buenos resultados en cuanto a la comparación con la resistencia a compresión, se pudo obtener información positiva cuando se ensayaban las probetas (vigas) a flexión.

**Absorción.** - Los agregados pétreos tienen poco porcentaje de absorción a pesar de ser cuerpos porosos, mientras que las partículas de caucho grueso (reemplazo de la piedra) absorbían un 12% de su propio peso y las de caucho fino (reemplazo de la arena) hasta un 40%.

**Desgaste por abrasión.** – Los agregados gruesos como es de conocimiento general, presenta un porcentaje de desgaste notable el cual se determina mediante el ensayo de abrasión; sin embargo, las partículas de caucho que se usaron en reemplazo del agregado grueso, eran prácticamente inmunes al desgaste, según el ensayo de abrasión mediante la prueba de Los Ángeles.

**Tipo de falla.** – Los cilindros de hormigón tradicional ensayados presentan en las roturas tipo de falla A (Cono), mientras que los cilindros de hormigón con caucho presentan una falla similar a la del tipo D (corte) pero sin grado de inclinación, prácticamente perpendicular a la longitud del cilindro.

**Comportamiento del cilindro en el ensayo.** – Los cilindros de hormigón tradicional al aplicarles carga, presentaba fallas de manera progresiva y con simple aparición de fisuras, y los cilindros elaborados con hormigón con caucho, tendían a explotar cuando se le aplicaban las cargas.

**Cohesión de componentes.** – En los ensayos a compresión, el hormigón tradicional al momento de fallar en las roturas, desprendía trozos de hormigón que presentaban cohesión entre los agregados y la pasta de cemento; mientras que los cilindros de hormigón con inclusión de caucho, no presentan esa amalgama característica del hormigón tradicional, existiendo falta de adherencia entre los componentes del hormigón.

**Análisis de costos.** – De acuerdo al análisis de precios unitarios realizados tanto de hormigón tradicional como de hormigón con inclusión de caucho reciclado en los diferentes porcentajes de reemplazo de agregados fino y grueso, se obtuvo como resultado un leve incremento en el precio del m3 de hormigón de acuerdo al porcentaje de caucho adicionado, esto puede variar considerablemente ya que en la actualidad en la ciudad de Guayaquil no existe una gran demanda de caucho triturado producto de reciclaje de neumáticos, al ser empleado en obras civiles habría una mayor demanda de caucho triturado en diferente granulometría y esto provocaría un decremento en su costo de comercialización y abarataría el costo final del hormigón con inclusión de caucho. A continuación se presenta el análisis de precio unitario correspondiente.

Tabla 15  
*Tabla de análisis de precios unitarios – Hormigón tradicional*

<b>RUBRO</b>	<b>1</b>		<b>UNIDAD:</b>	<b>m3</b>
<b>DETALLE:</b>	<b>HORMIGON f'c=280 KG/CM2 (TRADICIONAL)</b>		<b>RENDIMIENTO:</b>	<b>0,160</b>

<b>1.- EQUIPOS</b>						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO	
CONCRETERA DE 1 SACO	1	3,75	3,75	0,160	0,60	
EQUIPOS SUBTOTAL					0,60	

<b>2.- MANO DE OBRA</b>						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO	
MAESTRO DE OBRA	0,25	3,75	0,94	0,160	0,15	
PEÓN	2,00	3,12	6,24	0,160	1,00	
MANO DE OBRA SUBTOTAL					1,15	

<b>3.- MATERIALES</b>						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO		
CEMENTO IP	U	8,80	7,63	67,14		
ARENA GRUESA	M3	0,46	12,00	5,52		
PIEDRA TRITURADA	M3	0,68	13,50	9,18		
AGUA	LTS	220,00	0,05	11,00		
MATERIAL SUBTOTAL					92,84	

<b>4.- TRANSPORTE</b>						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO		
				0,00		
TRANSPORTE SUBTOTAL					0,00	

<b>COSTO DIRECTO</b>	94,59
<b>INDIRECTOS 15%</b>	14,19
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>108,78</b>

Fuente: Ordóñez M.; Loo F. (2018)

Tabla 16  
 Tabla de análisis de precios unitarios – Hormigón con 5% de caucho fino

<b>RUBRO</b>	<b>1</b>	<b>UNIDAD:</b>	<b>m3</b>
<b>DETALLE:</b>	<b>HORMIGON f'c=280 KG/CM2 CON 5% DE CAUCHO FINO</b>	<b>RENDIMIENTO:</b>	<b>0,160</b>

<b>1.- EQUIPOS</b>						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO	
CONCRETERA DE 1 SACO	1	3,75	3,75	0,160	0,60	
EQUIPOS SUBTOTAL					0,60	

<b>2.- MANO DE OBRA</b>						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO	
MAESTRO DE OBRA	0,25	3,75	0,94	0,160	0,15	
PEÓN	2,00	3,12	6,24	0,160	1,00	
MANO DE OBRA SUBTOTAL					1,15	

<b>3.- MATERIALES</b>						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO		
CEMENTO IP	U	8,80	7,63	67,14		
ARENA GRUESA	M3	0,44	12,00	5,24		
PIEDRA TRITURADA	M3	0,68	13,50	9,18		
AGUA	LTS	220,00	0,05	11,00		
5% DE CAUCHO FINO	M3	0,02	20,00	0,46		
MATERIAL SUBTOTAL					93,03	

<b>4.- TRANSPORTE</b>						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO		
				0,00		
TRANSPORTE SUBTOTAL					0,00	

<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>94,78</b>
<b>INDIRECTOS 15%</b>	<b>14,22</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>108,99</b>

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

Tabla 17

Tabla de análisis de precios unitarios – Hormigón con 10% de caucho fino

<b>RUBRO</b>	<b>1</b>		<b>UNIDAD:</b>	<b>m3</b>
<b>DETALLE:</b>	<b>HORMIGON f'c=280 KG/CM2 CON 10% DE CAUCHO FINO</b>		<b>RENDIMIENTO:</b>	<b>0,160</b>

<b>1.- EQUIPOS</b>						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO	
CONCRETERA DE 1 SACO	1	3,75	3,75	0,160	0,60	
EQUIPOS SUBTOTAL					0,60	

<b>2.- MANO DE OBRA</b>						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO	
MAESTRO DE OBRA	0,25	3,75	0,94	0,160	0,15	
PEÓN	2,00	3,12	6,24	0,160	1,00	
MANO DE OBRA SUBTOTAL					1,15	

<b>3.- MATERIALES</b>						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO		
CEMENTO IP	U	8,80	7,63	67,14		
ARENA GRUESA	M3	0,42	12,00	5,02		
PIEDRA TRITURADA	M3	0,68	13,50	9,18		
AGUA	LTS	220,00	0,05	11,00		
10% DE CAUCHO FINO	M3	0,04	20,00	0,80		
MATERIAL SUBTOTAL					93,14	

<b>4.- TRANSPORTE</b>						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO		
				0,00		
TRANSPORTE SUBTOTAL					0,00	

<b>COSTO DIRECTO</b>	94,89
<b>INDIRECTOS 15%</b>	14,23
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>109,12</b>

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

Tabla 18

Tabla de análisis de precios unitarios – Hormigón con 5% de caucho grueso

<b>RUBRO</b>	<b>1</b>	<b>UNIDAD:</b>	<b>m3</b>
<b>DETALLE:</b>	<b>HORMIGON f'c=280 KG/CM2 CON 5% DE CAUCHO GRUESO</b>	<b>RENDIMIENTO:</b>	<b>0,160</b>

<b>1.- EQUIPOS</b>						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO	
CONCRETERA DE 1 SACO	1	3,75	3,75	0,160	0,60	
<b>EQUIPOS SUBTOTAL</b>					<b>0,60</b>	

<b>2.- MANO DE OBRA</b>						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO	
MAESTRO DE OBRA	0,25	3,75	0,94	0,160	0,15	
PEÓN	2,00	3,12	6,24	0,160	1,00	
<b>MANO DE OBRA SUBTOTAL</b>					<b>1,15</b>	

<b>3.- MATERIALES</b>						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO		
CEMENTO IP	U	8,80	7,63	67,14		
ARENA GRUESA	M3	0,46	12,00	5,52		
PIEDRA TRITURADA	M3	0,65	13,50	8,73		
AGUA	LTS	220,00	0,05	11,00		
5% DE CAUCHO GRUESO	M3	0,03	20,00	0,60		
<b>MATERIAL SUBTOTAL</b>					<b>93,00</b>	

<b>4.- TRANSPORTE</b>						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO		
				0,00		
<b>TRANSPORTE SUBTOTAL</b>					<b>0,00</b>	

<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>94,75</b>
<b>INDIRECTOS 15%</b>	<b>14,21</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>108,96</b>

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

Tabla 19

Tabla de análisis de precios unitarios – Hormigón con 10% de caucho grueso

<b>RUBRO</b>	<b>1</b>	<b>UNIDAD:</b>	<b>m3</b>
<b>DETALLE:</b>	<b>HORMIGON f'c=280 KG/CM2 CON 10% DE CAUCHO GRUESO</b>	<b>RENDIMIENTO:</b>	<b>0,160</b>

<b>1.- EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
CONCRETERA DE 1 SACO	1	3,75	3,75	0,160	0,60
<b>EQUIPOS SUBTOTAL</b>					<b>0,60</b>

<b>2.- MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
MAESTRO DE OBRA	0,25	3,75	0,94	0,160	0,15
PEÓN	2,00	3,12	6,24	0,160	1,00
<b>MANO DE OBRA SUBTOTAL</b>					<b>1,15</b>

<b>3.- MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO	
CEMENTO IP	U	8,80	7,63	67,14	
ARENA GRUESA	M3	0,46	12,00	5,52	
PIEDRA TRITURADA	M3	0,62	13,50	8,34	
AGUA	LTS	220,00	0,05	11,00	
10% DE CAUCHO FINO	M3	0,06	20,00	1,20	
<b>MATERIAL SUBTOTAL</b>					<b>93,21</b>

<b>4.- TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO	
				0,00	
<b>TRANSPORTE SUBTOTAL</b>					<b>0,00</b>

<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>94,96</b>
<b>INDIRECTOS 15%</b>	<b>14,24</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>109,20</b>

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

Tabla 20

Tabla de análisis comparativo de precios unitarios - Resumen

MATERIAL	% DE CAUCHO	EN REEMPLAZO DE	PRECIO UNITARIO
HORMIGON	0		\$108,78
HORMIGON	5	ARENA	\$108,99
HORMIGON	10	ARENA	\$109,12
HORMIGON	5	PIEDRA	\$108,96
HORMIGON	10	PIEDRA	\$109,20

Fuente: Ordóñez M.; Loor F. (2018)

## CONCLUSIONES

- De acuerdo a los ensayos realizados, se determina que la inclusión de caucho en el hormigón solo se puede ejecutar en elementos que trabajan a flexión, quedando totalmente descartada la utilización en estructuras que solicitan cargas de compresión, ya que según los ensayos realizados los resultados obtenidos fueron desfavorables con este tipo de carga.
- El hormigón con inclusión de caucho se pueden utilizar en elementos no estructurales y que trabajen a flexión, tales como pavimento de tránsito liviano, ciclovías, vías peatonales, contrapisos en general, etc.
- Se propone realizar conferencias informativas en Hormigoneras, Centros de distribución de materiales de construcción, y universidades, explicando la importancia de utilizar caucho reciclado de neumáticos procesados y reemplazarlos en porcentajes de hasta el 10% en elementos no estructurales, demostrando su efectividad y disminuyendo así la explotación desenfrenada de canteras en la ciudad de Guayaquil.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un trabajo investigativo-comparativo de los tipos de fallas en los ensayos a compresión de un hormigón tradicional Vs. Hormigón con caucho.
- Se recomienda ejecutar trabajo de análisis comparativo del comportamiento a flexión entre hormigón tradicional y hormigón con caucho, en porcentajes de 15% y 20%; con el objetivo de disminuir aún más el porcentaje de explotación del agregado pétreo.
- Se recomienda realizar un trabajo investigativo, de tal manera que se analice otros parámetros de comportamiento de este tipo de combinación de agregados con la inclusión de caucho en determinados porcentajes, con la finalidad de pulir y mejorar su capacidad portante y darle un uso más cercano al hormigón tradicional.

## Bibliografía

- Albano, C., Camacho, N., Hernández, M., Bravo, A., & Guevara, H. (2018). *Estudio de concreto elaborado con caucho de reciclado de diferentes tamaños de partículas*. Caracas: Innovación Tecnológica .
- Arribas Ugarte, C. (01 de Diciembre de 2015). *Ecologistas en acción* . Recuperado el 2018, de Ecologistas en acción: <https://www.ecologistasenaccion.org/?p=31369>
- Ávila Baray, H. L. (2014). *eumed.net*. Recuperado el Noviembre de 2018, de eumed.net: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006c/203/2f.htm>
- Casas, B., Corredor, A., & Gutierrez, D. (3 de Junio de 2016). *Slideshare*. Recuperado el 12 de Octubre de 2018, de Slideshare: <https://es.slideshare.net/BrayanTangarife/ensayo-flexion>
- Cruz, L. (2018). *Lifeder*. Recuperado el 2018, de Lifeder: <https://www.lifeder.com/investigacion-empirica/>
- Eraso, H. F., & Ramos, N. (2015). *Estudio del comportamiento mecánico del concreto, sustituyendo parcialmente el agregado fino por caucho molido recubierto con polvo calcáreo*. Cali: Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- Gómez, E. (19 de Enero de 2017). *Halosolar*. Recuperado el 2018, de Halosolar: <http://halosolar.mx/las-llantas-y-su-gran-impacto-ambiental/>
- Peñaloza Garzón, C. R. (2015). *Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Torres Ospina, H. A. (2014). *Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería Garavito.
- Especificación Normalizada para Cemento Portland (2019). Recuperado de: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C150C150M-09-SP.htm>

Vergara, Lcda. Fidedigna (2016). *Cemento y sus especificaciones en las normas ASTM* ,

Recuperado el 2018 de:

file:///C:/Users/Udrt/Downloads/328-Texto%20del%20art%C3%ADculo-476-1-10-20160721.pdf

*Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra*

Recuperado el 2018 de:

<https://edoc.site/astm-c-31-2-pdf-free.html>

# **A N E X O S**

Anexo 1  
Diseño de hormigón y elaboración de mezcla.

Peso de agregados



Peso del cemento



Mezcla para hormigón tradicional



Mezcla con inclusión de caucho



Anexo 2  
Prueba de asentamiento del concreto  
Hormigón tradicional



Hormigón con inclusión de caucho



### Anexo 3

#### Elaboración de vigas y cilindros para posteriores pruebas



Elaboración de vigas y cilindros de concreto tradicional



Elaboración de vigas y cilindros de concreto con inclusión de caucho



Anexo 4

Prueba 1 hormigón tradicional, realización de ensayos a compresión a cilindros

A los 14 días



A los 21 días



A los 28 días



Prueba 2, realización de ensayo a compresión a cilindro con 5% de caucho fino

A los 7 días



A los 14 días



A los 21 días



A los 28 días



Prueba 3, realización de ensayo a compresión a cilindro con 10 % de caucho fino  
A los 7 días



A los 21 días



A los 14 días



A los 28 días



Prueba 4, realización de ensayo a compresión a cilindro con 5 % de caucho grueso  
A los 14 días



A los 21 días



A los 28 días



Prueba 5, realización de ensayo a compresión a cilindro con 10 % de caucho grueso

A los 14 días

A los 21 días



A los 28 días



Anexo 5

Prueba 1 hormigón tradicional, realización de ensayo a tracción a viga

A los 14



A los 21 días



A los 28 días



Prueba 2, realización de ensayo a tracción a viga con 5% de caucho fino

A los 7 días



A los 14 días



A los 21 días



A los 28 días



Prueba 3, realización de ensayo a tracción a viga con 10% de caucho fino  
A los 7 días



A los 14 días



A los 21 días



A los 28 días



Prueba 4, realización de ensayo a tracción a viga con 5% de caucho grueso

A los 14 días



A los 21 días



A los días 28



Prueba 5, realización de ensayo a tracción a viga con 10% de caucho grueso

A los 14 días



A los 21 días



A los días 28 días



Anexo 6  
Caucho reciclado corte manual.



## Glosario de términos

**Adherencia al hormigón:** Capacidad del material para ser fijado al soporte.

**Aditivos:** componentes orgánicos e inorgánicos que se adicionan al concreto en su estado fresco, para alterar las propiedades.

**Cemento agregado:** Concentrado en una base de cemento gris para mezclarlo con arena y prepararlo en el sitio.

**Corrosión del acero:** oxidación en elementos metálicos, ocurridos por la acción de agentes biológicos, químicos y ambientales.

**Cemento:** Mezcla calcificada de piedra caliza, arcilla y otras sustancias molidas a una textura muy fina con propiedad de endurecimiento al secarse, de acuerdo a la composición y el proceso de fabricación, se producen diferentes tipos de cemento.

**Columna:** miembro estructural rígido, de forma cilíndrica, cuadrada o rectangular, según sea el caso.

**Encofrado:** sistema de placas metálicas, moldes o láminas en las que el hormigón se vacía hasta que fragua, para luego desmontarlo.

**Estructura pretensada:** se realiza empleando acero de alta resistencia dentro del hormigón el cual se tensa antes del hormigonado.

**Estructura postensada:** se realiza empleando acero de alta resistencia dentro de conductos y este es tensado después de que el hormigón ha fraguado.

**Falla del hormigón:** término utilizado para definir el punto de ruptura del hormigón al ser sometido a esfuerzos superiores al de diseño.

**Fractura dúctil:** ocurre al presentarse la deformación plástica, caracterizándose por una grieta que se propaga de forma lenta.

**Filtración:** proceso por el cual el agua se conduce dentro de distintos componentes.

**Fluencia:** es la deformación irre recuperable que sufre un elemento, este ocurre justo después de deformación elástica.

**Fraguado:** se denomina como un proceso de endurecimiento, donde la plasticidad inicial se pierde.

**Grietas:** rotura que se origina en un elemento constructivo, afectando parcial o totalmente una sección del mismo.

**Hidrofilia:** propiedad física que poseen las moléculas para ser disueltas en agua.

**Hormigón:** material empleado en la construcción, conformado por cemento, arena, agua y grava, que tiene un proceso de fraguado, donde finalmente se seca.

**Impermeabilidad:** propiedad que posee un elemento para impedir la penetración de agua o en su defecto de otros líquidos.

**Mortero:** mezcla de conglomerantes de naturaleza orgánica e inorgánica basados en cemento y arena, empleando capas delgadas para unir ladrillos o piedras arquitectónicas.

**Segregación del agregado:** Es la distribución no uniforme de los componentes de agregado.

**Tracción:** denominación de la fuerza axial aplicada a un elemento.

**Viga:** elemento horizontal, este trabaja a flexión, actuando además frente a tensiones de tracción y compresión.