



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONCRETO HIDRÁULICO 4000 PSI CON ADICIÓN DE CAUCHO AL 5 %, 10 % Y 15 % COMO ADITIVO MODIFICADOR EN LA RESISTENCIA DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PAVIMENTOS ARTICULADOS**

**Ulises José Morán Salán**

Asesorado por el Ing. Luis Gregorio Alfaro Véliz

Guatemala, noviembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONCRETO HIDRÁULICO 4000 PSI CON ADICIÓN DE CAUCHO AL 5 %, 10 % Y 15 % COMO ADITIVO MODIFICADOR EN LA RESISTENCIA DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PAVIMENTOS ARTICULADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ULISES JOSÉ MORÁN SALÁN**

ASESORADO POR EL ING. LUIS GREGORIO ALFARO VÉLIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Karla Giovanna Pérez Loarca
EXAMINADOR	Ing. José Estuardo Galindo Escobar
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONCRETO HIDRÁULICO 4000 PSI CON ADICIÓN DE CAUCHO AL 5 %, 10 % Y 15 % COMO ADITIVO MODIFICADOR EN LA RESISTENCIA DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PAVIMENTOS ARTICULADOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 3 de noviembre de 2021.

**Ulises José Morán Salán**

Guatemala de La Asunción  
18 de mayo de 2022

Ingeniero  
Armando Fuentes Roca  
Director de Escuela  
Ingeniería Civil

Estimado Ingeniero Fuentes Roca:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, **Ulises José Morán Salán** quien se identifica con **carne No. 2000-13728**, con el tema de graduación titulado: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONCRETO HIDRÁULICO 4000 PSI CON ADICIÓN DE CAUCHO AL 5%, 10% Y 15% COMO ADITIVO MODIFICADOR EN LA RESISTENCIA DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PAVIMENTOS ARTICULADOS"**, el cual fue revisado y a mi criterio el mismo cumple con los objetivos planteados para su desarrollo.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me despido de usted cordialmente.

Atentamente,



---

Ing. Luis Gregorio Alfaro Véliz  
colegiado No. 5383  
Asesor

*Luis G. Alfaro Veliz*  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO 5383

Guatemala, 28 de septiembre de 2,022

Ingeniero  
Armando Fuentes Roca  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Fuentes, Le informo que he revisado el trabajo de graduación “ANALISIS COMPARATIVO DE CONCRETO HIDRAULICO 4000 PSI CON ADICION DE CAUCHO AL 5%, 10%, Y 15% COMO ADITIVO MODIFICADOR EN LA RESISTENCIA DE COMPRESION Y FLEXION PARA LA ELABORACION DE PAVIMENTOS ARTICULADOS”, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil, Ulises José Moran Salan, quién contó con la asesoría del Ing. Luis Gregorio Alfaro Veliz.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo, doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**



Ing. Civil Hugo Leonel Montenegro Franco  
**Jefe de área de materiales y construcciones civiles.**



LNG.DIRECTOR.220.EIC.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONCRETO HIDRÁULICO 4000 PSI CON ADICIÓN DE CAUCHO AL 5 %, 10 % Y 15 % COMO ADITIVO MODIFICADOR EN LA RESISTENCIA DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PAVIMENTOS ARTICULADOS**, presentado por: **Ulises José Morán Salán**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Armando Fuentes Roca  
Director  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, octubre de 2022



Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.718.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONCRETO HIDRÁULICO 4000 PSI CON ADICIÓN DE CAUCHO AL 5 %, 10 % Y 15 % COMO ADITIVO MODIFICADOR EN LA RESISTENCIA DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PAVIMENTOS ARTICULADOS**, presentado por: **Ulises José Morán Salán**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Aurelia Anabeía Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, noviembre de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por ser mi fiel compañero en el trayecto de mi vida y darme la sabiduría, conocimiento y fortaleza necesarios para cumplir con mis metas y sueños, sobre todo, por la bendición de poder vivir cada día al lado de las personas que más amo y más me importan.

### **Mis padres**

Esperanza Elizabeth Salán Sánchez (q. e. p. d.) por siempre haberme dado su apoyo, amor incondicional y haberme hecho la persona que soy y Rudy Allan Morán Hurtado, por sus consejos y enseñarme que con trabajo duro y perseverancia se llega a la meta.

### **Mis hermanos**

Allan y Rocío Morán, por ser mis acompañantes y cómplices durante mi infancia.

### **Mi esposa**

María Dolores Alfaro López por ser la ayuda idónea y apoyo incondicional en el caminar de mi vida.

### **Mis hijos**

José Pablo Morán Alfaro, María Ximena Morán Salán y Arianna Sofía Morán Alfaro gracias por ser el motor en mi vida y por ayudarme a disfrutar

de un mundo mejor y enseñarme que puedo crecer y desarrollarme mucho más.

**Mis abuelos**

Ulises Morán Sandoval (q. e. p. d.) y José Ignacio Salán Casados (q. e. p. d.) por ser esa guía e inspiración que me acompañan como ángeles desde el cielo.

**Mis abuelas**

Luz Marina y Amanda Elizabeth, por sus constantes oraciones, consejos y apoyo incondicional que me han brindado.

**Familia Alfaro López**

De la cual me siento parte integrante de su familia especialmente a mi suegro Francisco Alfaro por el apoyo durante el tiempo que lo he conocido.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de obtener formación académica de muy buena calidad.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser el lugar donde aprendí conocimientos para mi crecimiento personal y profesional.
<b>Mi amigo</b>	Ing. Kenneth Estrada, por ser un hermano y amigo incondicional y por todas esas palabras de ánimo que me inspiraron en los momentos más difíciles.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Luis Alfaro por todo el apoyo y guía que me brindó durante esta investigación.
<b>Amistades de la Universidad</b>	Por ser esos amigos sinceros que son necesarios en la vida y por caminar juntos en esta maravillosa carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Caucho .....	1
1.1.1. Tipos de caucho .....	2
1.1.1.1. Caucho natural .....	2
1.1.1.2. Caucho sintético .....	3
1.1.2. Procesos de producción caucho.....	3
1.1.3. Características del caucho.....	4
1.2. Concreto.....	4
1.2.1. Propiedades generales del concreto .....	5
1.2.2. Trabajabilidad .....	5
1.2.3. Consistencia .....	5
1.2.4. Exudación.....	5
1.2.5. Segregación.....	5
1.2.6. Resistencia .....	6
1.2.7. Densidad .....	6
1.2.8. Durabilidad.....	6
1.2.9. Curado del concreto .....	6
1.2.10. Velocidad de endurecimiento.....	7

1.2.11.	Ensayos.....	8
1.2.11.1.	Ensayo de concreto fresco .....	8
1.2.11.1.1.	Revenimiento NTG 41052 (ASTM C-143) .....	9
1.2.11.1.2.	Ensayo a flexión en vigas norma ASTM C78 .....	13
1.2.12.	Agregados.....	14
1.2.12.1.	Piedra triturada y arena manufacturada .....	14
1.2.12.2.	Grava.....	14
1.2.12.3.	Arena.....	14
1.2.12.4.	Piedras para ornamentación .....	15
1.2.13.	Prueba de contenido de aire .....	15
1.2.14.	Prueba a la flexión.....	15
1.2.15.	Prueba a la tensión .....	15
1.2.16.	Prueba a la compresión .....	16
2.	MARCO METODOLÓGICO .....	19
2.1.	Materiales utilizados.....	19
2.2.	Cemento.....	19
2.3.	Agregados.....	21
2.3.1.	Agregado grueso.....	21
2.3.2.	Agregado fino .....	23
2.4.	Caucho.....	25
2.5.	Agua.....	25
2.6.	Diseño teórico para la mezcla de concreto .....	25
2.6.1.	Caucho al 5 % .....	26
2.6.2.	Caucho al 10 % .....	27

2.6.3.	Caucho al 15 % .....	27
2.7.	Ensayos de laboratorio al concreto .....	27
2.7.1.	Ensayo de concreto fresco .....	28
2.7.1.1.	Revenimiento NTG 41052 (ASTM C-143) para la mezcla al 5 %, 10% y 15 % de aditivo de caucho.....	28
2.7.1.2.	Ensayo a compresión en cilindros NTG 41017 h1 (ASTM C-39) .....	30
2.7.1.3.	Ensayo a flexión en vigas norma ASTM C78 .....	31
3.	RESULTADOS .....	33
3.1.	Tabulación de resultados.....	33
3.1.1.	Resistencia a compresión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 % .....	33
3.1.2.	Resistencia a compresión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho al 10 % .....	35
3.1.3.	Resistencia a compresión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho al 15 % .....	36
3.1.4.	Resistencia a flexión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5%, 10% y 15 % a los 28 días de fraguado.....	38
3.2.	Gráficas de resistencia a la compresión .....	38
3.2.1.	Gráfico de la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido según tiempo de curado en una mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 % .....	39
3.2.2.	Gráfico de la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido según tiempo de	

	curado en una mezcla de concreto con aditivo de caucho al 10 %.....	40
3.2.3.	Gráfico de la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido según tiempo de curado en una mezcla de concreto con aditivo de caucho al 15 %.....	41
3.2.4.	Gráfica del análisis del ensayo a flexión de las mezclas de concreto con aditivo de caucho al 5 %, 10 % y 15 %, a los 28 días de fraguado.....	42
4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	43
4.1.	Comparación entre mezclas realizadas .....	43
4.1.1.	Gráfico comparativo de la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido según tiempo de curado en una mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %, 10 % y 15 %.....	43
	CONCLUSIONES.....	45
	RECOMENDACIONES .....	47
	REFERENCIAS .....	49

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Sangrado del árbol <i>Hevea Brasiliensis</i> .....	1
2.	Ficus elástica-castilloa .....	2
3.	Guayule.....	3
4.	Cono de Abrams .....	10
5.	Cono de Abrams de aluminio .....	11
6.	Revenimiento .....	12
7.	Revenimiento con mezcla de concreto que no cumple con normas de ensayo.....	12
8.	Ensayo a flexión en vigas.....	13
9.	Cemento UGC tipo portland .....	20
10.	Agregado grueso utilizado.....	22
11.	Agregado fino utilizado.....	24
12.	Diseño teórico de mezcla de concreto con aditivo de caucho.....	26
13.	Ensayo de revenimiento.....	29
14.	Ensayo a compresión.....	30
15.	Vigas para los ensayos de flexión.....	31
16.	Gráfico de concreto con aditivo de caucho al 5 % de 3 a los 28 días de fraguado .....	39
17.	Gráfico de concreto con aditivo de caucho al 10 % de 3 a los 28 días de fraguado .....	40
18.	Gráfico de concreto con aditivo de caucho al 15 % de 3 a los 28 días de fraguado .....	41

19.	Gráfico de ensayo a flexión de las mezclas de concreto con aditivo de caucho al 5%, 10% y 15 % de 28 días de fraguado.....	42
20.	Gráfico comparativo de resistencia de concreto con aditivo de caucho al 5%, 10% y 15 % de 3 a los 28 días de fraguado .....	44

## TABLAS

I.	Componentes del cemento Portland.....	20
II.	Características físicas del agregado grueso .....	21
III.	Características físicas agregado fino .....	23
IV.	Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %, a los 3 días de fraguado .....	34
V.	Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %, a los 14 días de fraguado.....	34
VI.	Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %, a los 28 días de fraguado.....	34
VII.	Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 10 %, a los 3 días de fraguado.....	35
VIII.	Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 10 %, a los 14 días de fraguado.....	35
IX.	Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 10 %, a los 28 días de fraguado.....	36
X.	Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 15 %, a los 3 días de fraguado.....	36
XI.	Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 15 %, a los 14 días de fraguado.....	37
XII.	Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 15 %, a los 28 días de fraguado.....	37

XIII.	Resultado a flexión de las mezclas de concreto con aditivo de caucho al 5%, 10% y 15 %, a los 28 días de fraguado.....	38
-------	---	----



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>ACR</b>	Agregado canto rodado
<b>AEA</b>	Agregado escoria de acería
<b>AT</b>	Agregado trituración
<b>CCR</b>	Concreto canto rodado
<b>CEA</b>	Concreto escoria de acería
<b>CT</b>	Concreto trituración
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramos
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramos por centímetro cuadrado
<b>PSI</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>PE</b>	Peso específico
<b>PU</b>	Peso unitario compactado
<b>PUS</b>	Peso unitario suelto
<b>a-c</b>	Relación agua cemento



## GLOSARIO

<b>Agregado</b>	Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio aglutinante para formar concreto hidráulico o mortero.
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (American Society for Testing and Materials).
<b>Concreto</b>	Es una mezcla dosificada de agregados inertes (arena y grava), cemento, agua y aditivos. Los aditivos mejoran o modifican ciertas propiedades del concreto.
<b>Consistencia</b>	Se define a grandes rasgos como la capacidad de colocación de la mezcla de concreto, en la que se involucran propiedades de cohesión y viscosidad, forma parte de la trabajabilidad.
<b>Curado</b>	Mantenimiento de condiciones favorables de humedad y temperatura del concreto a tempranas edades, para que desarrolle resistencia y otras propiedades.
<b>Fraguado</b>	Condición adquirida paulatinamente por una pasta de cemento o por una mezcla de mortero o concreto, cuando ha perdido plasticidad en un grado arbitrario,

definido normalmente en función de su resistencia a la penetración o de su deformación.

**Muestra**

Grupo de unidades o porción de material, tomados de una cantidad mayor de unidades o de material. Sirve para aportar información para tomar decisiones sobre el conjunto mayor de unidades, sobre un material o sobre un proceso de producción.

**Porosidad**

Está dada por su estructura física de la roca que presenta numerosos poros perceptibles a simple vista.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación contiene un análisis comparativo de concreto hidráulico 4,000 psi con adición de caucho al 5 %, 10 % y 15 % como aditivo modificador en la resistencia de compresión y flexión para la elaboración de pavimentos articulados quedando estructurado de la siguiente manera.

En el Capítulo 1 se explica los conceptos de la materia prima por utilizar en el diseño de mezcla de concreto de este trabajo de graduación los cuales son extraídos del árbol *Hevea Brasiliensis* (cultivo del hule en Guatemala) por el proceso de un sangrado para extraer el látex y así lograr la fabricación de polímeros elásticos. También se explica los conceptos de las propiedades del concreto y sus respectivos ensayos de laboratorio.

Así mismo en el Capítulo 2 se explican las proporciones utilizadas en los diseños teóricos de mezclas de concreto hidráulico de 4,000 psi con adición de caucho al 5 %, 10 % y 15 %, para el análisis comparativo del concreto para los diferentes ensayos de laboratorio de los cuales se pueden mencionar: revenimiento NTG 41052 (ASTM C-143), ensayo a compresión en cilindros NTG 41017 h1 (ASTM C-39), ensayo a flexión en vigas norma ASTM C78, aditivo de caucho en los porcentajes establecidos.

En el Capítulo 3 se realizó la tabulación de los resultados de los ensayos: resistencia a compresión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %, resistencia a compresión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho al 10 %, resistencia a compresión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho

al 15% y por último el ensayo de la resistencia a flexión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5%, 10% y 15 % a los 28 días de fraguado.

Por último, en el Capítulo 4 se hizo un análisis de los resultados donde se compararon las mezclas realizadas entre sí, las cuales fueron graficadas y se comparó la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido según tiempo de curado en una mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %, 10 % y 15 %.

Luego de realizar los ensayos de compresión y flexión se determinó que las mezclas de concreto con el aditivo de caucho no cumplieron con la resistencia de 4,000 psi. Constatando que la adición de caucho reciclado con una mezcla de concreto afecta las propiedades físico-mecánicas afectando la resistencia del concreto para la elaboración de pavimentos articulados.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Desarrollar un diseño de mezcla de concreto utilizando concreto hidráulico 4000 psi con adición de caucho al 5 %, 10 % y 15 % como aditivo modificador en la resistencia de compresión y flexión.

### **Específicos**

1. Determinar la compresión y flexión del concreto para pavimentos articulados con adición de caucho de llantas recicladas.
2. Encontrar la influencia del caucho reciclado en las propiedades físico-mecánicas del concreto.
3. Experimentar el porcentaje necesario de caucho reciclado para obtener la resistencia optima en la mezcla de concreto.



## INTRODUCCIÓN

Dentro de los problemas medioambientales sobresalientes y de mayor impacto ambiental en la calidad de vida, es la masiva fabricación de neumáticos y su poca investigación para su reutilización, la cual puede generarse a través de una reincorporación constructiva.

Las industrias de la construcción pueden emplear los neumáticos en desuso como insumo energético o materia prima, con el objeto de reducir costos, debido a que su alta producción y poco manejo como productos reciclables brindan ventajas adicionales, ocasionando que los neumáticos dejen de ser parte de la contaminación ambiental existente.

En el presente análisis se pretende comparar un diseño de mezcla típico de concreto con resistencia a la compresión de 4000 PSI, con la adición de caucho reciclado funcionando como aditivo modificador en la resistencia del concreto tanto a compresión como a flexión.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Caucho

Se considera al caucho como un polímero elástico que se adquiere del árbol *Hevea Brasiliensis* con una incisión o sangría en su corteza, este deja caer en forma líquida una sustancia lechosa llamada látex la que es depositada para su futura industrialización con la vulcanización que es el proceso de calentar el líquido extraído del árbol en presencia de azufre con el propósito de tener un material más duro para la construcción de neumáticos. En la figura 1 se muestra el proceso de sangrado del árbol *Hevea Brasiliensis*.

Figura 1. **Sangrado del árbol *Hevea Brasiliensis***



Fuente: Animales y Plantas de Perú PLAAAN. (2014). *Árbol del Caucho - Hevea brasiliensis*. Consultado el 17 de marzo 2022. Recuperado de <https://animalesyplantasdeperu.blogspot.com/2014/05/arb-ol-del-caucho-hevea-brasiliensis.html>

### 1.1.1. Tipos de caucho

Se pueden considerar dos tipos de caucho el natural y el caucho sintético (copolímero de estireno y butadieno)

#### 1.1.1.1. Caucho natural

Se puede considerar como caucho natural al látex obtenido de los árboles de *Hevea Brasiliensis*, *Ficus Elástica-castilloa*, *Speciosa-Funtumia*, *Elástica-Manihot-Han-Cornia*, *Guayule*. De estos árboles el más usado para la explotación industrial es el árbol de *Hevea Brasiliensis*. Según la asociación de elaboradores de caucho de Nueva York se pueden mencionar los siguientes tipos de caucho: *ribbed smoked sheet* (más usado comercialmente), *pale crepe* (utilizado para producir blancos o semitransparentes) y *brown crepe* (caucho de calidad variable).

Figura 2. **Ficus elástica-castilloa**



Fuente: Bonells, J. (2019). *Jardines sin Fronteras*. Consultado el 17 de marzo 2022.  
Recuperado de <https://jardinessinfronteras.com/2019/01/27/los-ficus-elastica-y-sus-variedades-en-andalucia/>.

Figura 3. **Guayule**



Fuente: CONACYT. (s.f.). *Sistema de centros públicos de investigación CONACYT*. Consultado el 17 de marzo 2022. Recuperado de <https://centrosconacyt.mx/objeto/huledeguayule/>.

#### **1.1.1.2. Caucho sintético**

Compone alrededor del 60 % del caucho de la llanta, se obtiene mediante procesos químicos y su función es la de aportar resistencia al desgaste por rodadura.

#### **1.1.2. Procesos de producción caucho**

Para recoger el látex de las plantaciones, se practica un corte diagonal en ángulo hacia abajo en la corteza del árbol. El corte tiene una extensión de un tercio o de la mitad de la circunferencia del tronco. El látex exuda desde el corte

y se recoge en un recipiente. La cantidad de látex que se extrae de cada corte suele ser de unos 30 mL. Después se arranca un trozo de corteza de la base del tronco para volver a tapar el corte, normalmente al día siguiente. Cuando los cortes llegan hasta el suelo, se deja que la corteza se renueve antes de practicar nuevos cortes. Se plantan unos 250 árboles por hectárea, y la cosecha anual de caucho bruto en seco suele ser de unos 450 kg por hectárea. En árboles de alto rendimiento, la producción anual puede llegar a los 2,225 kg por hectárea, y se ha conseguido desarrollar ejemplares experimentales que alcanzan los 3,335 kg por hectárea.

### **1.1.3. Características del caucho**

Propiedades físicas y químicas del caucho bruto en estado natural es un hidrocarburo color blanco lechoso. El compuesto de caucho más simple es el isopreno o 2-metilbutadieno, cuya fórmula química es  $C_5H_8$ . A la temperatura del aire es líquido, a bajas temperaturas, se vuelve rígido y cuando se congela en estado de extensión adquiere estructura fibrosa, de 0 a 10 °C es frágil y calentado a más de 100 °C., se ablanda y sufre alteración permanente.

## **1.2. Concreto**

Es la mezcla del cemento, con agregados inertes (arena y grava) y agua, la cual se endurece después de cierto tiempo formando una piedra artificial. Los elementos activos del concreto son el agua y el cemento de los cuales ocurre una reacción química que después de fraguar alcanza un estado de gran solidez, y los elementos inertes, que son la arena y la grava cuya función es formar el esqueleto de la mezcla.

### **1.2.1. Propiedades generales del concreto**

Se puede establecer como propiedades del concreto aquellas que permitan la trabajabilidad, consistencia, exudación, segregación, resistencia, densidad, durabilidad entre otros.

### **1.2.2. Trabajabilidad**

Es la facilidad que tiene el concreto para ser mezclado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación del que se disponga. (Rivera, 2014)

### **1.2.3. Consistencia**

Se puede decir que la consistencia es un indicador de la trabajabilidad y la medida de consistencia y humedad del concreto es el revenimiento (asentamiento en cono de Abrams).

### **1.2.4. Exudación**

Es la propiedad de controlar la posibilidad de controlar la segregación durante la etapa de manejo de la mezcla. (Rivera, 2014)

### **1.2.5. Segregación**

Es la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero. (Rivera, 2014)

### **1.2.6. Resistencia**

Es un material naturalmente resistente y durable. Es denso razonablemente impermeable al agua, capaz de resistir cambios de temperatura, así como también resistir desgaste por intemperismo (Ayala, s.f.).

### **1.2.7. Densidad**

La densidad es una propiedad física de los agregados que dependen directamente de las propiedades de la roca original de donde provienen se encuentra la densidad, y está definida por la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada. Es necesario definir cuidadosamente el término densidad, puesto que generalmente sus partículas hay cavidades o poros que pueden estar vacíos, principalmente saturados o llenos de agua, dependiendo de su permeabilidad interna. (Ayala, s.f.)

### **1.2.8. Durabilidad**

La resistencia y la durabilidad son afectadas por la densidad del concreto. El concreto más denso es más impermeable al agua. La durabilidad del concreto se incrementa con la resistencia. La resistencia del concreto en el estado endurecido generalmente se mide por la resistencia a la compresión usando la prueba de resistencia a la compresión. (Gómez, 2012)

### **1.2.9. Curado del concreto**

El aumento de la resistencia con la edad continúa desde que el cemento no hidratado aún esté presente, el concreto permanezca húmedo o la humedad relativa del aire esté arriba de aproximadamente 80 %, la temperatura del

concreto permanezca favorable y haya suficiente espacio para la formación de los productos de hidratación. Cuando la humedad relativa dentro del concreto baja hasta cerca de 80 % o la temperatura del concreto baja a menos del cero, la hidratación y la ganancia de resistencia se interrumpen. Si se vuelve a saturar el concreto después del período de secado, la hidratación empieza nuevamente y la resistencia vuelve a aumentar.

Sin embargo, es mucho mejor que el curado húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada; una vez que el concreto se haya secado completamente, es muy difícil volver a saturarlo. La exposición al aire libre normalmente proporciona humedad a través del contacto con el suelo y la lluvia (Guillén, 2017).

#### **1.2.10. Velocidad de endurecimiento**

El tiempo de fraguado o velocidad de endurecimiento del concreto es un período en el cual, mediante reacciones químicas del cemento y el agua, conducen a un proceso, que mediante diferentes velocidades de reacción, generan calor y dan origen a nuevos compuestos; estos en la pasta de cemento generan que este endurezca y aglutine al agregado de la mezcla de concreto y se ponga fuerte y denso, adquiriendo de este modo una cierta resistencia; este tiempo es de suma importancia, debido a que permite colocar y acabar el concreto.

Típicamente, el fraguado inicial ocurre entre 2 y 4 horas después del mezclado, y define el límite de manejo, o sea el tiempo por el cual el concreto fresco ya no puede ser mezclado adecuadamente, colocado y compactado; el fraguado final ocurre entre 4 y 8 horas después del mezclado y está definido por

el desarrollo de la resistencia que se genera con gran velocidad. El fraguado inicial y el fraguado final se determinan arbitrariamente por el ensayo de resistencia a la penetración.

El método usado, es la *Norma ASTM C-403, Test for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance* (Método de prueba estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de hormigón por resistencia a la penetración), que proporciona un procedimiento estándar para la medición del tiempo de fraguado del concreto con un revenimiento mayor de cero, probando el mortero cribado de la mezcla de concreto; en forma breve se puede decir que la prueba consiste en retirar la fracción de mortero del concreto, compactándolo en un recipiente estándar y midiendo la fuerza requerida para hacer que una aguja penetre 25 milímetros en el concreto, cada hora o media hora, según el tiempo escogido (Guillén, 2017).

### **1.2.11. Ensayos**

Los ensayos de materiales se hacen con el fin de analizar la capacidad de carga mecánica de un material hasta determinar la ruptura o una deformación del mismo.

#### **1.2.11.1. Ensayo de concreto fresco**

El concreto fresco es una mezcla trabajable de plasticidad y es capaz de ser moldeado tanto a mano como a máquina. Cuando el concreto fresco se encuentra muy húmedo es capaz de perder la resistencia del concreto para la cual la mezcla fue diseñada en este sentido existe un ensayo conocido como pruebas SLUMP. El concreto debe de ser mezclado correctamente con el fin que las muestras obtenidas deben de tener una misma masa volumétrica lograr el

revenimiento deseado. Los ensayos fueron realizados con los procedimientos y especificaciones técnicas indicadas en las normas NTG y ASTM utilizadas. Los ensayos son los siguientes:

**1.2.11.1.1. Revenimiento NTG 41052  
(ASTM C-143)**

Cumpliendo con la norma de revenimiento NTG 41052 (ASTM C-143) se utiliza un molde con forma de cono truncado o cono de Abrams de 30.5 cm de altura, 20.3 cm diámetro de base y abertura más pequeña de 10.2 cm de diámetro. El procedimiento para el llenado del recipiente con concreto es la siguiente: la primera capa se llena 1/3 de recipiente y se dan 25 golpes; 2/3 de llenado del recipiente con la mezcla en mención se le proporcionan 25 golpes y por último el recipiente totalmente lleno se le proporcionan otros 25 golpes. Los 25 golpes para la compactación de la mezcla se realizan con una varilla del diámetro de 5/8 lisa de 24 pulgadas de largo.

Figura 4. Cono de Abrams



Fuente: Ingeniería real. (2012). *Prueba de revenimiento del concreto*.

Consultado el 17 de marzo 2022. Recuperado de <https://ingenieriareal.com/como-verificar-la-prueba-de-revenimiento-cono-de-abrams/>.

Figura 5. **Cono de Abrams de aluminio**



Fuente: MATEST. (s.f.). *Kit de conos de Abrams*. Consultado el 17 de marzo 2022. Recuperado de <https://www.matest.com/es/concreto/scc-aparatos-de-ensayo/scc-kit-de-conos-de-abrams/>

En el revenimiento la muestra no debe de desmoronarse o desprenderse pronunciadamente si en caso esto sucede debe de repetirse el ensayo si esto vuelve a suceder al repetir el ensayo es probable que el concreto no tenga cohesión o plasticidad como se muestra en la figura 6.

Figura 6. **Revenimiento**



Fuente: MATEST. (s.f.). *Kit de conos de Abrams*. Consultado el 17 de marzo 2022. Recuperado de <https://www.matest.com/es/concreto/scc-aparatos-de-ensayo/scc-kit-de-conos-de-abrams/>

Figura 7. **Revenimiento con mezcla de concreto que no cumple con normas de ensayo**



Fuente: MATEST. (s.f.). *Kit de conos de Abrams*. Consultado el 17 de marzo 2022. Recuperado de <https://www.matest.com/es/concreto/scc-aparatos-de-ensayo/scc-kit-de-conos-de-abrams/>

### 1.2.11.1.2. Ensayo a flexión en vigas norma ASTM C78

El ensayo a la resistencia a flexión es la capacidad que tienen los materiales de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal. Aplicando el diseño teórico de mezcla propuesto en la investigación; se realiza en una máquina de ensayos universal colocando una muestra en dos soportes donde se le aplica una fuerza para lograr medir sus propiedades y determinar la resistencia a flexión de la viga.

Figura 8. Ensayo a flexión en vigas



Fuente: ELE INTERNATIONAL. (2020). *Ensayo a flexión*. Consultado el 17 de marzo 2022.  
Recuperado de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-10-Ensayo-a-Flexion-d-Modulo-de-elasticidad-A-este-parametro-se-lo-denota-con\\_fig5\\_28792403](https://www.researchgate.net/figure/Figura-10-Ensayo-a-Flexion-d-Modulo-de-elasticidad-A-este-parametro-se-lo-denota-con_fig5_28792403)

### **1.2.12. Agregados**

Es un material granular en el cual se pueden mencionar la arena, la grava y la piedra triturada que es usada como un medio cementante para la fabricación de concreto hidráulico.

#### **1.2.12.1. Piedra triturada y arena manufacturada**

Estos productos se obtienen extrayendo rocas y triturándolas hasta llegar al tamaño deseado. En el caso de las arenas manufacturadas, el producto se obtiene de la trituración de la roca hasta que se consigue la forma o textura deseada, asegurando que se cumplan las especificaciones del producto y del proyecto. Las fuentes de roca triturada pueden ser ígneas, sedimentarias o metamórficas. (Osorio, 2013)

#### **1.2.12.2. Grava**

Los depósitos de grava se producen por la acción del proceso natural de erosión la acción de la intemperie. Este producto se puede utilizar para caminos, para manufacturar concreto o para efectos de decoración. (Osorio, 2013)

#### **1.2.12.3. Arena**

La arena ocurre naturalmente y está compuesta de material rocoso fino y partículas minerales. Su composición varía dependiendo de la fuente. La arena puede usar para caminos, para manufacturar concreto o para proyectos sanitarios. (Osorio, 2013)

#### **1.2.12.4. Piedras para ornamentación**

Son aquellas rocas que después de un proceso de elaboración son aptas para ser utilizadas como materiales de construcción, elementos de ornamentación, arte funerario y para escultura, objetos artísticos y variados, y que conservan de manera íntegra su composición, textura y características fisicoquímicas originales. Estas piedras son: granitos, mármoles y lajas. También, en menor proporción, la malaquita y el lapislázuli (Rivera, 2014).

#### **1.2.13. Prueba de contenido de aire**

Esta prueba determina la cantidad de aire que puede contener el hormigón recién mezclado excluyendo cualquier cantidad de aire que puedan contener las partículas de los agregados. (Alevas, 2013)

#### **1.2.14. Prueba a la flexión**

La prueba de la resistencia a la flexión, también llamada prueba de módulo de ruptura es parecida a aquella de la compresión, con la variante de que, en lugar de cilindros, se elabora una viga de concreto y se prueba en una máquina de compresión diseñada especialmente para dichos ensayos (Alevas, 2013).

#### **1.2.15. Prueba a la tensión**

El concreto se caracteriza por tener una excelente resistencia a la compresión, sin embargo, su capacidad a la tensión es tan baja que se le desprecia para propósitos estructurales, ni para diseño de estructuras normales. La poca capacidad del concreto a la tensión le ayuda a disminuir los agrietamientos que se pueden producir por la influencia de tensiones inducidas

por restricciones estructurales, cambios volumétricos u otros fenómenos, generalmente el valor de la capacidad a la tensión se encuentra alrededor del 9% de la capacidad a compresión en concretos de peso y resistencia normal. Sin embargo, la tensión tiene importancia en el agrietamiento del concreto debido a la restricción de la contracción inducida por el secado o por disminución de la temperatura.

Los concretos preparados con agregados livianos se encogen considerablemente más que los normales y por lo tanto la resistencia a la tensión puede ser tenida en cuenta en el diseño de la estructura correspondiente. La capacidad a tensión no se obtiene probando al material en tensión directa, debido a las dificultades para montar las muestras y la incertidumbre que existen sobre los esfuerzos secundarios inducidos por los implementos que sujetan a las muestras y se acostumbra a obtenerlo en forma indirecta con pruebas como la prueba brasileña, "Tensión por Compresión Diametral". Para evitar este problema existe un método indirecto, en el cual la resistencia a la tensión se determina cargando a compresión el cilindro estándar de 15 cm de diámetro por 30 cm de longitud a lo largo de 2 líneas axiales diametralmente opuestas. La resistencia a la tensión indirecta se puede calcular con la fórmula. (Alevas, 2013)

#### **1.2.16. Prueba a la compresión**

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide comprimiendo probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la

resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en mega pascales (MPa) en unidades SI.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada del proyecto. (Alevas, 2013)



## 2. MARCO METODOLÓGICO

### 2.1. Materiales utilizados

El concreto se compone principalmente de agregados y los materiales básicos utilizados en su elaboración de construcciones industriales, comerciales y otros usos que se le puedan dar al concreto. Las propiedades físicas dentro del proceso de elaboración del concreto cada material que entra en la mezcla para la elaboración del concreto son analizados para ver que su funcionamiento cumpla las normas requeridas para llevar a cabo un proceso de dosificación correcta. Las características requeridas van de acuerdo con la aplicación que se le dará al concreto y que tenga las condiciones que se requieren al momento de la colocación (resistencia y fuerza). Para tener un conocimiento más amplio sobre el concreto se deben de conocer las propiedades físicas de cada agregado utilizado en el proceso de su elaboración.

### 2.2. Cemento

Es una mezcla de piedra caliza y arcilla calcinada y posteriormente estos materiales son molidos, las cuales al mezclarse con agua tienen propiedades de endurecerse. El cemento utilizado corresponde a la marca *Cementos Progreso UGC uso general para la construcción* con una resistencia de 4060 psi. El cual es un cemento Portland con puzolanas que cumple con los requisitos de las normas para cementos hidráulicos ASTM C 1157.

Tabla I. **Componentes del cemento Portland**

Nombre del componente	Porcentaje de composición	Abreviatura
óxido de calcio	44 %	CaO
óxido de silicio	14.50 %	SiO <sub>2</sub>
óxido de aluminio	3.50 %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
óxido de magnesio	1.60 %	MgO

Fuente: Cementos Progreso. S.A.

Figura 9. **Cemento UGC tipo portland**



Fuente: [Fotografía de Ulises Morán]. (CII, USAC, Guatemala. 2021). Colección particular.  
Guatemala.

## 2.3. Agregados

Los agregados utilizados fueron comprados en la empresa Agreca, S.A. los cuales son manufacturados por procesos mecánicos.

### 2.3.1. Agregado grueso

Estas son rocas ígneas que provienen de los volcanes tienen diferentes medidas. Las medidas utilizadas para la realización del diseño son de ½ pulgada. En donde el piedrín de ½ pulgada se utilizó un tamiz para crear una capa con un grosor de una sola medida de 10 cm antes de comenzar la mezcla. Por último, el piedrín ½ pulgada fue utilizado para la elaboración de la muestra indicadas por el asesor. Este material fue comprado en la empresa Agreca S.A. ubicada en Palín, Escuintla.

Tabla II. **Características físicas del agregado grueso**

Peso específico	1.97
Peso unitario compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1,500.00
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1,390.00
Porcentaje de absorción	0.76
Pasa tamiz # 200 (%)	1.00
Porcentaje de vacíos (%)	41.00
Módulo de finura	5.68

Fuente: elaboración propia.

Para las especificaciones técnicas en el agregado grueso podemos mencionar las normas: La Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33), Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33), donde se indica los porcentajes que deben de pasar por el tamiz No. 200 donde no puede ser mayor al 1 %. Se determinó que la mezcla de cuenta con un 43 % de vacíos por lo que es necesario cubrir los vacíos con

agregado fino, cemento y el caucho como aditivo al 5 %, 10 % y 15 %. El peso volumétrico del agregado grueso que utilizaremos para este concreto es de 1,500 kg/m<sup>3</sup>.

Figura 10. **Agregado grueso utilizado**



Fuente: [Fotografía de Ulises Morán]. (CII, USAC, Guatemala. 2021). Colección particular.  
Guatemala.

### 2.3.2. Agregado fino

La función de la arena es que al momento de la realización de la mezcla de concreto esta quede unificada y al proceso de su colocado y secado no se separe o se rompa el concreto (formando grietas).

Tabla III. **Características físicas agregado fino**

Peso específico	2.60
Peso unitario compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1,760.00
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1,670.00
Porcentaje de vacíos (%)	41.00
Porcentaje de absorción (%)	0.70
Contenido de materia orgánica	1
Pasa tamiz # 200 (%)	4.72
Retenido tamiz 6.35 (%)	0.00
Módulo de finura	2.6

Fuente: elaboración propia.

Los límites del peso específico para agregados finos los valores oscilan entre 2.40 y 2.90, el resultado de la prueba realizada es de 2.60, por lo que se determinó que cumple con lo requerido para esta investigación

De las características físicas del agregado fino especificadas en la tabla III cumplen con las especificaciones técnicas que se describen en las normas siguientes: La Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33) y el código ACI 211,1; La Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33); Norma NTG 41007 h-1(ASTM C-33), debemos mencionar que para Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33), para agregado fino, en el tamiz No. 200 no puede ser mayor al 7 % para una arena manufacturada y/o triturada. La prueba realizada en el laboratorio el porcentaje

fue en la prueba que se realizó, el porcentaje es de 4.72 %, donde se concluye que cumple con la norma técnica.

En el módulo de fisura la norma NTG 41007 h-1(ASTM C-33 determina que este valor debe de encontrarse en 2,30 y 3,10. Como resultado en este análisis fue de 2.6, por lo que se concluye que cumple con la norma. Con el 31 % de vacíos, el agregado muestra un contenido de vacíos bajo lo normal, que es entre 40 % a 50 %, por lo que se determina para esta investigación la menor pasta de cemento y así poder llenar los vacíos. Técnicamente el peso volumétrico de los agregados finos utilizados para mezclas de concreto oscila en 1,200 kg/m<sup>3</sup> a 1,750 kg/m<sup>3</sup>; cabe mencionar que en el análisis de laboratorio el resultado obtenido con el peso unitario fue de 1,760.00 kg/m<sup>3</sup>, por lo tanto, no cumple con los requerimientos establecidos.

Figura 11. **Agregado fino utilizado**



Fuente: [Fotografía de Ulises Morán]. (CII, USAC, Guatemala. 2021). Colección particular.  
Guatemala.

## **2.4. Caucho**

Caucho o hule, sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas. El caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados. En esta investigación se usará como aditivo el caucho reciclado con una medida de 2 milímetros de diámetro.

## **2.5. Agua**

Es un líquido que abastece al planeta y es utilizado de diferentes maneras, dentro de la construcción es uno de los principales aditivos para que tenga una mejor trabajabilidad la mezcla de concreto que se realiza dentro de elaboración del diseño de mezcla de concreto del estudio. El agua potable tiene un pH de 6.5 a 8.5 según Norma Coguanor NGO 29001.

## **2.6. Diseño teórico para la mezcla de concreto**

Las proporciones establecidas para el diseño teórico, cuenta con la cantidad de los materiales a utilizar para el proceso de la elaboración de la mezcla; sus proporciones no tienen aditivos químicos o materiales distintos. Al igual la función de las proporciones se deben seleccionar para facilitar la colocación, la densidad de la mezcla, resistencia y durabilidad para la aplicación del mismo en el proyecto.

Figura 12. **Diseño teórico de mezcla de concreto con aditivo de caucho**



Fuente: [Fotografía de Ulises Morán]. (CII, USAC, Guatemala. 2021). Colección particular.  
Guatemala.

### **2.6.1. Caucho al 5 %**

Las proporciones dadas para la realización de la mezcla es:

- Una proporción de cemento
- 2.07 proporciones de pedrín de 1/2 pulgadas
- 2.24 proporciones de arena o agregado fino
- 1 ¼ cubetas de agua
- 5.32 libras de caucho como aditivo
- Una cubeta de agua

### **2.6.2. Caucho al 10 %**

Las proporciones dadas para la realización de la mezcla es:

- Una proporción de cemento
- 2.07 proporciones de piedrín de 1/2 pulgadas
- 2.24 proporciones de arena o agregado fino
- 1 ¼ cubetas de agua
- 10.64 libras de caucho como aditivo

### **2.6.3. Caucho al 15 %**

Las proporciones dadas para la realización de la mezcla es:

- 1 proporción de cemento
- 2.07 proporciones de piedrín de 1/2 pulgadas
- 2.24 proporciones de arena o agregado fino
- 1 ¼ cubetas de agua
- 15.96 libras de caucho como aditivo

## **2.7. Ensayos de laboratorio al concreto**

El primer paso para los ensayos al concreto para el desarrollo constructivo donde nos dictaminara la calidad y durabilidad de cualquier estructura construida con este material en los que se puede mencionar: ensayo de concreto fresco y ensayo de revenimiento.

### **2.7.1. Ensayo de concreto fresco**

El concreto fresco es una mezcla trabajable de plasticidad y es capaz de ser moldeado tanto a mano como a máquina. Cuando el concreto fresco se encuentra muy húmedo es capaz de perder la resistencia del concreto para la cual la mezcla fue diseñada en este sentido existe un ensayo conocido como pruebas SLUMP. El concreto debe de ser mezclado correctamente con el fin que las muestras obtenidas deben de tener una misma masa volumétrica lograr el revenimiento deseado. Los ensayos fueron realizados con los procedimientos y especificaciones técnicas indicadas en las normas NTG y ASTM utilizadas. Los ensayos son los siguientes:

#### **2.7.1.1. Revenimiento NTG 41052 (ASTM C-143) para la mezcla al 5 %, 10% y 15 % de aditivo de caucho**

Aplicando el diseño teórico de mezcla propuesto en la investigación; se utiliza un molde con forma de cono truncado o cono de Abrams de 30.5 cm de altura, 20.3 cm diámetro de base y abertura más pequeña de 10.2 cm de diámetro. El procedimiento para el llenado del recipiente con concreto es la siguiente: la primera capa se llena 1/3 de recipiente y se dan 25 golpes; 2/3 de llenado del recipiente con la mezcla en mención se le proporcionan 25 golpes y por último el recipiente totalmente lleno se le proporcionan otros 25 golpes. Los 25 golpes para la compactación de la mezcla se realizan con una varilla del diámetro de 5/8 lisa de 24 pulgadas de largo.

Figura 13. **Ensayo de revenimiento**



Fuente: [Fotografía de Ulises Morán]. (CII, USAC, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

En el revenimiento la muestra no debe desmoronarse o desprenderse pronunciadamente si en caso esto sucede debe de repetirse el ensayo si esto sucede de nuevo al repetir el ensayo es probable que el concreto no tenga cohesión o plasticidad, como se muestra en la figura 13, ya que no existe desmoronamiento o falta de plasticidad en la mezcla.

### **2.7.1.2. Ensayo a compresión en cilindros NTG 41017 h1 (ASTM C-39)**

El parámetro para este ensayo es bajo la norma Coganor NTG 41017 h1 (ASTM C-39), dicho ensayo se realiza con el fin de que el cilindro de concreto se le aplique una presión o compresión hasta llegar a su falla. Los ensayos se realizan a los 3, 7, 28 días, la cantidad a ensayar por día son tres y la carga reportada es el promedio de los mismos.

Figura 14. **Ensayo a compresión**



Fuente: [Fotografía de Ulises Morán]. (CII, USAC, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

### 2.7.1.3. Ensayo a flexión en vigas norma ASTM C78

El ensayo a la resistencia a flexión es la capacidad que tienen los materiales de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal. Aplicando el diseño teórico de mezcla propuesto en la investigación; se realiza en una máquina de ensayos universal colocando una muestra en dos soportes donde se le aplica una fuerza para lograr medir sus propiedades y determinar la resistencia a flexión de la viga. Se mide mediante la aplicación de carga a vigas de concreto de 150X150X500 mm de sección transversal y con una luz de tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa en MPa – kg. f/cm<sup>2</sup> y el ensayo se realiza de acuerdo con las exigencias de la norma NTC 2871.

Figura 15. Vigas para los ensayos de flexión



Fuente: [Fotografía de Ulises Morán]. (CII, USAC, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.



## **3. RESULTADOS**

### **3.1. Tabulación de resultados**

Al momento de la unificación de las partículas del cemento, arena y agua, el concreto elaborado tiende a ganar resistencia con el tiempo transcurrido al de su colocación, las propiedades del concreto aumentan conforme el paso de los años, para que el concreto tenga una mejor calidad tiene que estar en un ambiente húmedo o pasar por fraguado determinado tiempo.

En el caso del diseño de las mezclas concreto con aditivo de caucho al 5 %, 10 % y 15 % por no tener muchas propiedades líquidas su proceso de secado es mayor y corresponderá al uso correcto de las proporciones con el interés de tener un mejor resultado para que sus propiedades que son requeridas sean las que cumplan las normativas dentro del mismo.

#### **3.1.1. Resistencia a compresión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %**

A continuación, se detalla el ensayo de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %, obteniendo los datos siguientes.

Tabla IV. **Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %, a los 3 días de fraguado**

# prueba	Fecha	Resistencia (kg/cm2 en 3 días)
1	11/04/2022	99
2	11/04/2022	105
3	11/04/2022	112

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %, a los 14 días de fraguado**

# prueba	Fecha	Resistencia (kg/cm2 en 14 días)
4	25/04/2022	121
5	25/04/2022	124
6	25/04/2022	126

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %, a los 28 días de fraguado.**

# prueba	Fecha	Resistencia (kg/cm2 en 28 días)
7	09/05/2022	142
8	09/05/2022	149
9	09/05/2022	151

Fuente: elaboración propia.

Cada muestra brinda una resistencia diferente debido a que existe un mayor fraguado del concreto con el aditivo de caucho al 5 % de la mezcla de concreto a los 28 días.

### **3.1.2. Resistencia a compresión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho al 10 %**

A continuación, se detalla el ensayo de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 10 %. Obteniendo los datos siguientes.

Tabla VII. **Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 10 %, a los 3 días de fraguado**

# prueba	Fecha	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> en 3 días)
1	11/04/2022	94
2	11/04/2022	90
3	11/04/2022	83

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 10 %, a los 14 días de fraguado**

# prueba	Fecha	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> en 14 días)
4	25/04/2022	98
5	25/04/2022	101
6	25/04/2022	105

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 10 %, a los 28 días de fraguado**

# prueba	Fecha	Resistencia (kg/cm2 en 28 días)
7	09/05/2022	120
8	09/05/2022	112
9	09/05/2022	116

Fuente: elaboración propia.

Cada muestra brinda una resistencia diferente debido a que existe un mayor fraguado del concreto con el aditivo de caucho al 5 % de la mezcla de concreto a los 28 días.

### 3.1.3. Resistencia a compresión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho al 15 %

A continuación, se detalla el ensayo de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 15 %. Obteniendo los datos siguientes:

Tabla X. **Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 15 %, a los 3 días de fraguado**

# prueba	Fecha	Resistencia (kg/cm2 en 3 días)
1	11/04/2022	63
2	11/04/2022	64
3	11/04/2022	59

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 15 %, a los 14 días de fraguado**

# prueba	Fecha	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> en 14 días)
4	25/04/2022	69
5	25/04/2022	74
6	25/04/2022	71

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Resultado compresión de mezcla de concreto con aditivo de caucho al 15 %, a los 28 días de fraguado**

# prueba	Fecha	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> en 28 días)
7	09/05/2022	76
8	09/05/2022	76
9	09/05/2022	74

Fuente: elaboración propia.

Cada muestra brinda una resistencia diferente debido a que existe un mayor fraguado del concreto con el aditivo de caucho al 15 % de la mezcla de concreto a los 28 días.

### 3.1.4. Resistencia a flexión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5%, 10% y 15 % a los 28 días de fraguado

A continuación, se presenta el resultado de laboratorio de concreto en el ensayo a flexión de la mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5%, 10% y 15 %, obteniendo los datos siguientes.

Tabla XIII. Resultado a flexión de las mezclas de concreto con aditivo de caucho al 5%, 10% y 15 %, a los 28 días de fraguado

mezcla	resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	Deflexión Máxima mm/1000
5%	79.23	2273.1
10%	62.35	1951.98
15%	44.16	1760.12

Fuente: elaboración propia.

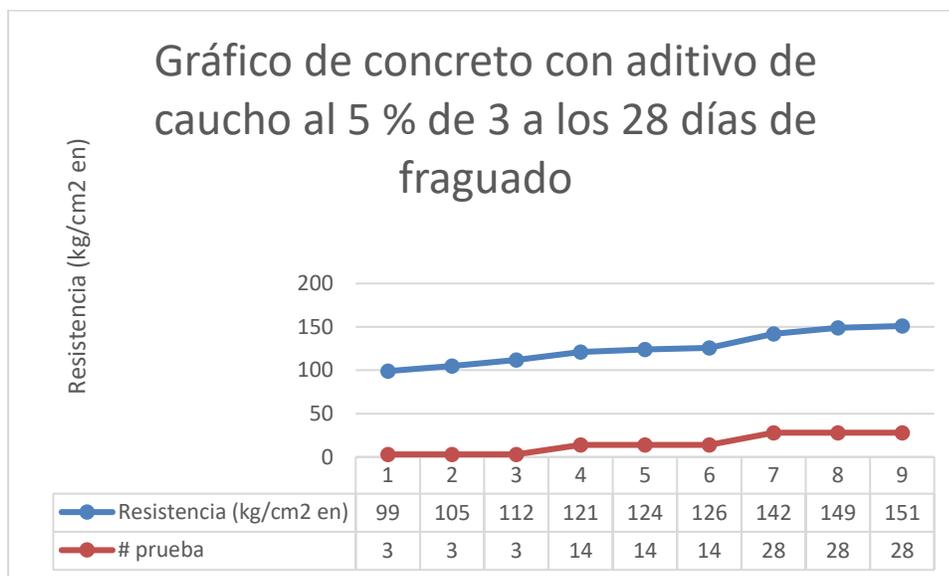
### 3.2. Gráficas de resistencia a la compresión

La grafica de resistencia de compresión es una representación visual del comportamiento de las distintas mezclas a la reacción química del fraguado de concreto.

**3.2.1. Gráfico de la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido según tiempo de curado en una mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %**

La figura 16 detalla la resistencia de las diferentes mezclas de concreto con aditivo de caucho al 5 % con fraguado desde los 3 días hasta los 28 días, así también se puede observar la resistencia a compresión de las tres mezclas.

**Figura 16. Gráfico de concreto con aditivo de caucho al 5 % de 3 a los 28 días de fraguado**

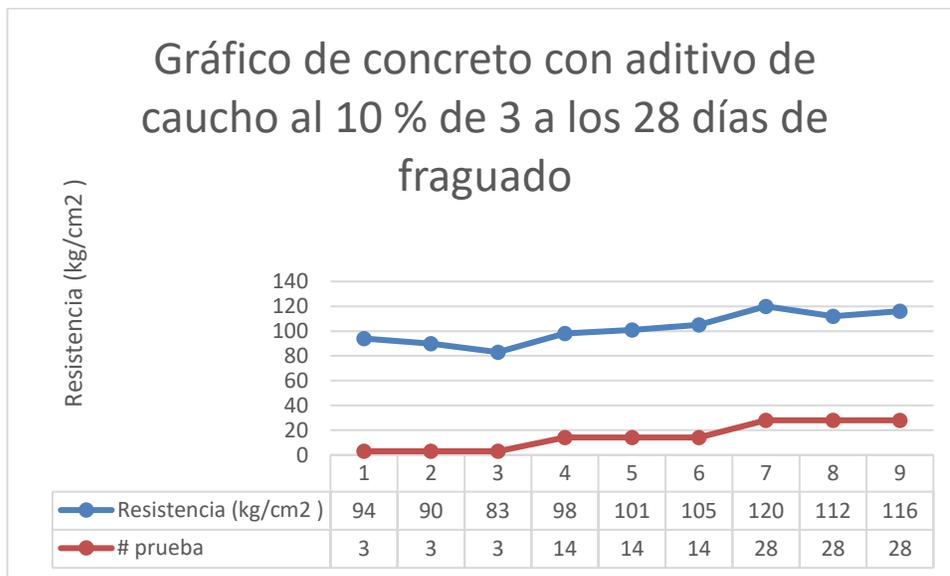


Fuente: elaboración propia.

**3.2.2. Gráfico de la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido según tiempo de curado en una mezcla de concreto con aditivo de caucho al 10 %**

La figura 17 detalla la resistencia de las diferentes mezclas de concreto con aditivo de caucho al 10 % con fraguado desde los 3 días hasta los 28 días, así también se puede observar la resistencia a compresión de las tres mezclas.

**Figura 17. Gráfico de concreto con aditivo de caucho al 10 % de 3 a los 28 días de fraguado**

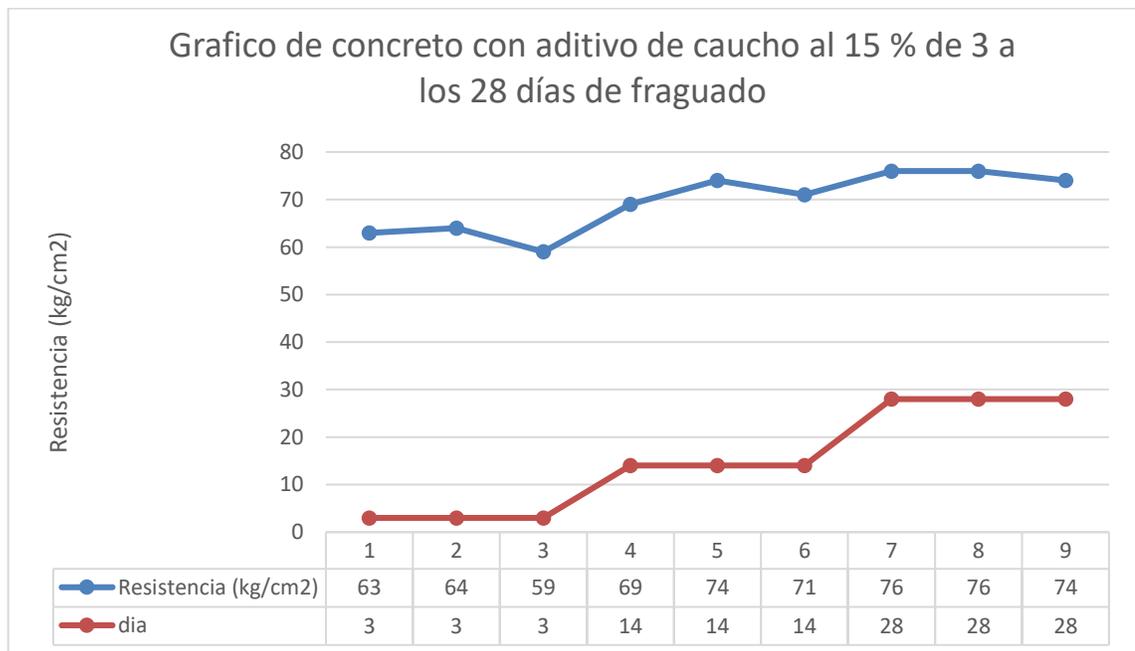


Fuente: elaboración propia.

**3.2.3. Gráfico de la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido según tiempo de curado en una mezcla de concreto con aditivo de caucho al 15 %**

La figura 18 detalla la resistencia de las diferentes mezclas de concreto con aditivo de caucho al 15 % con fraguado desde los 3 días hasta los 28 días, así también se puede observar la resistencia a compresión de las tres mezclas.

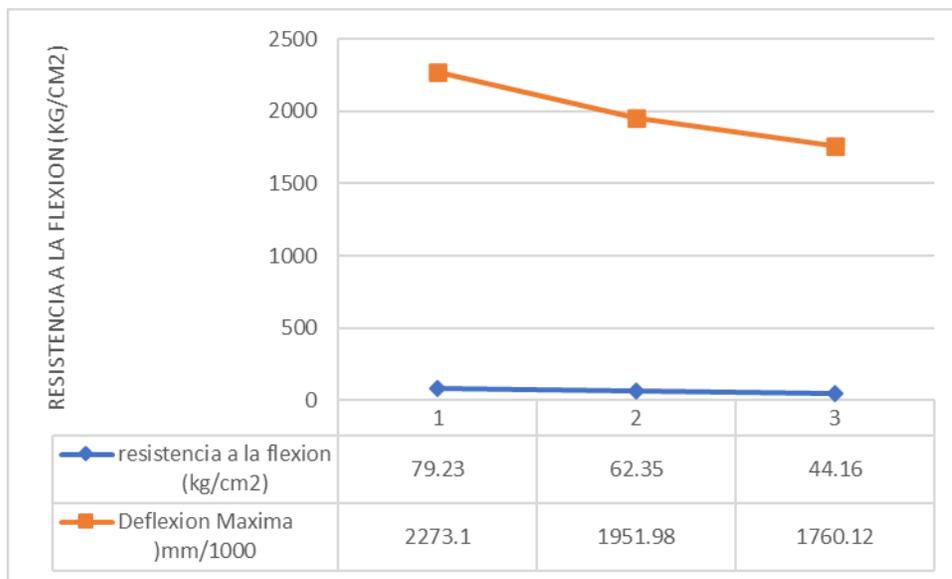
**Figura 18. Gráfico de concreto con aditivo de caucho al 15 % de 3 a los 28 días de fraguado**



Fuente: elaboración propia.

**3.2.4. Gráfica del análisis del ensayo a flexión de las mezclas de concreto con aditivo de caucho al 5 %, 10 % y 15 %, a los 28 días de fraguado**

Figura 19. **Gráfico de ensayo a flexión de las mezclas de concreto con aditivo de caucho al 5%, 10% y 15 % de 28 días de fraguado**



Fuente: elaboración propia.

## **4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

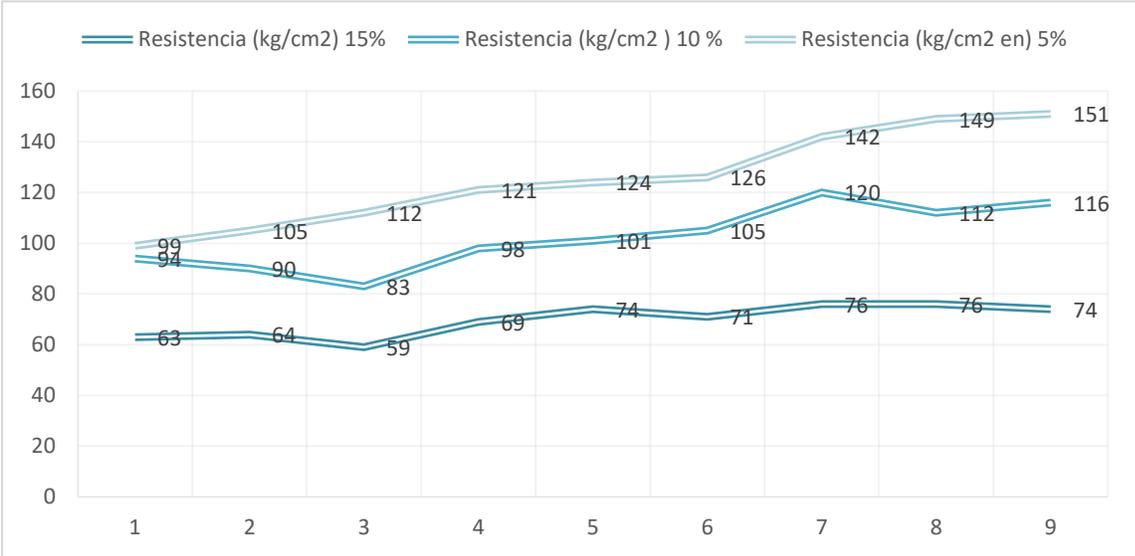
### **4.1. Comparación entre mezclas realizadas**

Basado en la toma de datos de las diferentes resistencias a compresión de las mezclas de concreto con aditivo de caucho con los porcentajes propuesto de 5 %, 10 % y 15 % para esta investigación en busca si alguna de ellas cumple con lo propuesto es este estudio comparando los ensayos realizados en el laboratorio de concreto.

#### **4.1.1. Gráfico comparativo de la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido según tiempo de curado en una mezcla de concreto con aditivo de caucho al 5 %, 10 % y 15 %**

La figura 20 detalla la comparación de las tres mezclas de concreto con aditivo de caucho al 5 %, 10 % y 15 % con fraguado desde los 3 días hasta los 28 días, así también se puede observar la resistencia a compresión de las tres mezclas.

Figura 20. **Gráfico comparativo de resistencia de concreto con aditivo de caucho al 5%, 10% y 15 % de 3 a los 28 días de fraguado**



Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Se desarrollaron los diseños de mezcla de concreto hidráulico de 4,000 psi con las proporciones de 5 %, 10 % y 15 % de caucho, por lo tanto, se evidencia que la presencia de caucho como componente estructural del concreto influye en sus propiedades mecánicas, en particular en la resistencia a la compresión.
2. Se determinó que la compresión y flexión después de realizar los ensayos en el laboratorio las mezclas de concreto con el aditivo de caucho no cumplieron con la resistencia de 4,000 psi.
3. Se identificó que el caucho reciclado afecta las propiedades físico-mecánicas del concreto al extremo de bajar demasiado la resistencia propuesta de 4,000 psi de esta investigación.
4. Se determinó que el porcentaje que necesita la mezcla de concreto debe de ser menor a los utilizados en la investigación.



## RECOMENDACIONES

1. Que en el diseño de mezcla de concreto propuesto en esta investigación la proporción sea menor al 5 % de aditivo de caucho, esto derivado a que a menor cantidad de caucho mejorará la resistencia a la compresión
2. Restructurar la mezcla de concreto a una resistencia mayor de 4,000 psi para lograr una mayor resistencia para utilizarlo en pavimentos articulados.
3. Utilizar un diámetro menor que 2 mm para mejorar la compresión y flexión de la mezcla de concreto que se utilizó en esta investigación.
4. Que el porcentaje por utilizar en el diseño de mezcla sea menor al 3 % de caucho con un diámetro menor a 2 mm.



## REFERENCIAS

1. Animales y Plantas de Perú PLAAN. (20 de mayo, 2014). *Árbol del caucho - Hevea brasiliensis*. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://animalesyplantasdeperu.blogspot.com/2014/05/arb-ol-del-caucho-hevea-brasiliensis.html>
2. Alevas. (20 de agosto, 2013). *Pruebas del concreto*. [Mensaje de un blog]. de <https://es.slideshare.net/conejitavas/pruebas-del-concreto>
3. Álvarez, J. (2017). *Azúcar como aditivo retardante y modificador de resistencia para mezclas de concreto*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6681/1/Julio%20C%C3%A9sar%20Alvarez%20Guill%C3%A9n.pdf>
4. Ayala, L. (s.f.). *Reacciones químicas en los agregados*. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://prezi.com/rnyluhouarm7/reacciones-quimicas-en-los-agregados/>.
5. Bonells, J. (27 de enero, 2019). *Jardines sin Fronteras*. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://jardinessinfronteras.com/2019/01/27/los-ficus-elastica-y-sus-variedades-en-andalucia/>
6. Constructor civil. (22 de enero, 2011). *Aditivos acelerantes*. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/aditivos-acelerantes.html>

7. CONACYT. (s.f.). *Sistema de centros públicos de investigación CONACYT*. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://centrosconacyt.mx/objeto/huledeguayule/>.
8. Dominguez, E. (13 de octubre, 2015). *Estados del concreto*. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://es.slideshare.net/EdsonDominguezYupanqui/estados-del-concreto>
9. Osorio, J. (20 de mayo, 2013). *360 en concreto*. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/agregados/reaccion-alkali-agregado>
10. Parra, M. (16 de mayo, 2012). *Concreto endurecido*. [Mensaje de un blog]. Recuperado de [https://www.academia.edu/5229994/UNIDAD\\_4\\_CONCRETO\\_ENDURECIDO](https://www.academia.edu/5229994/UNIDAD_4_CONCRETO_ENDURECIDO)
11. Rivera, T. (16 de diciembre, 2014). *Concreto y sus propiedades*. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://es.slideshare.net/tahirariveraquo/concreto-y-sus-propiedades>