



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ELABORACIÓN DE TEJA UTILIZANDO COMO MATERIA PRIMA  
CAUCHO RECICLADO

Autora

Pamela Carolina Hidalgo Chávez

Año  
2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Elaboración de teja utilizando como materia prima caucho reciclado

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y  
Remediación

Profesor Guía

MSc. Yasser Alejandro González Romero

Autora

Pamela Carolina Hidalgo Chávez

Año

2018

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido el trabajo, elaboración de tejas utilizando como materia prima caucho reciclado, a través de reuniones periódicas con la estudiante Pamela Carolina Hidalgo Chávez, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

---

Yasser Alejandro González Romero

Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental

C.I: 070373762-7

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR**

“Declaro haber revisado este trabajo, elaboración de tejas utilizando como materia prima caucho reciclado, de Pamela Carolina Hidalgo Chávez, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

---

Daniel Hernán Hidalgo Villalba

Magister en Ciencias Especialización Ingeniería Ambiental

C.I.: 1801914449

## **DECLARACIÓN DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

Pamela Carolina Hidalgo Chávez

C.I: 1724006117

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por el apoyo brindado a lo largo de esta etapa universitaria, a mis tías y tíos que además me han ayudado con tiempo, conocimientos y recursos tanto para este trabajo como a lo largo de mi vida. De igual forma, a mis hermanos por el simple hecho de existir y volverse una motivación para mí. A los docentes que me han ayudado y guiado durante este tiempo, Ing. Daniel Hidalgo por ayudarme en el desarrollo de este tema e Ing. Yasser González por guiarme y motivarme a lo largo de este proceso. También a la empresa Rubberaction por abrirme sus puertas y colaborar de forma abierta con este trabajo de titulación.

## **DEDICATORIA**

A ese angelito en el cielo que me cuida, me protege y es uno de mis principales motores, gracias por convertirme en la persona que soy ahora. A mis padres, sin cuyo esfuerzo y dedicación no hubiera logrado culminar esta etapa de mi vida. A esa persona especial que me dio aliento, fuerzas y me supo levantar en los momentos en los que me sentía derrotada, gracias por ser un apoyo siempre te llevaré en mi corazón.

## RESUMEN

El aumento del uso de automóviles ha provocado que se tenga un aumento, con el tiempo, en la cantidad de neumáticos que son desechados, ocasionando de esta forma un problema tanto para el ambiente como para la sociedad. Este tipo de residuo ha obtenido un especial interés debido a los cambios normativos que se han dado, teniendo como consecuencia la prohibición de la quema de estos residuos y la disposición final de los mismos a través de un gestor autorizado. De esta forma, teniendo como resultado la búsqueda de nuevos usos y aplicaciones para este residuo en cuya composición predomina el caucho. El presente estudio busca darle una nueva aplicación a este residuo a través de incorporarlo en forma de polvo de caucho en la mezcla para la fabricación de tejas de hormigón. Para ello primeramente se realizaron pruebas a menor escala, de las cuales se obtuvieron resultados satisfactorios y permitieron el establecimiento de ciertos volúmenes de residuo para la incorporación en la mezcla de cemento, arena y agua, en este caso, el polvo de caucho suplantarán en volumen a la arena o agregado fino de la mezcla. Adicionalmente, una vez fabricada la teja se procedió a validar el material a través de ensayos de laboratorio específicos para el mismo, teniendo como base la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2420, de la cual se sacó los procedimientos y ayudó al análisis de los resultados obtenidos. En función de lo mencionado anteriormente se obtuvieron resultados favorables en dos de las tres pruebas realizadas, estas siendo, la resistencia al impacto y permeabilidad, teniendo a la resistencia a la flexión como el único que no arrojó ni un solo valor favorable en las tejas con polvo de caucho sometidas al mismo. Se logró concluir que la incorporación de polvo de caucho en la mezcla para la fabricación de tejas de hormigón es aceptable, obteniendo de esta forma una nueva aplicación para este tipo de residuo que se tiene en cantidad altas actualmente y que tiene la tendencia a seguir en aumento.

**Palabras clave:** polvo de caucho, mezcla, teja de hormigón, resistencia a la flexión, resistencia al impacto, permeabilidad.

## ABSTRACT

The increase in the use of cars has led to a rise, over time, in the number of tires that are discarded, thus causing a problem for both the environment and society. This type of waste has had a special interest due to the normative changes that have taken place, having as consequence the prohibition of the burning of this waste and the final disposition of the same ones through an authorized manager. In this way, having as a result the search for new uses and applications for this waste that have in their composition in majority rubber. The present study seeks to give a new application to this waste by incorporating it in the form of rubber powder in the mixture for the manufacture of concrete tiles. For this, first, tests were carried out on a smaller scale, of which satisfactory results were obtained and allowed the establishment of certain volumes of waste for the incorporation into the mixture of cement, sand and water, in this case, rubber dust, will supplant in volume the sand or fine aggregate of the mixture. Additionally, once the tile was manufactured, the material was validated through laboratory tests specific to it, based on the normative INEN 2420 Ecuadorian Technical Standard, from which the procedures were taken, and this helped to analyze the results obtained. Of the tests mentioned above, favorable results were obtained in two of the three tests carried out, these being the impact and permeability test, with the flexural strength test being the only one that did not show a single favorable value in the tests. It was concluded that the incorporation of rubber powder in the mixture for the manufacture of concrete tiles is acceptable, obtaining in this way a new application for this type of waste that is present in high quantity at present and that has the tendency to continue increasing in the future.

**Key words:** rubber powder, mixture, concrete tile, flexural strength, impact test, permeability test.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes: .....	1
1.2 Alcance: .....	3
1.3 Justificación: .....	4
1.4 Objetivos: .....	6
2. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 Materiales utilizados comúnmente en techos.....	6
2.2 Hormigón.....	8
2.3 Tejas de hormigón. ....	9
2.4 Diseño de mezclas para la fabricación de tejas de hormigón. ....	11
2.5 Neumáticos fuera de uso y su composición.....	12
2.6 Materiales para techos en cuya composición incluyan ..... caucho de neumáticos usados.....	14
2.7 Normativa aplicable para tejas de hormigón.....	15
3. METODOLOGÍA .....	17
3.1 Esquema de presentación de Metodología.....	17

3.2 Diseño Experimental.....	18
3.3 Elaboración de tejas con porcentajes de adición de caucho. .	24
3.4 Ensayos realizados al material para demostrar su viabilidad.	29
<b>4. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>34</b>
4.1 Esquema de presentación de resultados y análisis .....	34
4.2 Resultados del diseño experimental y elaboración de tejas con polvo de caucho.....	34
4.3 Resultados de los ensayos de laboratorio.....	41
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>52</b>
5.1 Conclusiones .....	52
5.2 Recomendaciones .....	54
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de material para techos usados en Ecuador..	7
Figura 2. Curva de tensión-deformación para agregados, hormigón y pastas hidratadas..	11
Figura 3. Composición de la Metodología	17
Figura 4. Operaciones de la metodología	17
Figura 5. Fotografías de la maquinaria utilizada en la planta de Rubberaction para el procesamiento de los neumáticos fuera de uso.	25
Figura 6. Fotografía de la mezcla de polvo de caucho, cemento y arena.	26
Figura 7. Fotografías del molde utilizado para la fabricación de las tejas.	27
Figura 8. Fotografías del fraguado y curado de la teja.	28
Figura 9. Instrumento para el ensayo de permeabilidad.	30
Figura 10. Fotografía marco para ensayo de permeabilidad	30
Figura 11. Soporte para ensayo de flexión.	32
Figura 12. Fotografía del equipo usado en ensayo de resistencia a la flexión.	32
Figura 13. Fotografía de los materiales usados para el ensayo de resistencia al impacto.	33
Figura 14. Resumen de resultados y análisis	34
Figura 15. Fotografías de los resultados de las pruebas a menor escala.	36
Figura 16. Fotografía de las tejas fabricadas.	38
Figura 17. Resultado de Test Duncan.	40
Figura 18. Fotografías de los resultados del ensayo de resistencia a la flexión.	44

Figura 19. Fotografías de los resultados del ensayo de resistencia al impacto.....	47
Figura 20. Fotografías de los resultados del ensayo de permeabilidad. ....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Diseño experimental.....	19
Tabla 2: Tabla ANOVA para bloques completos.....	22
Tabla 3: Codificación.....	23
Tabla 4: Especificaciones técnicas polvo de caucho.....	24
Tabla 5: Carga de rotura a la Flexión .....	31
Tabla 6: Proporciones en volumen para la mezcla de polvo de caucho y hormigón .....	35
Tabla 7: Pesos en gramos de los cubos con cemento, arena y polvo de caucho .....	35
Tabla 8: Tejas elaboradas, codificación (V: Volumen, R: Repetición), proporción, cubos de medición añadidos a la mezcla, cantidad de agua y peso.....	37
Tabla 9: ANOVA del peso de las tejas obtenidas.....	38
Tabla 10: Test Duncan, resultado obtenido del programa Infostat.....	40
Tabla 11: Resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la flexión.....	41
Tabla 12: Transformación de unidades de carga de rotura a la flexión de las tejas ensayadas.....	43
Tabla 13: Resultados ensayo de resistencia al impacto.....	46
Tabla 14: Resultados del ensayo de permeabilidad.....	49

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes:

La búsqueda de usos para el residuo proveniente de neumáticos usados se remonta desde el año 1970, en el cual se empezó a utilizar el caucho de este residuo para modificación de betunes para el sellado de fisuras de pavimentos, ligantes para tratamientos superficiales, riegos y membranas, sin embargo, este uso es reducido en comparación con la cantidad de residuo que se genera (Revista Ambientalex, 2016). Otros usos que se le han dado a este tipo de residuos son en cementos asfálticos, en los estados de Florida, California y Arizona utilizando el polvo de neumáticos con contenidos entre 5% a 30% en la composición de dichos cementos; así como en la producción de hormigón ligero prefabricado, bloques de albañilería, adoquines de hormigón, pavimentos, paneles prefabricados resistentes al impacto, aislamiento para cimentaciones de máquinas, la variedad de usos que se le puede dar a este tipo de residuo en la rama de la construcción es amplia y se debe a que las características de los neumáticos, en cuanto a su composición química, no interviene negativamente en las propiedades del cemento (Revista Ambientalex, 2016).

Un estudio desarrollado en el VI Congreso Nacional de Firms demostró la viabilidad de adicionar caucho reciclado de neumáticos de camiones al hormigón, en este caso, se cambió las cantidades más no el tamaño de la partícula de caucho, estando estas cantidades entre 3,5% y 5% en volumen de caucho (Witoszek, y otros, 2004). El estudio demostró la compatibilidad entre el caucho y el hormigón, mostrando mejoras en las fisuras por retracción y disipación de energía elástica, debido a que el caucho le brinda mayor elasticidad al producto de hormigón, y una reducción en el nivel sonoro de tráfico al utilizar este material como pavimento (Witoszek, y otros, 2004).

Por otra parte, un estudio presentado por la editorial Elsevier en la revista *Construction and Building Materials* demostró que, al agregar caucho reciclado,

provenientes de neumáticos que cumplieron su vida útil, como un agregado fino en la mezcla de hormigón y suplantando en un 30% en volumen a la arena utilizada para la mezcla se obtiene un material óptimo para utilizarlo como pavimentos al cumplir con las propiedades necesarias, como endurecimiento (Kardos & Durham, 2015). Los porcentajes de polvo de caucho que reemplazaron a la arena fueron de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% en volumen, los ensayos que se realizaron a las mezclas fueron en concreto fresco y concreto endurecido, en el caso del concreto endurecido se midió la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción dividida, ruptura, elasticidad, permeabilidad y durabilidad, adicionalmente, se evaluó la lixiviación de compuestos orgánicos volátiles (Kardos & Durham, 2015). Obteniendo resultados favorables en el caso de la permeabilidad y una disminución en la resistencia a la compresión, elasticidad y ruptura (Kardos & Durham, 2015).

Desde otro punto de vista, la empresa de Tratamiento de Neumáticos Usados (TNU) localizada en España ha venido investigando sobre nuevas alternativas para los neumáticos fuera de uso, en este caso, desarrolló un tipo de tejado a partir del caucho proveniente de estos neumáticos, esto lo realizó de forma conjunta con la empresa Euroshield (Tratamiento de Neumáticos Usados TNU, 2017). Este tipo de tejado sigue en proceso de investigación, sin embargo, han logrado determinar que se tiene una mejora en la permeabilidad del material, además de que lo vuelve más liviano (Tratamiento de Neumáticos Usados TNU, 2017). En este caso, el tejado es 100% de caucho reciclado y puede llegar a ocupar desde 600 a 1000 neumáticos fuera de uso, el proceso se basa en convertir estos neumáticos en paneles de caucho y recubrirlos con polvo de pizarra, los resultados que se han obtenido demuestran una durabilidad del material mayor a 50 años y una vez cumplida la vida útil del material este puede ser reciclado, siendo una alternativa sustentable para el uso del caucho proveniente de estos neumáticos (Tratamiento de Neumáticos Usados TNU, 2017).

Se han realizado varios estudios para determinar la viabilidad de la utilización de caucho reciclado como parte de la mezcla para la formación de materiales de construcción, sin embargo, los estudios para la creación de un material para tejado son escasos, pero de ellos se han obtenido resultados positivos en cuanto a permeabilidad y durabilidad. No existe en sí una comprobación de las propiedades del material para tejado combinado con caucho reciclado en base a metodologías estandarizadas o el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales. Los estudios mencionados anteriormente parten por los impactos ambientales que los neumáticos causan una vez que concluye su vida útil y por ende la necesidad de darle una utilidad a estos residuos. De los estudios realizados se puede concluir que el caucho reciclado se tiende a añadir en la mezcla de hormigón como un agregado fino, es decir, polvo de caucho y suplantando a la arena. Además, la cantidad de caucho reciclado añadido puede ser en función de un porcentaje de masa de la mezcla. Los resultados variarán en función del material que sea mezclado con el caucho reciclado, en el caso del hormigón, los resultados obtenidos demostraron el cumplimiento y mejora en la elasticidad, reducción de ruido, permeabilidad, resistencia a la compresión y flexión del material. Mientras, que en el caso del tejado que es 100% de caucho reciclado al momento los resultados que se han obtenido demuestran una mejora en la permeabilidad, y durabilidad del material. La eficiencia del material variará en función de la forma en que sea realizada la mezcla, los porcentajes que sean añadidos y el tipo de material que sea empleado junto con el caucho reciclado. Son escasos los estudios en los que se involucran ciertos porcentajes de caucho junto con arcilla u otro material empleado para la fabricación de tejas, razón por la que se realizará este estudio.

## **1.2 Alcance:**

En el presente estudio se realizarán mezclas para la formación de tejas sustituyendo en determinadas cantidades a la arcilla de la mezcla con caucho proveniente de neumáticos fuera de uso. Los ensayos al material se los realizarán una vez obtenido el material y se los realizará en laboratorios de

Ingeniería Civil, entre los principales ensayos están los ensayos de permeabilidad y resistencia a la flexión.

La experimentación será realizada a nivel de laboratorio, partiendo del polvo de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso, el mismo que se incorporará en la mezcla, los ensayos se realizarán partiendo de los estándares proporcionados por normativa ecuatoriana e internacional.

### **1.3 Justificación:**

El aumento de la cantidad de vehículos en el Ecuador ha llevado a un incremento en la contaminación atmosférica generada por los mismos, al igual que en la cantidad de desechos que se generan, tanto de partes metálicas como de neumáticos, los cuales cada cierto tiempo deben ser cambiados por neumáticos nuevos (Ministerio del Ambiente, s.f.). En el Ecuador cada año son desechados millones de neumáticos, de los cuales un porcentaje, mediante las gestiones realizadas por el Ministerio del Ambiente (MAE), son reutilizados para el reencauchado, sin embargo, la mayor parte es incinerada o depositada en basureros al aire libre, que representa un problema ambiental y de salud, al ser un foco para la formación y propagación de enfermedades (Ministerio del Ambiente, s.f.). Además, los neumáticos desechados son residuos difíciles de manejar y tardan alrededor de 600 años en degradarse (La Hora, 2010).

Otra razón por la que se ha dado un aumento en la cantidad de estos residuos es la cultura de consumo actual, el nivel de explotación de los recursos es alta, la sociedad exige cada vez más recursos, el volumen de neumáticos que se desechan aumenta cada año y su eliminación es lenta debido al tiempo que estos tardan en degradarse (Aguado, 2010).

Los materiales de los que se puede obtener una utilidad en los neumáticos desechados son: caucho natural, estireno butadieno, polibutadieno y

polisoprenos sintéticos, es decir, polímeros naturales y sintéticos, los cuales cuya cantidad variará en función del tipo de neumático que se tenga, variando entre neumático de auto y neumático de camión (Albano, Camacho, Hernández, Bravo, & Guevara, 2008). Otra forma por la que se clasifican los residuos de caucho es según el proceso de reciclado al cual se ha sometido el neumático, variando de esta forma las características entre los residuos de caucho (Flores, Flores, & Hernández-Olivares, 2016).

Un ejemplo de la cantidad de residuos de neumáticos es en Europa, en donde en el año 2014 se produjeron 300 millones de neumáticos de automóviles y 17 millones de neumáticos de camiones, mostrando la magnitud de residuos que se tendrán en un futuro, siendo un problema una vez que estos hayan cumplido su vida útil tanto en su almacenamiento, eliminación y reciclaje y haciendo que estos aumenten en cantidad en los vertederos (Flores, Flores, & Hernández-Olivares, 2016). La solución por la que se ha optado para este residuo es la eliminación por combustión al usar estos neumáticos como combustible en hornos de cemento, generando grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera y ocasionando un gran impacto ambiental (Flores, Flores, & Hernández-Olivares, 2016).

Debido al difícil manejo de los neumáticos una vez cumplida su vida útil y las grandes cantidades que se puede encontrar actualmente de los mismos se determinó usarlos dentro de la experimentación, en este caso buscando reutilizarlos para la formación de un material compuesto para la fabricación de tejas, puesto que la demanda de este tipo de material para techos es alta y por ende ayudaría a controlar y darles uso a los neumáticos fuera de uso. Por lo que, se evaluará 3 tipos de mezclas con caucho reciclado proveniente de estos neumáticos en comparación con 1 mezcla sin caucho reciclado y con ello se podrá definir que mezcla cumple con las propiedades, estándares y es óptima para utilizarla en techos.

## **1.4 Objetivos:**

### **Objetivo General**

Desarrollar tejas utilizando como materia prima polvo de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso.

### **Objetivos específicos**

Determinar la mejor mezcla para la fabricación de tejas en función de 4 volúmenes de adición de caucho.

Comprobar que las propiedades del material sujeto a estudio cumplan con los requisitos básicos para este tipo de material, demostrando su viabilidad a través de ensayos.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Materiales utilizados comúnmente en techos.**

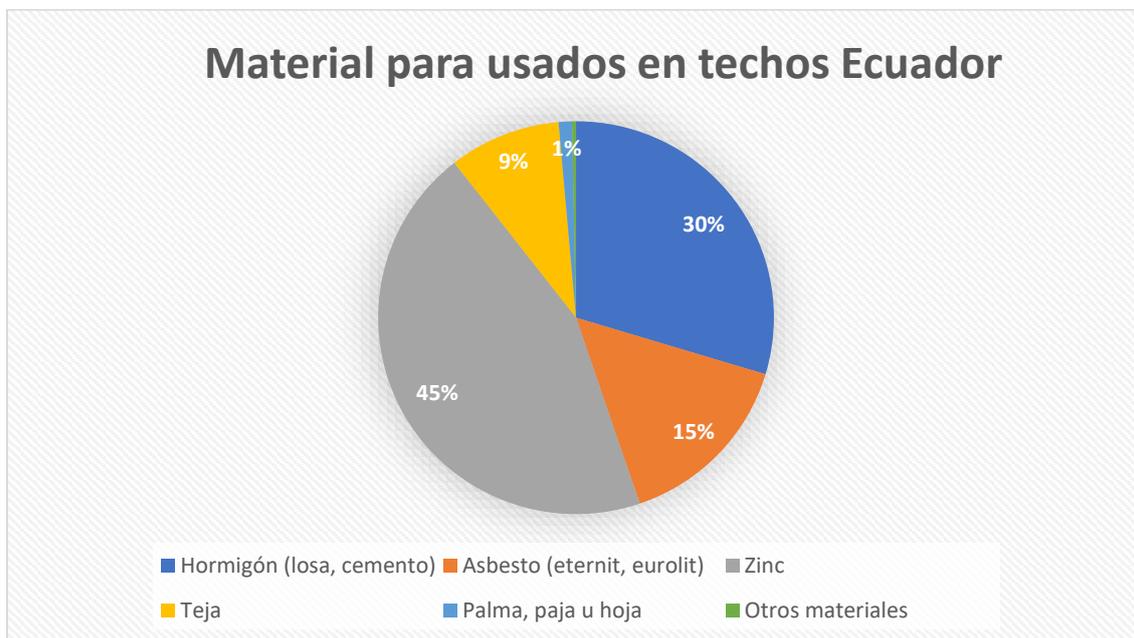
Los materiales que conforman un techo son:

- láminas de contra enchapado
- tramados
- respiraderos
- aleros
- faja
- tejas

Los techos pueden estar conformados por tejas o pizarras, las tejas a su vez pueden ser de material cerámico u hormigón, las pizarras pueden ser de zinc o material plástico, a su vez, los techos pueden distinguirse por varios tipos como son: de una sola pendiente o dirección, de dos sentidos, medio pabellón de

planta cuadrada o rectangular, pabellón completo de planta cuadrada o rectangular, de uno o dos sentidos con faldones, de uno o dos sentidos con faldones y mojinete, cubierta quebrada, con diente de sierra y techo con cubierta plegada, un factor importante que se debe tener en cuenta para la cubierta es su pendiente o inclinación, que estará en función de la infraestructura que se quiere construir (Lefevre, 2016).

Según los datos obtenidos en el censo realizado en el año 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), el material de cubiertas que se utiliza en mayor cantidad en el Ecuador es el Zinc en un 45%, seguido por el hormigón en un 30%, la teja llegó a tener un 9% de uso en los techos ecuatorianos, los datos mencionados anteriormente se los puede observar en la Figura 1, el Eternit o eurolit también es un tipo que se utiliza frecuentemente en los techos ecuatorianos.



*Figura 1.*

Tipos de material para techos usados en Ecuador. Adaptado de: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010.

## 2.2 Hormigón.

El hormigón viene a ser el resultado de la mezcla entre un material de relleno o agregado y una pasta endurecida, esta es formada por la reacción química de hidratación entre cemento y agua, se le puede dar un valor agregado al hormigón al añadirse productos químicos para mejorar sus cualidades, estos pueden ser agregados en la mezcla o una vez que se tiene el hormigón endurecido, los mismos se ubicarán entre las partículas de agregado, grava o ripio y arena, uniéndolos, sin embargo, el uso en grandes cantidades influirá en los costos del hormigón puesto que el cemento es el ingrediente más costoso de la mezcla, una proporción habitual del agregado se encuentra entre el 65% y el 75% en volumen, la pasta entre el 33% y 23% en volumen y lo restante equivale a aire, por lo tanto, los ingredientes comunes del hormigón son: cemento, agregados finos y gruesos, agua y aire (Setareh & Darvas, 2017).

La base de un buen hormigón es su mezcla, el rendimiento, calidad y durabilidad se encuentran afectados de forma directa o indirectamente con las relaciones entre los compuestos de la mezcla, sin embargo, esta variará en función del uso que se le vaya a dar al hormigón, por ejemplo, si se necesita un hormigón con una resistencia no muy alta se variará la relación entre agua y cemento propuesta en la mezcla, siendo de esta forma uno de los principales puntos a tener en cuenta para la elaboración de hormigón, estando relacionada directamente con la resistencia deseada dentro de una obra o proyecto (Yang, 2015).

En el Ecuador los materiales utilizados para la elaboración de hormigón se encuentran regulados a través de ciertas normativas, en el caso del cemento este será controlado por la norma NTE INEN 152 Cemento Portland Requisitos, de igual forma los áridos utilizados para la mezcla deberán responder a las especificaciones detalladas en la norma NTE INEN 872 Áridos para hormigón Requisitos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005).

### 2.3 Tejas de hormigón.

Las tejas fueron creadas por los griegos y romanos, inicialmente no tenían la misma forma como son las tejas actuales, la forma se encontraba entre una teja plana y una teja curva, el material utilizado para la fabricación de este material de cubiertas era únicamente arcilla (Corrales, 2010). La teja de hormigón aparece con el desarrollo industrial entre los siglos XVIII y XIX, en donde la actividad de la teja se mejoró, entre las mejoras se encontraron los sistemas mecánicos para la producción de estas, el uso de nuevos materiales y de nuevos sistemas de encaje (Roof Eco Smart System, 2013).

Para la fabricación de tejas de hormigón se utiliza generalmente cemento, áridos y colorantes, los mismos que son suministrados por dosis en la mezcla, dosis impuesta previamente por una relación en peso o volumen, la conformación de la teja se la realiza mediante compresión y extrusión de manera simultánea asegurando su nivel de compacidad, la conformación es realizada sobre moldes individuales fabricados para conseguir la planeidad y estabilidad dimensional necesaria (Boral Roofing, 2013). El siguiente paso para la fabricación de estas tejas es el curado, el mismo que define la resistencia del material, de esta forma, la teja no debe ser manipulada antes de someterse al procedimiento de curado, el curado se lo puede realizar de forma acelerada al someterle a una temperatura y humedad relativa determinada durante un ciclo de entre 8 a 10 horas, posteriormente, estas tejas se extraerán de los moldes y estarán listas para su manipulación y venta, los ensayos a realizar para verificar la viabilidad de las tejas son realizados una vez transcurridos al menos 7 días una vez terminado el proceso de curado (Asociación Argentina del Bloque de Hormigón, s.f.).

Los tipos de tejas que se encuentran normados en el Ecuador por el Instituto Ecuatoriano de Normalización son: tejas cerámicas, tejas vidriadas y tejas de hormigón; las tejas cerámicas son fabricadas con arcilla a la que se le somete a un proceso de cocción a altas temperaturas, las tejas vidriadas son denominadas a aquellas tejas de cerámica que poseen en un cara exterior o un interior un

material impermeable con el fin de reducir la absorción de humedad (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1982), y, las tejas de hormigón son aquellas elaboradas a base de minerales, cemento y aditivos en conjunto con un mortero de granulometría conocida y formado por un sistema de prensado o vibrado (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005).

Las tejas generalmente tienen dos formas, forma plana y forma curva, en función de la forma que tome se tendrá el tamaño de cada una; la teja de forma plana posee una pequeña curvatura que ayuda a la estabilidad de la teja, en uno de sus lados tiene un pequeño relieve que sirve de soporte, mientras que, en el otro lado finaliza la forma de la teja con una parte plana pero previa a esa parte plana se tiene un pico curvo que tiene como función el soporte y unión entre tejas (Bottarelli, Bortoloni, Zannoni, Allen, & Cherry, 2017).

El tamaño de la teja para el caso ecuatoriano se encuentra normado a través de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 986, en la misma que se detalla que la teja curvada tendrá un largo de 44 cm, ancho de 22 cm, espesor igual a 1 cm y la flecha correspondiente a la curvatura es igual a 6 cm; mientras que, la teja plana tendrá un largo igual al 44 cm, ancho igual al 30 cm y un espesor de 1 cm (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1982).

Por otro lado, la colocación de las tejas parte de determinar la pendiente adecuada según la construcción, la pendiente mínima es de 20°, previa la colocación de la teja se debe verificar que la superficie no tenga desniveles y en caso de tenerlos se los debe eliminar o igualar la superficie, además se debe impermeabilizar la zona antes de la instalación, posteriormente, se instala la primera hilada horizontal partiendo desde el extremo inferior derecho y la primera hilada vertical desde abajo hacia arriba, en resumen yendo de abajo hacia arriba y de derecha hacia la izquierda, luego se fijan las tejas con mortero o cualquier material para fijar pisos (ArchDaily, 2006).

## 2.4 Diseño de mezclas para la fabricación de tejas de hormigón.

El hormigón es un material heterogéneo, cuyo aspecto es fluido-viscoso cuando esta recientemente preparado, siendo un material moldeable inicialmente, esto cambiará con el tiempo y bajo condiciones de temperatura y humedad convirtiéndolo en un sólido que mantiene su forma y soporta cargas, teniendo un comportamiento elasto-plástico, los mismos estarán en función de la curva de tensión-deformación para agregados, hormigón y pastas hidratadas que se muestra en la Figura 2, en ella se visualiza el comportamiento de los materiales mencionados anteriormente y de la pasta hidratada que se genera con ellos (Bolívar, 1987). Existen varios métodos para el diseño de mezclas, entre las dos categorías principales se tienen a las combinaciones granulométricas ideales entre las cuales se tienen los métodos Fuller-Thompson, Bolomey, Weymouth, Faury, entre otras, y las combinaciones derivadas de resultados empíricos como son los métodos A.C.I 211.1 Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, pesado y pesado y B.S. 88 determinado por la normativa británica (Hostalet, s.f.).

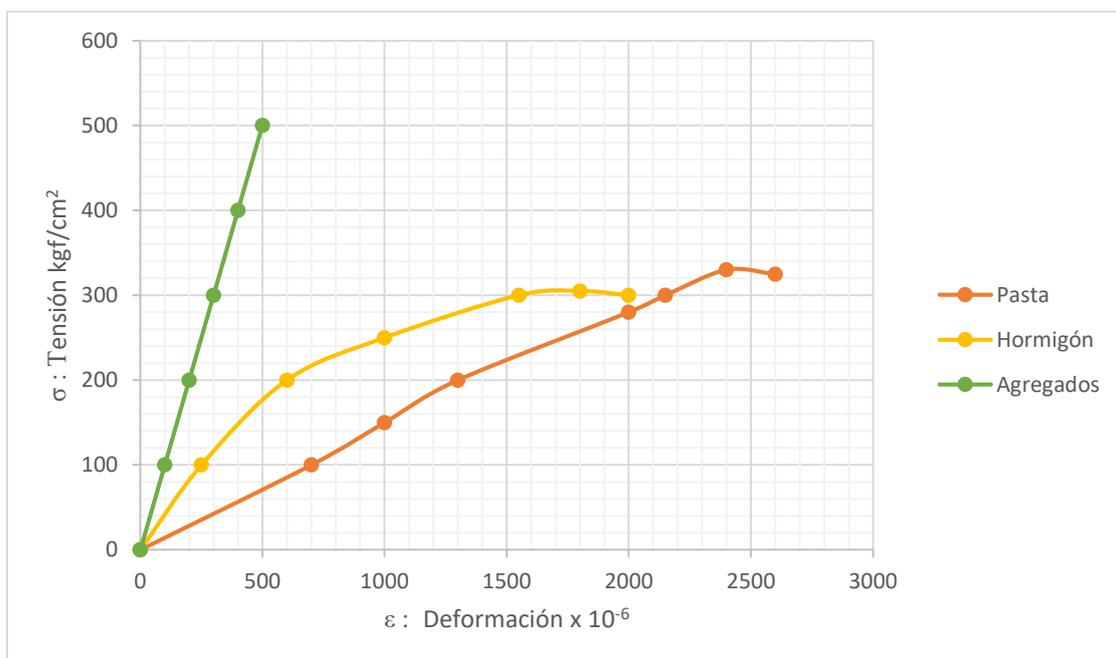


Figura 2.

Curva de tensión-deformación para agregados, hormigón y pastas hidratadas. Adaptado de: Bolívar, 1987.

## 2.5 Neumáticos fuera de uso y su composición.

Los neumáticos se encuentran compuestos internamente por caucho natural entre el 14% y el 27%, caucho sintético entre el 14% y 27%, negro de humo 28%, acero entre 14% y 15% y antioxidantes y relleno entre 16% y 17%, estos porcentajes variarán en función del uso del neumático si es para automóviles o camiones, el proceso de fabricación requiere de tecnología de punta y mano de obra especializada, entre las etapas de fabricación tenemos: formulación de los compuestos de caucho, elaboración de cinturones de textil y acero y la operación de calandrado, en la cual se forman láminas compuestas de caucho, textil-caucho y acero-caucho (Cámara de Comercio de Bogotá, 2006).

El crecimiento exponencial del parque automotor con el pasar de los años ha ido aumentando, una forma de medir este crecimiento es a través del Índice de Motorización (IDM), el cual mide el número de vehículos por cada mil habitantes, entre los valores más altos presentados por este índice en el año 2016 se encuentran Estados Unidos 55.5 (17997903 vehículos nuevos), Japón 39.3 (4970258 vehículos nuevos), Europa 34.4 (17536560 vehículos nuevos) y Corea del Sur 36.1 (1825433 vehículos nuevos), mientras que, de los países latinoamericanos se encuentra Argentina 16.1 (703776 vehículos nuevos), Chile 18.1 (327852 vehículos nuevos), Panamá 16.7 (66700 vehículos nuevos), Uruguay 13.7 (47129 vehículos nuevos) y México 12.5 (1614027 vehículos nuevos); Estados Unidos registró en el año 2016 la entrada de alrededor de 18 millones de vehículos, valor cercano al de Europa que registró el ingreso de 17,5 millones de vehículos, con la alta demanda de vehículos se tiene una alta demanda de neumáticos usados y por ende una alta generación de este residuo el cual con el pasar de los años tiene una tendencia a aumentar (Asociación Colombiana de Vehículos Automotores ANDEMOS, 2017).

Los neumáticos fuera de uso han sido considerados como residuos peligrosos por varios años, debido a su difícil reciclaje o descomposición para un posterior uso de los materiales que componen a estos neumáticos, sin embargo,

actualmente estos deberían ser considerados como fuente de materiales uno de los principales usos que se les da a estos neumáticos es el rencauchado incorporado en neumáticos nuevos, como fuente de energía a través de la incineración en hornos de cemento, plantas de papel o calderas, en cuanto a reciclaje son utilizados como un elemento para la creación de compuestos poliméricos, asfalto y concreto, la obtención del caucho proveniente de estos neumáticos es a través de propiedades mecánicas como es la trituración siendo amigables con el ambiente (Sienkiewicz, Janik, Borzedowska, & Kucinska, 2017).

Por otra parte, el reciclaje de neumáticos fuera de uso en el Ecuador se ha perfeccionado por el instructivo para la gestión integral de neumáticos usados generado por el Acuerdo Ministerial 98, en el mismo se encuentran los lineamientos para la elaboración de una Plan de Gestión Integral de los Neumáticos Usados a través del cual se busca reducir, reutilizar, reciclar o darles un valor a estos residuos para de esta forma proteger al ambiente, además dentro de la cual en la Sección V De las prohibiciones, Art. 30, literal k se especifica que los neumáticos usados no pueden ser dispuestos al igual que un desecho sólido, es decir, no pueden desecharse en rellenos sanitarios (Ministerio del Ambiente, 2015).

Los usos que se les está dando actualmente al caucho proveniente de neumáticos fuera de uso en el Ecuador es en asfalto, con él se han cubierto alrededor de 600 m. en la vía Quito-Papallacta, adicionalmente el polvo de caucho se utiliza en canchas de césped sintético reduciendo en un 20% las lesiones que se podrían ocasionar y en áreas infantiles, los usos que se le han estado dando a este residuo son limitados a pesar de la cantidad de residuos que se tienen anualmente, se estima que entre dos millones y medio de neumáticos, por lo que se les debería buscar un nuevo uso (Prado, 2015).

Uno de los nuevos usos que se le han dado al caucho de neumáticos fuera de uso es en el hormigón, este tipo de hormigón es en áreas propensas a

terremotos, zonas de dinámicas constante como en ferrocarriles y también son utilizadas para la fabricación de paneles para reducción de ruido, el rendimiento de éste se encuentra en función de los agregados de caucho proveniente de este residuo, ya sean finos o gruesos, una de las propiedades que se ven mejoradas notablemente con la adición de este caucho es la permeabilidad y absorción de agua (Sofi, 2017; Souza, y otros, 2015).

En el caso de las áreas propensas a terremotos, un estudio realizado específicamente para determinar el rendimiento sísmico de una estructura, amortiguamiento y comportamiento dinámico, al tener hormigón con caucho proveniente de neumáticos fuera de uso determinó el coeficiente de amortiguación aumentó en un 62% en comparación con el hormigón normal, teniendo de esta forma una reducción del 27% de la aceleración de la respuesta sísmica, indicando que al tener este hormigón con caucho la estructura resistirá de mejor forma a movimientos telúricos siendo útil en aquellas áreas (Xue & Shinozuka, 2013).

## **2.6 Materiales para techos en cuya composición incluyan caucho de neumáticos usados.**

Por otra parte, en el sector de la construcción el caucho reciclado de neumáticos fuera de uso puede utilizarse en techos. Sin embargo, este nuevo uso todavía se encuentra bajo investigación, en Argentina el Centro Experimental de la Vivienda Económica desarrollaron un tipo de teja compuesta en su totalidad por caucho reciclado, entre las características de estas tejas se tiene: coloración oscura, mayor flexibilidad, menor peso, mayor aislación e impermeabilización, y resistencia al granizo; el procedimiento utilizado es en base a la trituración y moldeado en una prensa (Gaggino, 2016).

Otro tipo de techos en los que se utiliza caucho reciclado es en los verdes, denominados de esta forma debido a que permiten el crecimiento de vegetación en ellos tornándose el mismo en tonalidades de verde, en este caso el caucho

reciclado equivale a un sustituto de materiales termoplásticos como: el polipropileno, ayudando a la impermeabilización en este tipo de materiales de cubierta, debido a la configuración de esta infraestructura, estructura que está compuesta por vegetación, sustrato, filtro, drenaje, barrera de raíces, protección y capa impermeable (Peláez, Velásquez, & Giraldo, 2017).

## **2.7 Normativa aplicable para tejas de hormigón.**

Las tejas de hormigón en el Ecuador son normadas a través de la norma técnica ecuatoriana INEN 2420 Tejas de Hormigón. Requisitos e Inspección, dentro de la cual se define a una teja de hormigón como un elemento conformado por un sistema de extrusión, prensado o vibrado de un mortero con granulometría adecuada y este compuesto principalmente por minerales, cemento y en ciertos casos aditivos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005). Los tipos de tejas identificados en el documento mencionado anteriormente son: normales y especiales, en el primer caso son aquellas que se usan en la superficie de la cubierta y pueden ser planas, curvas y plano-curvas, mientras que, las especiales son aquellas que se utilizan para un fin determinado y pueden ser especiales de uso puntual como tejas de ventilación y especiales de uso lineal como cumbreras (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005).

Adicionalmente, la norma técnica ecuatoriana INEN 2420 define una primera clasificación de las tejas de hormigón relacionada a la carga de rotura a flexión que debe alcanzar cada tipo, teniendo un rango de rotura a flexión para aquellas que son planas, curvas y plano-curvas, en el caso de la plana este rango se encuentra entre 100 y 120 daN, dentro de esta clasificación también se toma en cuenta los valores que deben ser alcanzados en la relación masa/espesor de cada teja (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005).

Dentro de la norma se detallan la realización de ensayos tanto de características físicas como de mecánicas, en el caso de las se tiene a la permeabilidad en donde se indica que no deben apreciarse en la parte interior de la teja gotas de

agua antes de las 24 h de iniciado el ensayo y las manchas de humedad deben afectar a menos del 20% de la superficie de la teja (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005).

Por otro lado, para las mecánicas se tiene el ensayo de resistencia a la flexión y resistencia al impacto, para el ensayo de resistencia al impacto las tejas que sean sometidas a él deben resistir el impacto de una bola de acero de 200 más menos 2 gramos de masa que cae desde una altura de 25 cm sin presentar roturas ni desconchados, las tejas previa la realización del ensayo se encontraran en el laboratorio durante 24 h (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005).

En el caso del ensayo para la determinación de la resistencia a la flexión, el procedimiento se basa en la colocación de una carga aplicada de forma vertical y constante sobre una teja horizontal que se encuentra sobre dos soportes separados, con el fin de obtener el fraccionamiento de la teja, cuya distancia entre los soportes debe ser de entre 140 mm a 280 mm (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005).

Los valores obtenidos en los ensayos anteriormente mencionados deben ser comprobados para la determinación de su cumplimiento en la misma norma técnica ecuatoriana INEN 2420 Tejas de Hormigón. Requisitos e Inspección, dentro de la cual se determinará si la teja ensayada cumple con ellos en función del tipo de teja que se tenga (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Esquema de presentación de Metodología

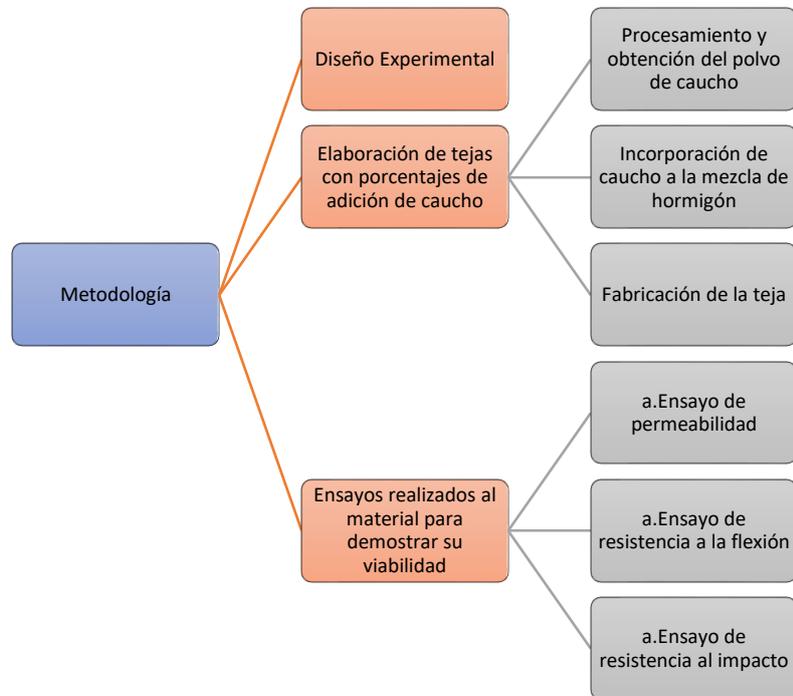


Figura 3.

Composición de la Metodología

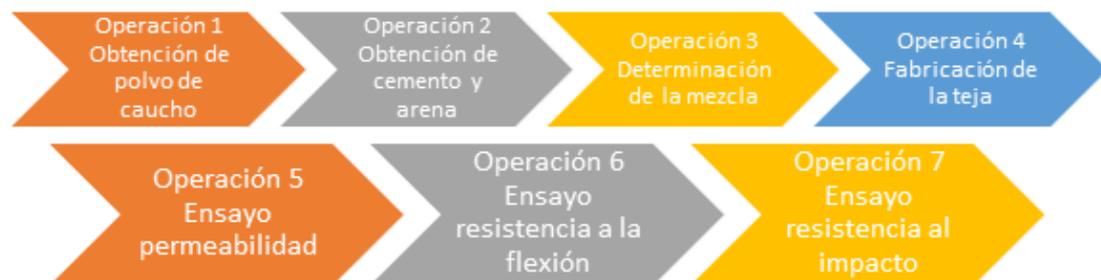


Figura 4.

Operaciones de la metodología

### 3.2 Diseño Experimental

Para el desarrollo de la metodología se utilizó el método experimental, debido a que consiste en una serie de experimentos que son parte de la interacción entre variables planteadas en función de herramientas teóricas y analíticas (Ramírez, 2014).

El análisis del proyecto se lo realizó a través de un diseño experimental de bloques al azar en el cual se evaluó la adición de caucho a la mezcla para la fabricación de tejas de hormigón. Los tipos de tejas contemplados en la Norma INEN 986 son dos, la teja curvada y la teja plana, en este caso se utilizó la teja plana debido a que facilita los posteriores ensayos al material. Las unidades experimentales estuvieron diseñadas en función de un único tratamiento, el porcentaje de caucho o variable independiente. Mientras que, los factores que se mantuvieron constantes fueron el tipo de cemento, tipo de arena, dimensiones de la teja, tiempo de fraguado, tiempo de curado. Las variables dependientes fueron la resistencia a la flexión, permeabilidad y la resistencia al impacto de las tejas estudiadas.

El material para cubiertas fue expuesto a 4 diferentes relaciones de adición de caucho, estas relaciones involucraron al cemento, arena y polvo de caucho y, fueron añadidas con un volumen conocido. La primera relación no involucró volúmenes de polvo de caucho, siendo de 1 parte de cemento y 6 partes de arena (1:6), la razón de tener 6 partes de arena es que el polvo de caucho suplanta a las cantidades de esta, es decir, al agregado fino. La segunda relación fue de 1 parte de cemento, 2 de arena y 3 de polvo de caucho (1:2:3). La tercera relación involucró a 1 parte de cemento, 2 de arena y 4 de polvo de caucho (1:2:4). La tercera y última relación que se realizó fue de 1 parte de cemento, 2 partes de arena y 5 de polvo de caucho (1:2:5). Todas las partes fueron agregadas con el uso de un volumen conocido, en este caso, un cubo de 5x5x5 cm y se determinaron las relaciones a través de ensayos a menor escala para comprobar las relaciones en las cuales el cemento y arena mantienen la

estructura al añadirse en la mezcla el polvo de caucho. La mezcla se realizó en volumen mas no en peso, esto debido a que el peso del polvo de caucho es muy ligero y no vendría a ser representativo al ser añadido en la mezcla, y por ende su cantidad de uso sería mínima.

El detalle del diseño experimental se observa en la Tabla 1 donde se muestran los diferentes tratamientos, repeticiones y total de tejas a fabricar para cada tratamiento.

Tabla 1

*Diseño experimental.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Denominación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de Repeticiones</b>	<b>Número de tejas por tratamiento</b>
Tratamiento 1	Volumen 0 o Blanco	En este tratamiento la mezcla para la elaboración del sujeto experimental tuvo un volumen de adición de caucho de 0 partes en relación con 1 parte de cemento y 6 partes de arena.	3	3

Tratamiento 2	Volumen Bajo	En este tratamiento la mezcla para la elaboración del sujeto experimental tuvo un volumen de adición de caucho de 3 partes en relación con 1 parte de cemento y 2 partes de arena.	3	3
Tratamiento 3	Volumen Medio	En este tratamiento la mezcla para la elaboración del sujeto experimental tuvo un volumen de adición de caucho de 4 partes en relación con 1 parte de cemento y 2 partes de arena.	3	3

Tratamiento 4	Volumen Alto	En este tratamiento la mezcla para la elaboración del sujeto experimental tuvo un volumen de adición de caucho de 5 partes en relación con 1 parte de cemento y 2 partes de arena.	3	3
------------------	--------------	--	---	---

Con el objetivo de evaluar a los distintos tratamientos se utilizó un análisis ANOVA por bloques completos. A continuación, se detallan a través de ecuaciones y una tabla el procedimiento para cumplir con el modelo estadístico anteriormente mencionado (Lara, Molina, Cobo, & Román, 2013; Marín, 2014 y Argüelles & Carvajal, 2013).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

Y= Variable de observación

i= Tratamiento

j= Bloque

$\mu$ = Media global

$\tau$ = Efecto causado sobre la media del tratamiento

$\beta$ = Efecto causado sobre la media del bloque

$\varepsilon$ = Error

Se asume una confiabilidad igual al 95% mostrando una significancia igual al 5%.

$$\alpha = 1 - \frac{\text{Confiabilidad}}{100} \quad (\text{Ecuación 2})$$

La Tabla ANOVA será la siguiente:

Tabla 2

*Tabla ANOVA para bloques completos.*

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>
Tratamiento	i-1	SC <sub>Trat</sub>	CM <sub>Trat</sub>	$F = \frac{CM_{Trat}}{CM_{Err}}$
Bloque	j-1	SC <sub>Bloq</sub>	CM <sub>Bloq</sub>	$F = \frac{CM_{Bloq}}{CM_{Err}}$
Error	(i-1) x (j-1)	SC <sub>Err</sub>	CM <sub>Err</sub>	
Total	(i x j) -1	SC <sub>Tot</sub>	CM <sub>Tot</sub>	

Suma de Cuadrados:

$$SC_{Trat} = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^1 Y_j^2 - \frac{Y^2}{i \times j} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$SC_{Bloq} = \frac{1}{j} \sum_{i=1}^1 Y_i^2 - \frac{Y^2}{i \times j} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$SC_{Err} = SC_{Tot} - SC_{Trat} - SC_{Bloq} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$SC_{Tot} = \sum_{j=1}^1 \sum_{i=1}^1 Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{i \times j} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Cuadrado Medio:

$$CM_{Trat} = \frac{SC_{Trat}}{i-1} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$CM_{Bloq} = \frac{SC_{Bloq}}{j-1} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$CM_{Err} = \frac{SC_{Err}}{(i-1) \times (j-1)} \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$CM_{Tot} = \frac{SC_{Tot}}{(i \times j) - 1} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Se colocaron codificaciones con el fin de evitar futuras confusiones entre los sujetos de ensayo y facilitar el análisis de resultados. Las codificaciones se las puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3

*Codificación.*

<b>Codificación bloques de tratamiento</b>		
V0R1	V0R2	V0R3
V1R1	V1R2	V1R3
V2R1	V2R2	V2R3
V3R1	V3R2	V3R3

Donde:

V0= Volumen de adición de caucho igual a 0 partes.

V1= Volumen de adición de caucho igual a 3 partes.

V2= Volumen de adición de caucho igual a 4 partes.

V3= Volumen de adición de caucho igual a 5 partes.

R1= Repetición 1

R2= Repetición 2

R3= Repetición 3

Las variables que se toman en cuenta para este proyecto están ligadas a la preparación del material y le proporcionarán las propiedades que lo caracterizan. Mediante el ANOVA se determinó que mezcla le proporciona mejores condiciones al material en función de los tratamientos aplicados.

### 3.3 Elaboración de tejas con porcentajes de adición de caucho.

#### a. Procesamiento y obtención de los neumáticos fuera de uso.

El procesamiento de los neumáticos fuera de uso es realizado por la empresa Rubberaction Cia. Ltda., la misma que trabaja de forma conjunta con Grin en la gestión y reciclaje integral de neumáticos (Grin, Gestión y Reciclaje Integral de Neumáticos, s.f.).

El procesamiento de los neumáticos fuera de uso es a través de un proceso mecánico de molienda a temperatura ambiente, donde se obtienen los siguientes productos: polvo de caucho, gránulos de caucho, metales y energía (Grin, Productos, s.f.). De los productos mencionados anteriormente se usará únicamente polvo de caucho para la fabricación de tejas, las partículas del polvo de caucho alcanzan una dimensión menor a 0,841 mm correspondiente a un tamiz de malla No. 20 y cumple con la norma NTE INEN 2680 (Grin, Polvo de caucho, s.f.), sus especificaciones técnicas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4

*Especificaciones técnicas polvo de caucho.*

<b>Estado físico</b>	Sólido
<b>Color</b>	Negro
<b>Poder calorífico</b>	8300 kcal/kg
<b>Temperatura de ignición</b>	400 °C
<b>Resistencia a la tracción</b>	0,3 PSI a 3,5 PSI
<b>Porcentaje de elongación</b>	400 % a 600 %
<b>Densidad</b>	0,54 gr/cm <sup>3</sup>

<b>Resistencia a la compresión</b>	Excelente
<b>Permeabilidad a los gases</b>	Regular

Adaptado de: Grin, Polvo de caucho, s.f.



a)

b)

*Figura 5.*

Fotografías de la maquinaria utilizada en la planta de Rubberaction para el procesamiento de los neumáticos fuera de uso.

a) Máquina para la separación de las partes de los neumáticos

b) Banda de trituración

### **b. Incorporación de caucho a la mezcla de hormigón para la fabricación de la teja.**

Se utilizó cemento tipo Portland como parte de la mezcla para la elaboración de la teja, se mezcló en seco las partículas de caucho, cemento y arena, las cantidades de arena y cemento se mantuvieron constantes a lo largo del estudio, mientras que los volúmenes fueron variando, teniendo de esta forma una adición según las relaciones de cemento de 1 parte, adición de arena de 2 partes y adiciones de caucho de 3 partes, 4 partes y 5 partes, en función de una relación de volumen que se determinó mediante ensayos a menor escala realizados previamente. A esta mezcla homogénea, se le añadió agua y se fue mezclando

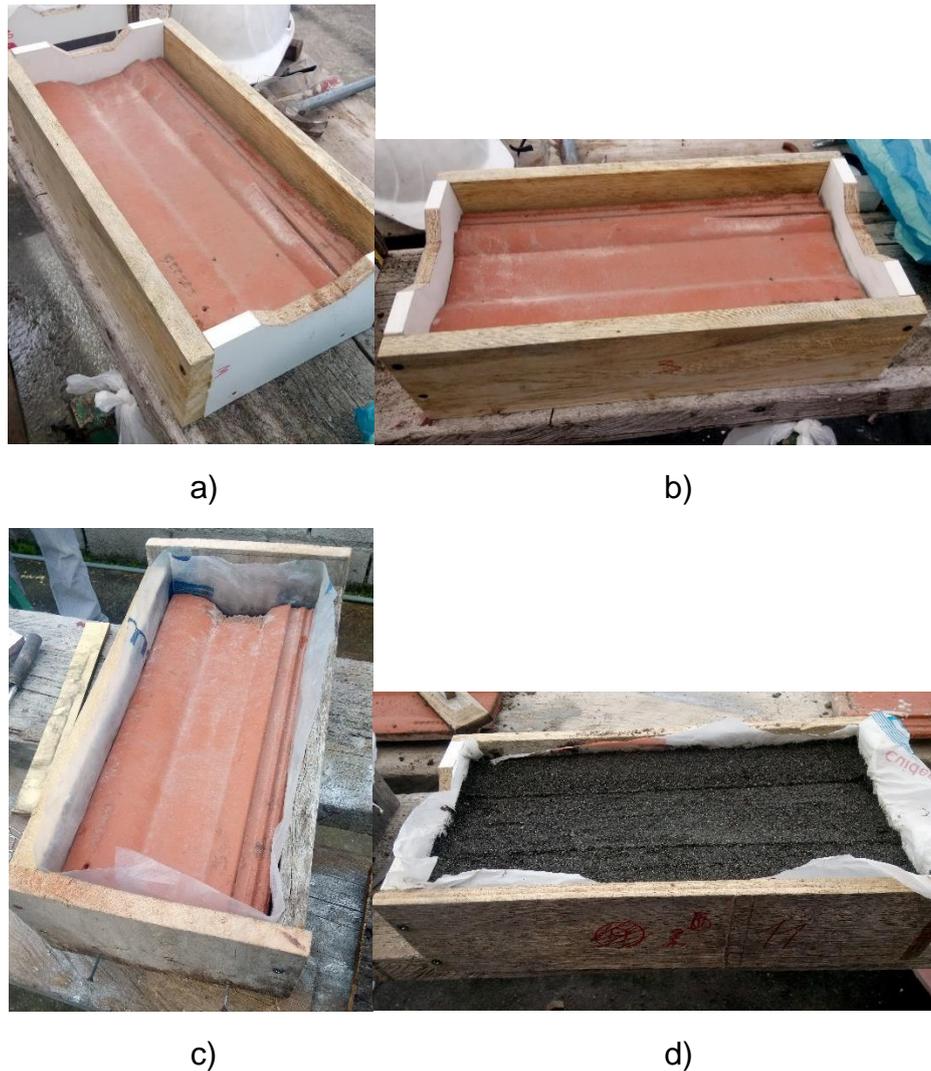
de forma manual mediante la utilización de una espátula, la cantidad de agua aumentó en función del aumento de la cantidad de polvo de caucho en la mezcla, los valores de adición de agua fueron de 250 ml (teja sin polvo de caucho), 300 ml (teja con relación 1:2:3 de polvo de caucho), 375 ml (teja con relación 1:2:4 de polvo de caucho) y 450 ml (teja con relación 1:2:5 de polvo de caucho).



*Figura 6.*

Fotografía de la mezcla de polvo de caucho, cemento y arena.

Se fue colocando la mezcla sobre el molde y se fue compactando a medida que se añadía, con el fin de obtener una buena compacidad y consistencia futura del material, mediante el uso de la espátula se colocó la mezcla evitando vacíos en las esquinas del molde (Arquitectos Sen Fronteiras Galicia, 2016). El molde tuvo las dimensiones suficientes como para permitir la formación de una teja de las siguientes dimensiones: largo 43 cm, ancho 19,5 cm y espesor 1,5 cm, dimensiones que se tomaron en función de una teja de cerámica que se expende en el comercio local, la misma que fue utilizada como base del molde para facilitar la forma de la teja en la superficie, esta teja de cerámica cumple con la norma INEN 986 para Tejas cerámicas, definiciones, clasificación y condiciones generales (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1982).



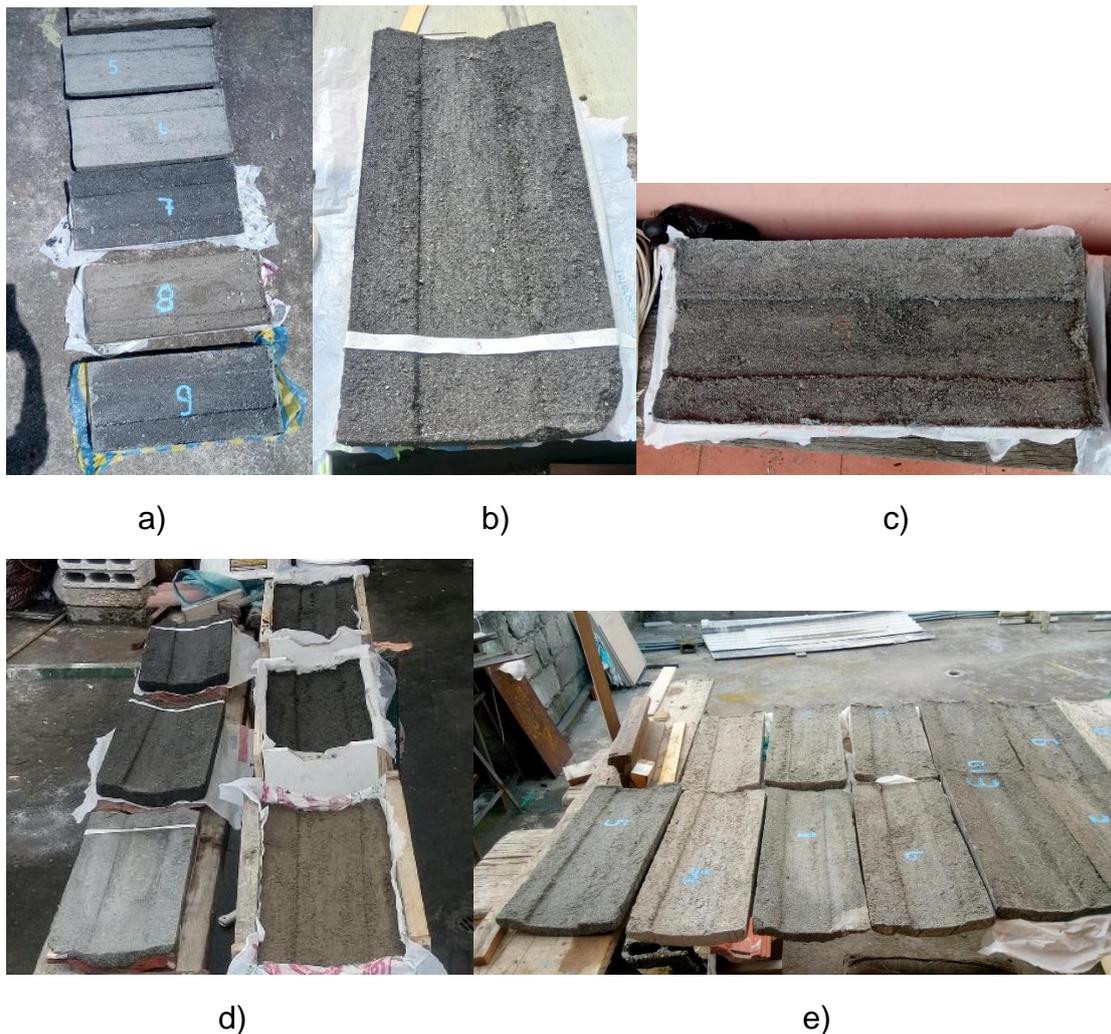
*Figura 7.*

Fotografías del molde utilizado para la fabricación de las tejas.

- a), b), c) Molde para la fabricación de las tejas, usando como base una teja de cerámica.  
 d) Molde con la mezcla de polvo de caucho, cemento, arena y agua.

Se realizó el fraguado del material, este paso permite el endurecimiento del material, este proceso consiste en dejar al material reposar durante al menos 24 horas, en este tiempo se cuidó la caída de agua sobre el material y la llegada de fuertes vientos, previa la realización del fraguado, el material no fue manipulado (Sevilla, Laloma, Marín, & Sánchez, 2014). Una vez transcurrido el tiempo de fraguado las tejas fueron extraídas de los moldes y se las dejó reposar en un proceso de curado, este procedimiento tiene como tiempo mínimo 6 días, en el

que el material adquiere sus propiedades de resistencia, las mismas que fueron evaluadas a través de ensayos posteriores (Asociación Argentina del Bloque de Hormigón, s.f.). Una vez transcurrido el tiempo de curado el material ya pudo ser manipulado y ensayado para demostrar su viabilidad. De esta forma, se obtuvieron las tejas que fueron ensayadas posteriormente para validar sus propiedades.



*Figura 8.*

Fotografías del fraguado y curado de la teja.

a), b), c), e) Tejas fuera del molde durante el proceso de fraguado y curado de las mismas.

d) Tejas en el molde, fila de la derecha, y tejas reposando en el proceso de curado, fila de la derecha.

### **3.4 Ensayos realizados al material para demostrar su viabilidad.**

Se realizaron 3 ensayos sobre los diferentes tratamientos planteados en el estudio. Estos ensayos permitieron determinar las propiedades del material y de esta forma conocer sus ventajas y desventajas en comparación con una muestra blanco o testigo. Los ensayos que se realizaron fueron: permeabilidad, resistencia a la flexión y resistencia al impacto. Los tres ensayos se encuentran detallados y fueron realizados en función de la norma técnica ecuatoriana INEN 2420 Tejas de Hormigón. Requisitos e Inspección.

#### **a. Ensayo de permeabilidad**

La duración del ensayo fue de 24 horas y se lo realizó sobre tejas enteras, se utilizó un marco de las dimensiones de la teja y sellado, sobre él se colocó la teja y se construyó un tipo de baño para la misma, siendo el fondo la superficie de la teja, el nivel mínimo de agua debe ser de 5 cm desde la parte más alta de la teja (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005). Para la realización del ensayo se colocó a la teja y al marco de forma horizontal, pudiéndose observar su cara inferior, se añadió agua al interior hasta alcanzar los 5 cm por encima de la parte más baja y 1 cm por encima de la parte más alta, se verificó que las condiciones del laboratorio no produzcan desecación sobre la parte inferior (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005). Los resultados obtenidos se encontraron en función de la observación de aparición de humedades y caída de gotas en la zona inferior de la teja, de acuerdo con la Norma, la caída de gotas no se debe producir antes de las 24 horas y las manchas de humedad no deben afectar a más del 20% de la superficie de la teja (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005).

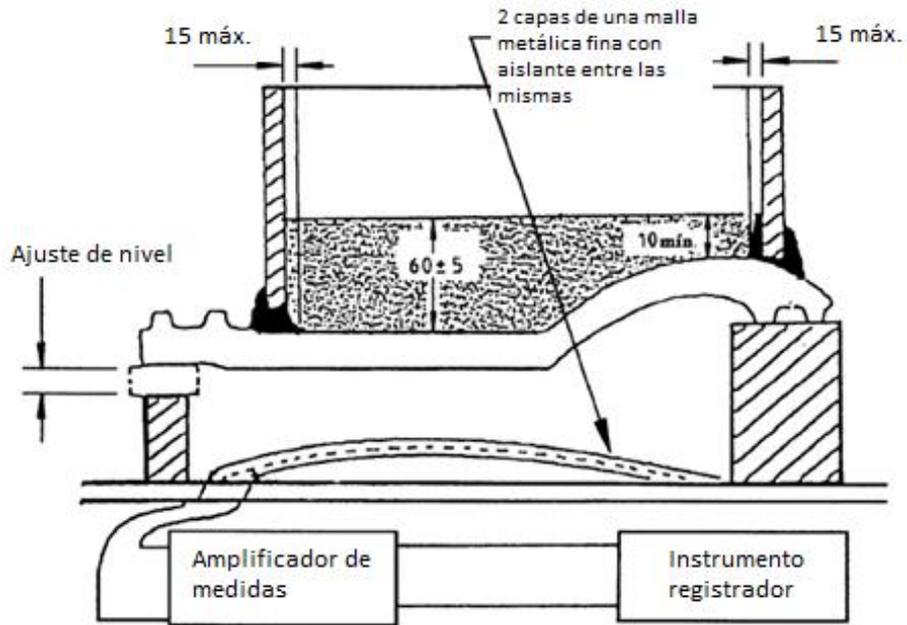


Figura 9.

Instrumento para el ensayo de permeabilidad. Tomado de: *Asociación Española de Normalización y Certificación, 1995.*



Figura 10.

Fotografía marco para ensayo de permeabilidad

## b. Ensayo de resistencia a la flexión

Este ensayo se realizó sobre las tejas enteras conservadas en el laboratorio por 24 horas, se utilizaron: un equipo de flexión compuesto por una cabeza de flexión con un solo apoyo, dos apoyos inferiores, uno fijo y otro móvil, y fracciones de rodillos de entre 20 y 40 mm que servirán como apoyo, y, la máquina de ensayo con error menor al 5%, con carga máxima de 1000 daN, y divisiones de aumento de esta carga de máximo 10 daN (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005). Se colocó a la teja sobre los apoyos inferiores, estos apoyos tienen una distancia mínima de 140 mm a 28 cm, en función del tamaño de la teja, la carga fue aplicada a velocidad uniforme pero no mayor a 11 daN/s a través de la pieza de apoyo superior, se anotaron las cargas que produjeron rotura en cada ensayo y estos valores se los comparó con los de la Tabla 5 para verificar su cumplimiento o incumplimiento de la norma (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005).

Tabla 5

*Carga de rotura a la Flexión.*

Tipo de Teja	Altura de la Onda (mm)	Relación masa/espesor		Carga de rotura a Flexión	
		Tejas de 420x330 mm g/mm	L=longitud mm A=ancho mm g/mm	Minima da N	Media da N
Plana	–	$2,60 \times 10^{-3} \times L \times A$	360	100	120
Curva	$\leq 36$	$2,24 \times 10^{-3} \times L \times A$	310	150	180
	$> 36$	$2,35 \times 10^{-3} \times L \times A$	325	220	270
Plano – Curva	$\leq 36$	$2,35 \times 10^{-3} \times L \times A$	325	165	200
	$> 36$	$2,46 \times 10^{-3} \times L \times A$	340	2440	300

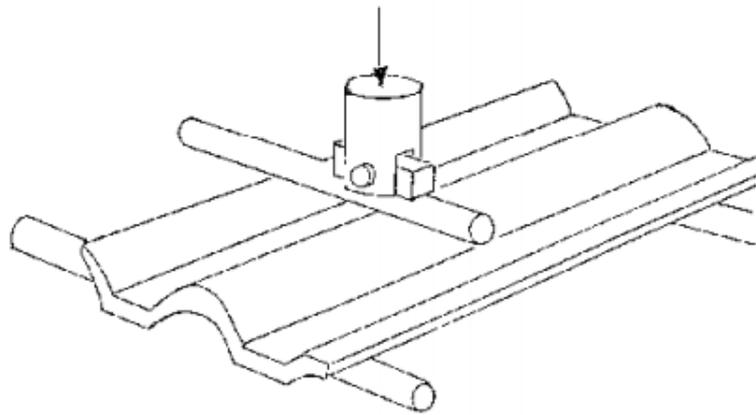
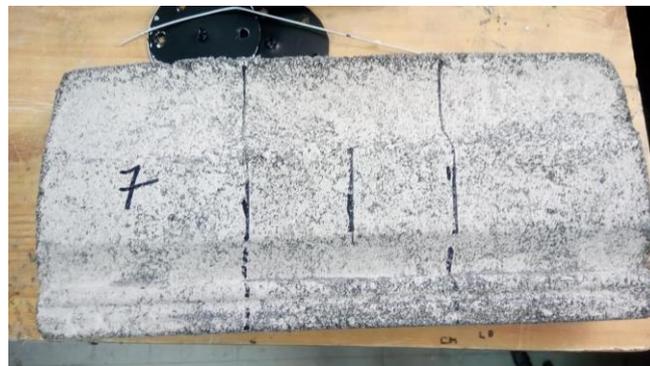


Figura 11.

Soporte para ensayo de flexión. Tomado de: *Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005.*



a)



b)

Figura 12.

Fotografía del equipo usado en ensayo de resistencia a la flexión.

a) Equipo para ensayo de resistencia a la flexión.

b) Marcas de las tejas en las cuales se colocaron los soportes de apoyo.

### c. Ensayo de resistencia al impacto

El ensayo fue realizado sobre tejas enteras conservadas en el laboratorio por un tiempo de 24 horas, en este caso las tejas fueron colocadas sobre los apoyos de la misma forma que en el ensayo de resistencia a la flexión y se dejó caer una bola de acero de un peso de 200 +/- 2 gramos, a partir de una altura de 25 cm, en caída libre sobre el centro de la teja (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2005). En este caso, se anotó si es que la teja sufrió desconchados o roturas, para el cumplimiento del ensayo las tejas deben resistir el impacto sin que se produzcan daños como roturas o desconchados.

Los resultados obtenidos en cada ensayo se compararon con la norma mencionada inicialmente con el fin de determinar si la adición de caucho al hormigón para la fabricación de tejas es viable, y se definió qué porcentaje de caucho le proporciona las condiciones ideales a la teja.



a)



b)

*Figura 13.*

Fotografía de los materiales usados para el ensayo de resistencia al impacto.

a) Teja en el soporte para ensayo de resistencia al impacto.

b) Bola de acero usada en el ensayo.

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Esquema de presentación de resultados y análisis

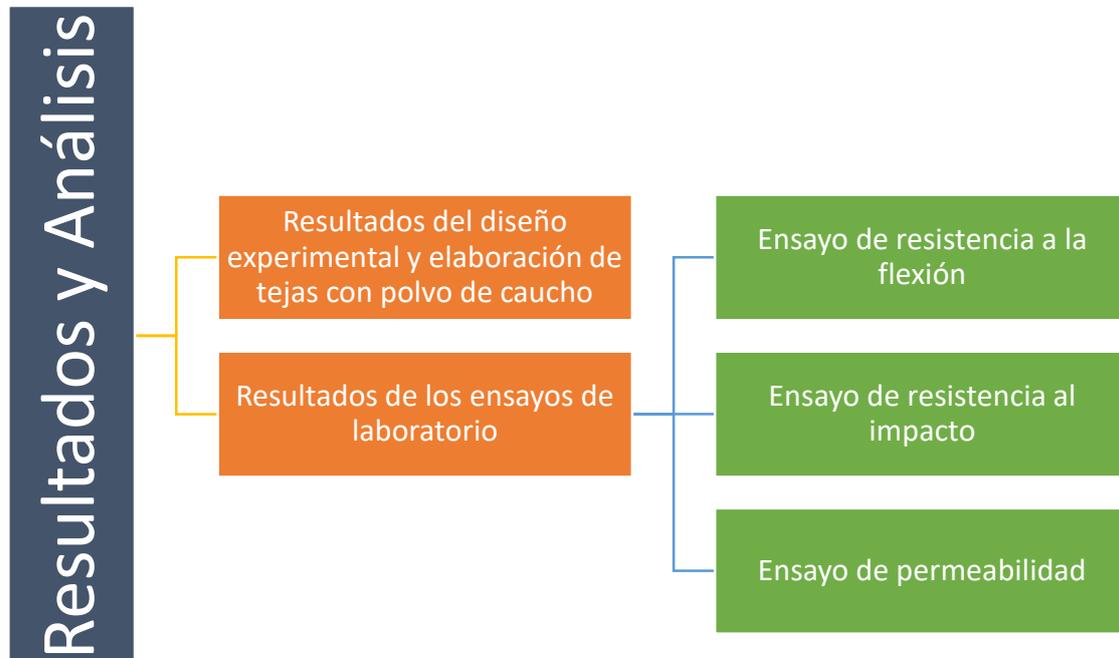


Figura 14.

Resumen de resultados y análisis

### 4.2 Resultados del diseño experimental y elaboración de tejas con polvo de caucho.

Previa la elaboración de las tejas se realizaron ensayos de prueba a menor escala para probar la adición del polvo de caucho con el hormigón, en estos ensayos se probaron diferentes volúmenes de adición para posteriormente definir los 3 con los cuales se elaborarían las tejas. Para ello, se prepararon un total de 5 cubos de madera, las dimensiones de estos fueron de 7x7x10 cm, en ellos se fue adicionando un cierto volumen de cemento, arena, polvo de caucho y agua. En el caso del cemento, arena y polvo de caucho la adición se la realizó con un cubo de volumen conocido o de medición, este tuvo las siguientes dimensiones: 5x5x5 cm, para la adición de agua a la mezcla se utilizó una

jeringuilla de 25 ml, el agua se añadió de forma paulatina hasta alcanzar la consistencia requerida de la mezcla. De esta forma, los cubos de madera realizados tuvieron las proporciones en volumen de cemento, arena, polvo de caucho y agua que se observan en la Tabla 6.

Tabla 6

*Proporciones en volumen para la mezcla de polvo de caucho y hormigón.*

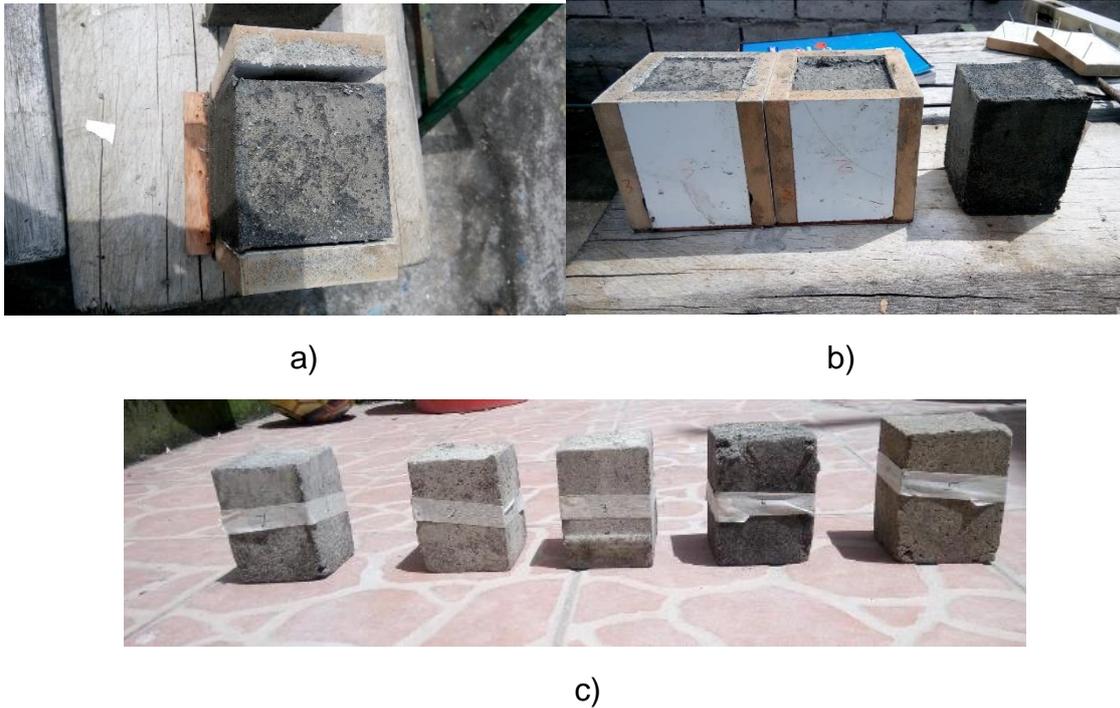
<b>No. Cubo</b>	<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Polvo de caucho</b>	<b>Agua</b>
1	1	2	3	120 ml
2	1	2	2	100 ml
3	1	2	4	150 ml
4	1	2	5	180 ml
5	1	6	0	100 ml

Una vez transcurrido el tiempo de fraguado (7 días), se observó que las muestras tenían una buena adición con el polvo de caucho, poseían buena forma, no se desarmaron y no se mostraron diferencias significativas de color. Adicionalmente, se pesó los cubos para evidenciar estas diferencias de pesos, obteniendo como resultado los pesos observados en la Tabla 7.

Tabla 7

*Pesos en gramos de los cubos con cemento, arena y polvo de caucho.*

<b>No. Cubo</b>	<b>Proporción Cemento: Arena: Caucho</b>	<b>Peso</b>
1	1:2:3	681 gr.
2	1:2:2	679 gr.
3	1:2:4	655 gr.
4	1:2:5	625 gr.
5	1:6:0	880 gr.



*Figura 15.*

Fotografías de los resultados de las pruebas a menor escala.

- a) Desmoldado de los cubos
- b) Cubos de madera con la mezcla
- c) Resultado del desmoldado de los cubos

Se observan dos resultados principales en la Tabla 6 y Tabla 7, en el caso de la Tabla 6 lo que destaca es la cantidad de agua, en el cubo que no posee volúmenes de adición de polvo de caucho la cantidad empleada es menor, mientras que, si se va aumentando la cantidad de polvo de caucho el agua lo hará de la misma forma en la mezcla, siendo de esta forma la cantidad de polvo de caucho directamente proporcional a la cantidad de agua en la mezcla. Por otro lado, en la Tabla 7 se observa una gran diferencia en cuanto a los pesos de los cubos con polvo de caucho y sin polvo de caucho, el cubo que no posee polvo de caucho alcanzó un peso de hasta 880 gr., mientras que, el cubo con mayor volumen añadido de caucho alcanzó un peso de 625 gr., teniendo una diferencia de pesos de 255 gr., que podría ser significativa para el posterior material para cubiertas al volverlo más liviano.

Con los resultados obtenidos en las pruebas a menor escala, se procedió a la elaboración de las tejas, con las proporciones de adición de polvo de caucho de 1:2:3 (cemento, arena, caucho), 1:2:4 (cemento, arena, caucho), 1:2:5 (cemento, arena, caucho) y 1:6 (cemento, arena) o blanco. Se elaboraron un total de 12 tejas, se utilizó cemento del tipo Portland y los cubos de medición de 5x5x5 cm para la preparación de las mezclas que serían colocadas en los moldes, obteniéndose de esta forma las tejas y sus respectivos pesos que se pueden visualizar en la Tabla 8.

Tabla 8

*Tejas elaboradas, codificación (V: Volumen, R: Repetición), proporción, cubos de medición añadidos a la mezcla, cantidad de agua y peso.*

No. Teja	Codificación	Proporción	Cubos de medición			Agua ml	Peso gr.
			Cemento	Arena	Caucho		
1	V2R1	1:2:4	2,5	5	10	375	1566
2	V1R1	1:2:3	2,5	5	7,5	300	2063
3	V3R1	1:2:5	2,5	5	12,5	450	1684
4	V0R1	1:6	2,5	15	0	250	2744
5	V2R2	1:2:4	2,5	5	10	375	1574
6	V1R2	1:2:3	2,5	5	7,5	300	2076
7	V3R2	1:2:5	2,5	5	12,5	450	1560
8	V0R2	1:6	2,5	15	0	250	2708
9	V2R3	1:2:4	2,5	5	10	375	1561
10	V3R3	1:2:5	2,5	5	12,5	450	1634
11	V0R3	1:6	2,5	15	0	250	2607
12	V1R3	1:2:3	2,5	5	7,5	300	2113



*Figura 16.*

Fotografía de las tejas fabricadas.

En la Tabla 8 se puede observar y ratificar que el peso del material disminuirá en función del aumento de las cantidades de polvo de caucho, en comparación con las tejas que no poseen polvo de caucho cuyo peso es bastante mayor. De igual forma, la cantidad de agua es mayor si se aumenta las proporciones de polvo de caucho, pudiendo ser significativo al momento de elaborar este material en grandes cantidades.

Se realizó un Análisis de Varianza, ANOVA, para la determinación del mejor tratamiento en función de los resultados obtenidos de la elaboración del material de cubierta. A través de él se evaluó el mejor tratamiento en función de las proporciones de adición de polvo de caucho o tratamientos y los pesos obtenidos en cada teja.

Tabla 9

*ANOVA del peso de las tejas obtenidas.*

<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Tratamiento 1	3	6252	2084	673
Tratamiento 2	3	4701	1567	43
Tratamiento 3	3	4878	1626	3892

Peso							
Repetición 1	3	5313	1771	67429			
Peso							
Repetición 2	3	5210	1736.666667	86409.3333			
Peso							
Repetición 3	3	5308	1769.333333	89912.3333			
<hr/>							
ANÁLISIS DE VARIANZA							
							<i>Valor crítico o para F</i>
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>		
Tratamientos	480534	2	240267	137.9392	0.0002043		6.944
Repeticiones	2248.6667	2	1124.3333	0.645489	0.5715422		6.944
Error	6967.3333	4	1741.8333				
Total	489750	8					

En base a los resultados obtenidos del ANOVA, se determinó que al comparar el valor F y el valor crítico para F de los tratamientos las variaciones entre los tratamientos generan un resultado estadísticamente significativo en la conformación del material de cubierta, puesto que el valor F es bastante superior al valor crítico para F, obteniendo de esta forma que las variaciones entre cada tratamiento si son significativas el momento de obtener el peso del material de cubierta, de esta forma, se realizaron análisis posteriores para determinar la significancia entre un tratamiento y otro, para ello se realizó una prueba de Duncan, cuyos resultados se pueden visualizar en la Tabla 10. Mientras que, al comparar los valores mencionados anteriormente en el caso de las repeticiones, no resultaron estadísticamente significativas para la conformación del material

de cubierta entorno al peso, debido a que el valor crítico para F resultó ser mayor que el valor F, demostrando que no existe mayor variabilidad entre los pesos de las repeticiones generadas para cada tratamiento. El nivel de significancia que se utilizó para este análisis fue de 0.05.

Tabla 10

*Test Duncan, resultado obtenido del programa Infostat.*

**Test:Duncan Alfa=0.05**

Error: 1536.0000 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	2084.00	3	22.63	A
3	1626.00	3	22.63	B
2	1567.00	3	22.63	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

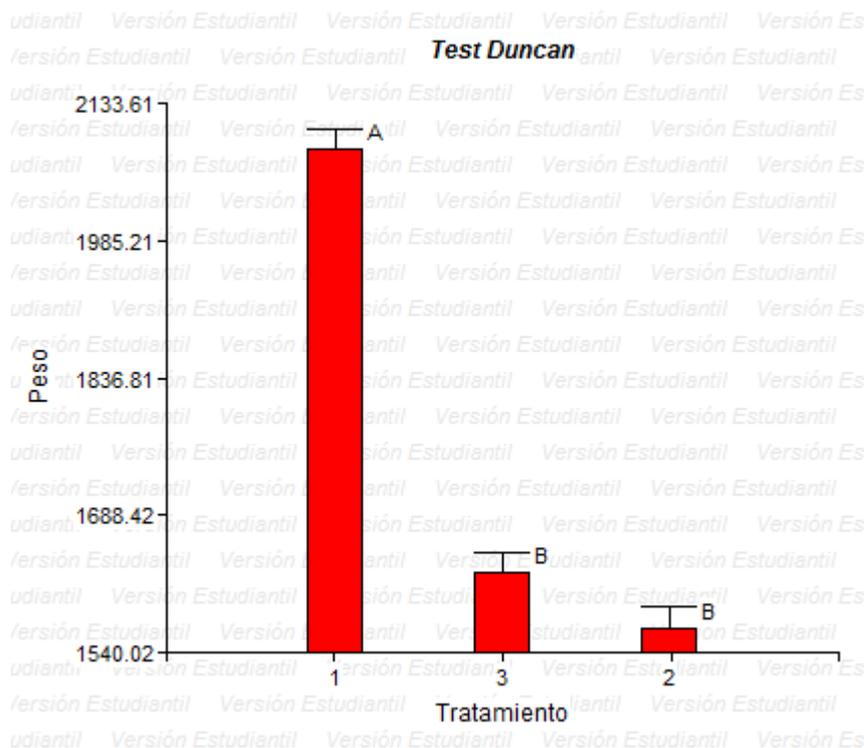


Figura 17.

Resultado de Test Duncan, obtenido del programa Infostat

La prueba de Duncan se lo empleó para determinar la significancia entre los tratamientos y el peso del material de cubierta, los resultados obtenidos

demonstraron que no hay una mayor diferencia de significancia entre los tratamientos 2 y 3, es decir, que la diferencia de pesos entre estos tratamientos no es alta. Mientras que, el tratamiento 1 demostró una diferencia en comparación con los tratamientos 2 y 3, lo que quiere decir que sus variaciones de peso son bastante altas en comparación con los otros tratamientos. El tratamiento 2 demostró tener el menor peso en cuanto al material de cubierta, siendo para este caso el mejor tratamiento, debido a que se busca que el material no sea muy pesado y que el caucho ayude a alivianar al mismo, lo que ha sido demostrado a través del tratamiento 2.

### 4.3 Resultados de los ensayos de laboratorio

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

Los resultados del presente ensayo fueron en función de lo determinado por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2420 Tejas de Hormigón, requisitos e inspección, dentro de la cual se estipula que los resultados se obtendrán al anotar la carga a la cual se produce la rotura de la teja, es decir, la carga máxima la cual soporta el material. Las longitudes de apoyo a la cual se colocaron los dos soportes sobre los que se colocó la teja fue de 140 mm para cada uno de ellos y los resultados obtenidos del ensayo en cada teja se los observa en la Tabla 11.

Tabla 11

*Resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la flexión.*

No. Teja	Longitud (mm)	Proporción	Carga de rotura a la flexión (N)
6	421	1:2:3	177,27
7	421	1:2:5	108,77
8	421	1:6	578,74

9	427	1:2:4	69,49
---	-----	-------	-------

La norma específica una ecuación para la comprobación del valor de carga de rotura de flexión en función de la longitud de la teja en unidad de milímetros, en función de esta se determinó el primer valor de referencia que deberían cumplir las tejas ensayadas en este caso. Esta se encuentra detallada en la Ecuación número 11.

$$P \geq \frac{L-140}{2,8} daN \quad (\text{Ecuación 11})$$

Para el caso de las tejas 6,7 y 8 el valor de carga de rotura a la flexión que deberá soportar en base a la ecuación mencionada anteriormente será de:

$$P \geq \frac{421 - 140}{2,8} daN$$

$$P \geq 100,4 daN$$

Mientras que, para la teja número 9 el valor de carga de rotura a la flexión según la norma será de:

$$P \geq \frac{428 - 140}{2,8} daN$$

$$P \geq 102,5 daN$$

Como segunda referencia para el valor de carga de rotura a la flexión que deberán cumplir el material de cubiertas se tiene a la Tabla 5, en esta se tiene un rango general en el cual puede estar este valor en función del tipo de teja, en cuyo caso, al ser una teja de tipo plana el valor de carga de rotura a la flexión estará entre los 100 daN y los 120 daN, si se encuentra entre este rango se considerará que la teja aprueba este ensayo.

Los resultados obtenidos y detallados en la Tabla 11 se encuentran en unidades de newtons, mientras que, los valores y rangos de cumplimiento determinados por la Norma 2420 se encuentran en unidades de decanewtons, siendo necesario transformarlos para con ello poder compararlos, los resultados de esta transformación se pueden visualizar en la Tabla 12.

Tabla 12

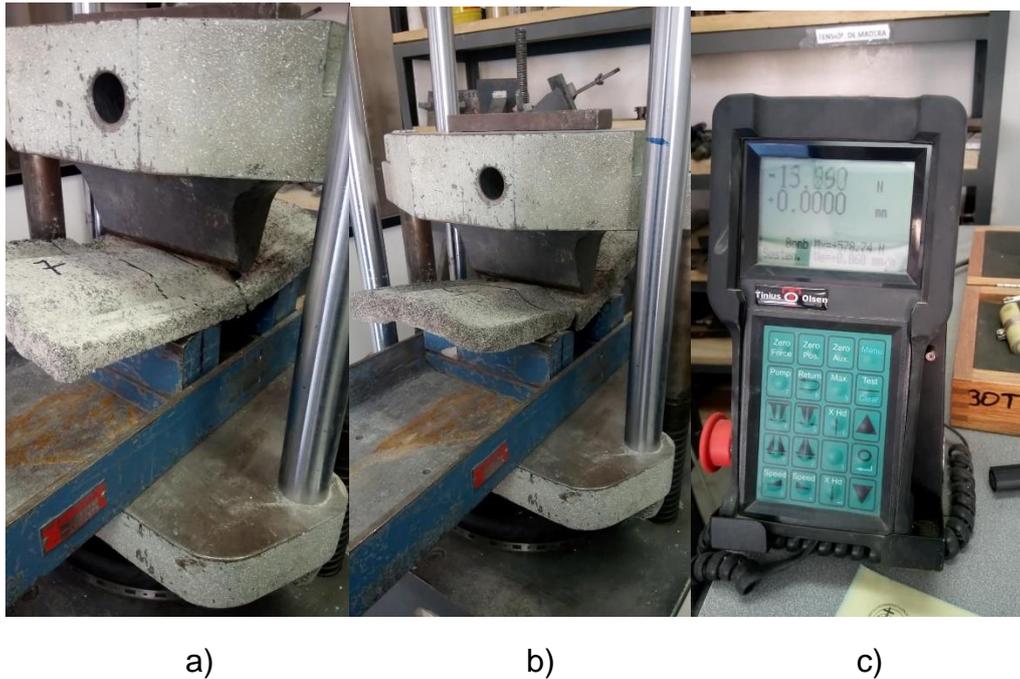
*Transformación de unidades de carga de rotura a la flexión de las tejas ensayadas.*

No. Teja	Proporción	Carga de rotura a la flexión de las tejas ensayadas	
		Unidad Newtons	Unidad Decanewtons
6	1:2:3	177,27	17,727
7	1:2:5	108,77	10,877
8	1:6	578,74	57,874
9	1:2:4	69,49	6,949

Una vez transformados estos valores ya pueden ser comparados con los valores y rangos detallados en la normativa mencionada anteriormente, se puede observar que los valores no se encuentran cercanos a cumplir con los estipulado en la norma, estos valores tienden a ser bastante bajos, mientras mayor es la cantidad de polvo de caucho en la mezcla los valores de carga de rotura a la flexión son menores, por lo que el polvo de caucho en la mezcla de tejas de hormigón es inversamente proporcional a la resistencia a la flexión del material, si el polvo de caucho se incrementa la resistencia a la flexión disminuirá, siendo necesario el aumento de algún tipo de material extra en la mezcla para que esta propiedad no se vea alterada, no disminuya de forma significativa o a su vez le permita mejorar las características relacionadas con esta propiedad.

Por otro lado, al comparar los valores de carga de rotura a la flexión obtenidos entre las tejas ensayadas se obtuvo que la teja blanco o sin polvo de caucho

reporto el mayor valor de carga, 578,74 N, el segundo valor más alto fue el de la teja con una proporción de 1:2:3, siendo el valor de carga igual a 177,27 N, teniendo los menores valores de carga las tejas con proporciones mayores de polvo de caucho, 1:2:4 y 1:2:5, la diferencia entre los dos valores más altos obtenidos es bastante significativa.



*Figura 18.*

Fotografías de los resultados del ensayo de resistencia a la flexión.

- a), b) Rotura de la teja por la realización del ensayo
- c) Valor de carga máxima arrojado por el equipo de medición

De esta forma, se demostró que el polvo de caucho si afecta directamente sobre esta propiedad del material, además esto se pudo ver comprobado en un estudio publicado por la editorial Springer elaborado por Bharathi & Natarajan en el año 2014, en el cual se valoraron las propiedades del hormigón con adiciones de caucho reciclado, en el caso de este estudio, los volúmenes utilizados fueron bajos y de igual forma suplantaron a la arena como agregado fino. Los resultados obtenidos arrojaron que en el caso de la resistencia a la flexión, esta aumentó al reemplazar arena por caucho reciclado, sin embargo, esto se obtuvo únicamente

en volúmenes de adición bajos, correspondientes al 5%, 10% y 15% de volumen de caucho en relación con el volumen de arena total, los volúmenes mencionados anteriormente son bastante bajos en comparación con los utilizados en este caso de estudio para la fabricación de un material de cubierta, en donde las proporciones de polvo de caucho, 1:2:3, 1:2:4 y 1:2:5, en relación de porcentaje de volumen de polvo de caucho y arena, son mayores al 60%, teniendo un porcentaje bastante alto y que afecta en gran medida a esta propiedad del material (Bharathi & Natarajan, 2014), por lo que, esta propiedad no se verá afectada o incluso mejorará en el material si es que se tiene porcentajes bajos de adición de polvo de caucho, mientras que, si las cantidades son bastante altas la resistencia a la flexión del material será bastante baja.

Resultados similares fueron obtenidos en otro estudio publicado en la revista *Recycled Aggregate in Concrete* elaborado por Brito y Saikia en el año 2012, en el cual se probaron varios residuos como sustitutos del agregado fino, arena, dentro de la mezcla de hormigón, en este caso, el uso de caucho reciclado influyó sobre la resistencia a la flexión del hormigón, de la misma forma, se tuvieron mejoras en esta propiedad con porcentajes de adición de caucho de hasta el 20% en relación con el total de arena (Brito & Saikia, 2012). A pesar de esto, cuando se tuvo una sustitución del 35% de caucho en función de la arena, la resistencia a la flexión del material disminuyó, puesto que la relación caucho-cemento se rompe y por ende afecta a las características que brinda el cemento a la mezcla (Brito & Saikia, 2012). Con esto se podría decir que el límite de adición de polvo de caucho en cuanto al volumen total de arena no deberá sobrepasar el 35% para así lograr el cumplimiento o incluso mejora en esta propiedad, sin embargo, la resistencia a la flexión de un material se la puede tener mediante la incorporación de un aditivo en la mezcla, siendo importante considerar este factor para una posible mejora del material.

#### **b. Ensayo resistencia al impacto**

Este ensayo se lo realizó siguiendo los procedimientos estipulados por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2420 Tejas de Hormigón, requisitos e inspección. Los resultados de este ensayo estarán en función de la producción de roturas o desconchados del material tras la caída libre de la bola de acero desde una altura de 25 cm, si no se produce ninguna de las anteriores la teja aprobará este tipo de ensayo. Para la realización del mismo, las tejas fueron colocadas en un soporte similar al utilizado para el ensayo de resistencia a la flexión, las distancias de las longitudes para los dos apoyos fueron de 140 mm, esta se mantuvo para todas las tejas, la longitud de las muestras sometidas a este fue de 420 mm. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 13.

Tabla 13

*Resultados ensayo de resistencia al impacto.*

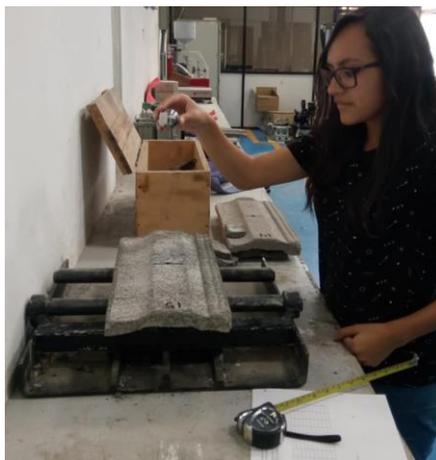
<b>No. Teja</b>	<b>Proporción</b>	<b>Resultado del ensayo</b>
1	1:2:4	La teja no reportó fisuras, roturas o desconchados, se tiene la presencia de una huella de la bola de acero.
10	1:2:5	La teja no reportó fisuras, roturas o desconchados, se obtuvo una huella leve de la bola de acero, al igual de un pequeño rebote.
11	1:6	La teja se desconchó un poco, se hundió la superficie de la teja en la zona de caída, de igual forma se observó una mancha blanca en la misma.
12	1:2:3	La teja se hundió y se desconchó levemente en la zona de caída, se tiene la presencia de una huella perteneciente a la caída de la bola de acero.



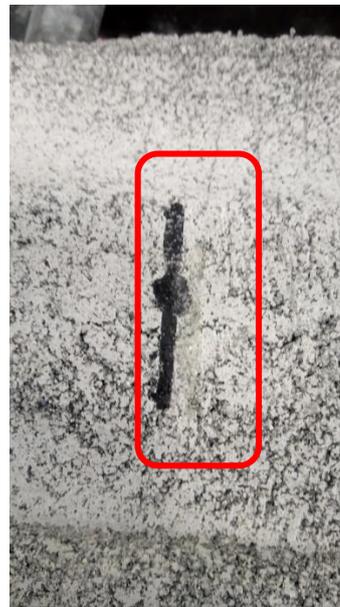
a)



b)



c)



d)

*Figura 19.*

Fotografías de los resultados del ensayo de resistencia al impacto.

a) Hendidura leve de la teja

b), c) Altura de lanzamiento de la bola de acero

d) Desconchado leve de la teja

En base a los resultados obtenidos, las tejas con mayores proporciones de polvo de caucho presentaron una mejor resistencia al impacto, mientras que, la teja sin

polvo de caucho o blanco no logró pasar el ensayo determinándose de esta forma que el material para cubiertas resistirá de mejor forma el impacto de la caída de un agente externo si tiene polvo de caucho en la composición de su mezcla, debido a que el polvo de caucho en este caso le brindó mayor resistencia a la deformación, proporcionándole mayor amortiguamiento en torno a la resistencia al impacto del material de cubierta.

Por otro lado, como experiencia no oficial y solo para la comprobación de la altura, detallada en la norma, la cual determina que se debe dejar caer la bola de acero de 200 gr., desde 25 cm., se ensayó dejando caer la bola de acero en caída libre desde una altura de 50 cm., obteniéndose la rotura inmediata del material ensayado, verificando que altura a la cual se experimentó fue excesiva y no se logró el objetivo del ensayo, el cual es la producción de roturas o desconchados en la superficie de la teja para de esta forma evaluar la calidad de la mezcla que se usó, o mejor dicho, su proceso de producción, la altura máxima de caída libre que ha sido determinada dentro de una normativa es de 40 cm., un ejemplo del uso de esta altura está establecido en el Manual de Control de Calidad de Tejas de Microconcreto elaborado por el Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical, en el cual utilizan como altura mínima 30 cm. (Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical, 2002), ambas alturas siendo mayores a la altura determinada por la Norma Técnica Ecuatoriana, pero a su vez siendo menores a la altura de experimentación que se aplicó durante el ensayo, obteniéndose de esta forma que el rango aceptable correspondiente a la altura para la caída libre de la bola de acero del ensayo debe estar entre 20 y 40 cm., si este es mayor se alterarán los resultados del ensayo y por ende estos no serán confiables.

### **c. Ensayo de permeabilidad**

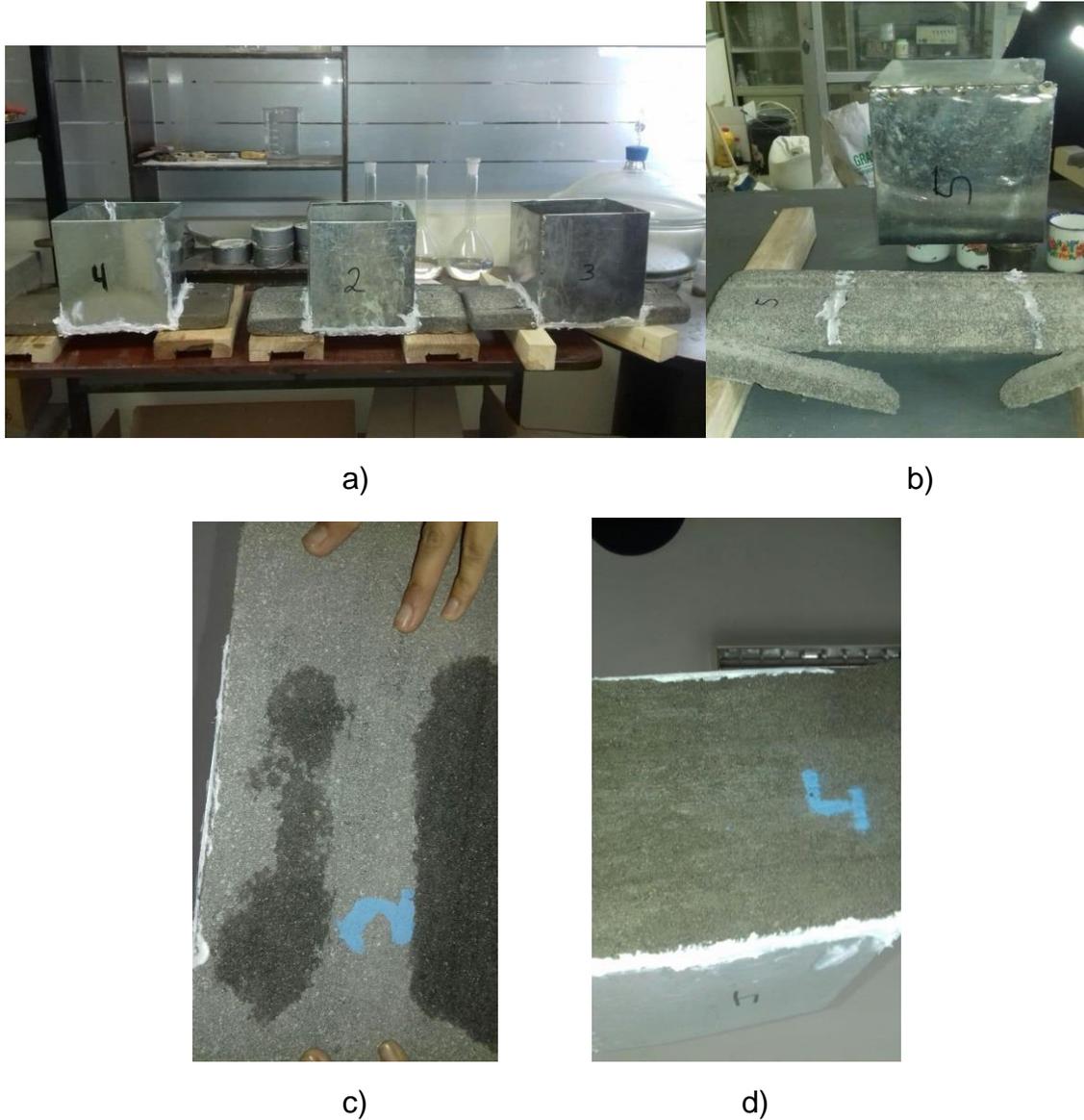
De la misma forma, este ensayo se lo realizó en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2420 Tejas de Hormigón, requisitos e inspección. En la misma se detalla que la duración de este ensayo será de 24 horas, obteniendo

resultados una vez finalizado el mismo, los resultados estarán principalmente en función de la caída de gotas antes de acabado el tiempo mencionado anteriormente y de las manchas de humedad, las mismas que no deben superar el 20% de la superficie de la teja, estos resultados serán observados en la cara inferior del material. Los resultados obtenidos en las tejas ensayadas se pueden observar en la Tabla 14.

Tabla 14

*Resultados del ensayo de permeabilidad.*

<b>No. Teja</b>	<b>Proporción</b>	<b>Resultado del ensayo</b>
2	1:2:3	No se observó la caída de gotas durante las 24 horas del ensayo. Una vez finalizado el ensayo se obtuvo más del 20% de la superficie de la teja con manchas de humedad.
3	1:2:5	No se observó la caída de gotas durante las 24 horas del ensayo. Transcurridas las 24 horas del ensayo se obtuvo un porcentaje menor al 20% de manchas de humedad en la superficie de la teja.
4	1:6	Se observó la caída de gotas durante los primeros 15 minutos del ensayo, además, se humedeció completamente una vez transcurridas las 24 horas del ensayo.
5	1:2:4	La teja no pudo ser ensayada debido a que no soportó la colocación de la misma dentro del marco específico para el ensayo, esta se rompió una vez que fue colocada dentro del marco, de esta forma, no se obtuvo resultados en este caso.



*Figura 20.*

Fotografías de los resultados del ensayo de permeabilidad.

- a) Tejas en los marcos correspondientes al ensayo de permeabilidad
- b) Teja que no soportó el ensayo, se rompió previo el inicio del ensayo
- c) Manchas de humedad
- d) Teja completamente húmeda

En función de los resultados obtenidos en el ensayo, se determinó que la teja con el menor rendimiento fue la teja sin ninguna cantidad de polvo de caucho añadido, incluso se observó la caída de gotas de agua una vez iniciado el ensayo, además se humedeció en un 100% la superficie de la teja. La teja de la

que se obtuvo mejores resultados en este ensayo fue la teja con adición de polvo de caucho igual a 1:2:5, es decir, la que tiene mayor cantidad de adición del agregado fino sujeto a ensayo, en este caso, cumplió lo establecido por la norma en un 100%, puesto que, no se tuvo la caída de gotas durante las 24 horas de duración del ensayo y no se tuvo un porcentaje mayor al 20% de manchas de humedad en la superficie de la teja, demostrando de esta manera que el polvo de caucho mejora la propiedad específica de permeabilidad del material y para el material de cubierta lo ayuda a cumplir con la normativa del mismo.

Sin embargo, se debe tener en cuenta la fragilidad del material a ensayar para que de esta forma pueda ser sometido al ensayo y no sufra daños previa su realización, puesto que, la teja con proporción de polvo de caucho correspondiente a 1:2:4, se rompió una vez que fue colocada dentro del marco para el ensayo, mostrando que la resistencia del material no es la idónea y que para transportarlo se debe tener cuidado, esto afectando directamente a los resultados generales del ensayo, debido a que, esta teja poseía el volumen de adición de polvo de caucho intermedio y hubiera ayudado a validar o invalidar los resultados generales correspondientes al ensayo de permeabilidad de todas las tejas elaboradas.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

La incorporación de polvo de caucho en la mezcla para la fabricación de tejas mostró influir sobre el producto terminado, el material adicionado demostró un buen comportamiento de adherencia con el cemento, arena y agua. El uso de este material redujo el peso del producto terminado, siendo esto positivo para el material de cubierta puesto que al ser un material que será colocado en techos no debe tener un gran peso, el hecho de que el peso de la teja con polvo de caucho sea menor a la teja sin este, genera como ventajas el transporte del material, facilidad de colocación y facilidad de carga del material.

El volumen de adición de polvo de caucho que reportó mejores resultados en comparación con el volumen blanco o testigo fue aquel con proporción 1:2:4, la cantidad de polvo de caucho empleado es el segundo volumen más alto, en este se pudo obtener los mejores resultados en cuanto al peso del material, la diferencia de pesos entre esta teja con polvo de caucho y la muestra blanco o testigo se encuentra entre los 1046 y los 1170 gr., siendo una diferencia significativa y un punto a favor del uso de polvo de caucho en este tipo de material.

La incorporación de polvo de caucho en la mezcla suplantó parte de la cantidad de arena usada en la mezcla, sin embargo, la cantidad de agua que se empleó vino a ser mayor en función de la cantidad de polvo de caucho utilizado, parámetro que debe ser considerado el momento de fabricar este material a gran escala, las cantidades de agua empleadas en la teja blanco y la teja con mayor volumen de polvo de caucho fueron 250 ml. y 450 ml., respectivamente, obteniendo una diferencia de 200 ml. que se vuelve representativa si es que se tiene un aumento en la cantidad de tejas fabricadas.

El material fabricado no tuvo un cumplimiento del 100% de los ensayos, es decir, de los tres ensayos de laboratorio, resistencia a la flexión, resistencia al impacto y permeabilidad, no se tuvo el cumplimiento en mayor cantidad en el caso de la resistencia a la flexión, de esta forma, se tiene que la teja con polvo de caucho necesita de algún tipo de material extra dentro de la mezcla para que de esta forma cumpla con lo establecido por la norma en este tipo de ensayo.

El adicionar polvo de caucho a la mezcla de hormigón ayuda a que el material, en este caso, la teja cumpla con los requisitos para el ensayo de resistencia al impacto, puesto que le da al material un mayor soporte el momento de la caída libre de la bola de acero, haciendo de esta forma que el material de cubierta tenga un mayor amortiguamiento ante la caída de objetos sobre el mismo.

En cuanto al ensayo de permeabilidad se puede decir de igual forma, que el polvo de caucho mejora esta propiedad del material para cubiertas, si se compara con lo estipulado en la norma se puede decir que una de las concentraciones con polvo de caucho aprueba completamente este tipo de ensayo, de la misma manera, si es que se compara los resultados obtenidos entre la teja con polvo de caucho y aquella sin este, se puede decir que se tiene una mejora y una diferencia notable entre ambas, permitiendo visualizar fácilmente que aquel en cuya mezcla posee polvo de caucho, es mejor para este ensayo en específico.

Finalmente, se puede decir que en cuanto a la fabricación del material para cubiertas y los pesos obtenidos una vez obtenido el producto final el mejor tratamiento es aquel que posee una proporción igual a 1:2:4. Mientras que, si se tiene en cuenta a los ensayos de laboratorio realizados sobre este material se obtuvo que la proporción que arrojó mejores resultados fue, en el caso de la resistencia a la flexión, aquella que no tenía polvo de caucho, mientras que para la resistencia al impacto, se tuvo a las tejas con proporciones iguales a 1:2:4 y 1:2:5, y por último en el caso de la permeabilidad, los mejores resultados se los obtuvo en el material con proporciones igual a 1:2:5, pudiendo decirse que el

material de tejas con cantidades de polvo de caucho dentro de sus mezclas, cumplió con dos de los tres ensayos realizados y, para obtener el cumplimiento de aquel que se reprobó, se debería buscar una alternativa dentro de la mezcla para la fabricación del material, para de esta forma volver a la teja con polvo de caucho 100% viable.

Se estableció la posibilidad de una nueva aplicación para el polvo de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso, residuo que se tiene en gran cantidad actualmente y cuyos usos han sido limitados por el momento.

## **5.2 Recomendaciones**

En estudios que se vayan a realizar en un futuro se deberá tener en cuenta los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la flexión, buscando mejorarlos para que logren el cumplimiento con la normativa mediante el uso de grandes volúmenes de polvo de caucho, para ello se podría considerar el uso de algún aditivo dentro de la mezcla que ayude a mejorar la resistencia del material.

Para próximos estudios se podrían realizar distintos ensayos a los presentados en este, para con ello observar de mejor forma el comportamiento del polvo de caucho en el material y ayudar a una mejor validación de la viabilidad del mismo, estos estudios podrían ser realizados en función de la Norma Técnica Ecuatoriana usada en el presente caso.

Adicionalmente, en próximos estudios se deberá tener especial cuidado el momento de transportar las tejas a ensayar o durante el momento de los ensayos, puesto que, si se rompen afectarán en los resultados posteriores, debiendo tener un especial cuidado cuando se movilizan las muestras.

Se recomienda el realizar más investigaciones en las que se involucren distintos volúmenes de polvo de caucho, y a su vez, se realicen otro tipo de materiales,

puesto que se ha comprobado que la incorporación de polvo de caucho dentro de las mezclas para construcción tiende a tener buenos resultados, abriéndose de esta forma un nuevo campo de aplicación para este producto que proviene de un residuo.

## REFERENCIAS

- Aguado, L. (2010). RECICLADO DE NEUMÁTICOS PARA LA FABRICACIÓN DE LÁMINAS. Recuperado el 15 de marzo de 2018 de: [http://oa.upm.es/5497/2/TESIS\\_MASTER\\_LUIS\\_AGUADO\\_ALONSO.pdf](http://oa.upm.es/5497/2/TESIS_MASTER_LUIS_AGUADO_ALONSO.pdf)
- Albano, C., Camacho, N., Hernández, M., Bravo, A., & Guevara, H. (2008). ESTUDIO DE CONCRETO ELABORADO CON CAUCHO DE RECICLADO DE DIFERENTES TAMAÑOS DE PARTÍCULAS. Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V., 67-75.
- ArchDaily. (2006). Tejas de Barro Extruído Tipo Cubierta. Recuperado el 23 de marzo de 2018 de: [https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product\\_file/file/5852/Manual\\_de\\_Instalacion\\_de\\_Teja.pdf](https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/5852/Manual_de_Instalacion_de_Teja.pdf)
- Argüelles, J. H., & Carvajal, G. H. (2013). 4.4. DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA. En ESTADÍSTICA Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS (págs. 64-69). Bogotá: Corpoica. Recuperado el 25 de marzo del 2018 de: [http://digitool.gsl.com.mx:1801/webclient/StreamGate?folder\\_id=0&dvs=1521778012968~588](http://digitool.gsl.com.mx:1801/webclient/StreamGate?folder_id=0&dvs=1521778012968~588)
- Arquitectos Sen Fronteiras Galicia. (2016). FICHA TÉCNICA: SISTEMA CONSTRUCTIVO DE TEJAS DE MICRO-CONCRETO (TMC). Recuperado el 3 de mayo del 2018 de: <http://www.galicia.asfes.org/wp-content/uploads/2016/09/01-Ficha-Tecnica-Tejas-Microconcreto.pdf>
- Asociación Argentina del Bloque de Hormigón. (s.f.). Las Tejas de Hormigón. Recuperado el 8 de abril del 2018 de: <http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Tejas/LAS%20TEJAS%20DE%20HORMIGON.pdf>

- Asociación Colombiana de Vehículos Automotores. (2017). Índice de Motorización. Recuperado el 25 de abril del 2018 de: <http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2017/02/Comunicado-Indice-de-Motorizacion-2016.pdf>
- Bharathi, R., & Natarajan, C. (2014). Investigation of the Behaviour of Concrete Containing Waste Tire Crumb Rubber. *Advances in Structural Engineering*, 1795-1802.
- Bolívar, O. G. (1987). 1.3 Introducción. En *Guía Práctica para el Diseño de Mezclas de Hormigón* (págs. 4-7). Medellín: UNAL.
- Boral Roofing. (2013). Concrete Roof Tiles. Recuperado el 18 de mayo del 2018 de: <http://outsideelegance.com/wp-content/uploads/2013/05/boral-concrete-brochure.pdf>
- Bottarelli, M., Bortoloni, M., Zannoni, G., Allen, R., & Cherry, N. (2017). CFD analysis of roof tile coverings. *Energy*, 137, 391-398.
- Brito, J., & Saikia, N. (2012). Use of Industrial Waste as Aggregate: Properties of Concrete. *Recycled Agreggate in Concrete*, 115-228.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2006). *Guía para el manejo de llantas usadas*. Primera edición. Bogotá: Kimpres Ltda.
- Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical. (2002). *Manual de Control de Calidad de Tejas de Microconcreto*. Cuba: SKAT, ILO y grupo sofonías, CECAT.
- Corrales, P. (2010). Introducción. En *La Tejera: Hombre, Barro y Fuego* (pág. 10). ELVillafranca de los Caballeros.
- Flores, N., Flores, D., & Hernández-Olivares, F. (2016). Influence of fibers partially coated with rubber from tire recycling as aggregate on the acoustical properties of rubberized concrete. *129, 25. Construction and Building Materials*, 129, 25-36.
- Gaggino, R. (2016). *DEL NEUMÁTICO AL TECHO*.

- Grin. (s.f.). Gestión y Reciclaje Integral de Neumáticos. Recuperado el 28 de febrero del 2018 de: <https://www.grin.com.ec/inicio>
- Grin. (s.f.). Polvo de caucho. Recuperado el 28 de febrero del 2018 de: <https://www.grin.com.ec/polvo-de-caucho>
- Grin. (s.f.). Productos. Recuperado el 28 de febrero del 2018 de: <https://www.grin.com.ec/productos>
- Hostalet, F. (s.f.). Técnicas de prueba no destructivas del concreto. Rrecuperado el 25 de mayo del 2018 de: <http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Pruebas%20de%20Laboratorio%20de%20Cemento/Revista/4%20Tecnicas%20de%20pruebas%20no%20destructivas%20del%20concreto.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1982). NTE INEN 986. Tejas cerámicas. Definiciones. Clasificación y Condiciones generales. Recuperado el 8 de abril del 2018 de: [http://apps.normalizacion.gob.ec/fileserver/2018/nte\\_inen\\_986.pdf](http://apps.normalizacion.gob.ec/fileserver/2018/nte_inen_986.pdf)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2005). NTE INEN 2420 Tejas de Hormigón. Requisitos e Inspección. Recuperado el 8 de abril del 2018 de: <http://181.112.149.203/buzon/normas/2420.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). Base de Datos Censo de Población y Vivienda 2010. Recuperado el 8 de abril del 2018 de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2010/>
- Kardos, A., & Durham, S. (2015). Strength, durability, and environmental properties of concrete utilizing recycled tire particles for pavement applications. *Construction and Building Materials*, 98, 832-845. Recuperado el 15 de abril del 2018 de: [https://ac-els-cdn-com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/S0950061815302658/1-s2.0-S0950061815302658-main.pdf?\\_tid=09d84ca6-f8da-11e7-8dba-00000aab0f27&acdnat=1515900289\\_a4875fcf12c6b96b709d24a07c4ae360](https://ac-els-cdn-com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/S0950061815302658/1-s2.0-S0950061815302658-main.pdf?_tid=09d84ca6-f8da-11e7-8dba-00000aab0f27&acdnat=1515900289_a4875fcf12c6b96b709d24a07c4ae360)

- La Hora. (2010). Llantas usadas, un problema en Ecuador. . Recuperado el 22 de marzo del 2018 de: <https://lahora.com.ec/noticia/987713/llantas-usadas-un-problema-en-ecuador>
- Lara, A., Molina, D., Cobo, B., & Román, Y. (2013). Capítulo 5. Diseños en bloques aleatorizados. Recuperado el 18 de mayo del 2018 de: <http://wpd.ugr.es/~bioestad/wp-content/uploads/BloquesCompletos.pdf>
- Lefevre, R. (2016). Estructuración de Cubiertas de Madera y accesorios. Recuperado el 14 de marzo del 2018 de: <http://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/5932/20501-16%20CONSTRUCCIONES%20DE%20MADERA%20Y%20DE%20HIERRO%20Estructuraci%C3%B3n%20de%20Cubiertas%20de%20Madera%20y%20accesorios.pdf?sequence=2>
- Marín, J. M. (2014). Diseño por bloques aleatorizados completos. Recuperado el 20 de abril del 2018 de: <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Disenno/tema4DE.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). ACUERDO MINISTERIAL 98. INSTRUCTIVO PARA LA GESTION INTEGRAL DE NEUMATICOS USADOS. Recuperado el 8 de abril del 2018 de: [http://www.silec.com.ec/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/WebTools/LexisFinder/DocumentVisualizer/FullDocumentVisualizerPDF.aspx?id=AMBIENTE - INSTRUCTIVO\\_PARA\\_LA\\_GESTION\\_INTEGRAL\\_DE\\_NEUMATICOS\\_USADOS](http://www.silec.com.ec/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/WebTools/LexisFinder/DocumentVisualizer/FullDocumentVisualizerPDF.aspx?id=AMBIENTE - INSTRUCTIVO_PARA_LA_GESTION_INTEGRAL_DE_NEUMATICOS_USADOS)
- Ministerio del Ambiente. (s.f.). La Gestión Integral de Neumáticos Usados optimiza recursos para el manejo seguro de desechos. . Recuperado el 17 de abril del 2018 de: <http://www.ambiente.gob.ec/la-gestion-integral-de-neumaticos-usados-optimiza-recursos-para-el-manejo-seguro-de-desechos/>

- Peláez, G. J., Velásquez, S. M., & Giraldo, D. H. (2017). Applications of recycled rubber: a literature review. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 27, 27-50.
- Prado, F. (2015). Ecuador explora las posibilidades industriales del caucho reciclado de neumáticos.
- Ramírez, E. (2014). EL MÉTODO EXPERIMENTAL. Recuperado el 2 de mayo del 2018 de: <http://www4.ujaen.es/~eramirez/Descargas/tema6>
- Revista Ambientalex. (2016). LA ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN EL CONCRETO. Recuperado el 17 de mayo del 2018 de: <http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/Adiparneurecconeu.pdf>
- Roof Eco Smart System. (2013). Tejas. Recuperado el 18 de marzo del 2018 de: <http://roofecosystem.com/breve-historia-de-las-tejas/>
- Setareh, M., & Darvas, R. (2017). 1.3 Concrete Ingredients. En *Concrete Structures* (págs. 3-4). Suiza: Springer.
- Sevilla, J., Laloma, L., Marín, F., & Sánchez, M. I. (2014). DESARROLLO DE NUEVOS MODELOS DE TEJAS HORMIGÓN Y DE SUS ACABADOS SUPERFICIALES. *Jornadas de Investigación en Construcción*, 757-775.
- Sienkiewicz, M., Janik, H., Borzedowska, K., & Kucinska, J. (2017). Environmentally friendly polymer-rubber composites obtained from waste tyres: A review. *Journal of Cleaner Production*, 147, 560-571.
- Sofi, A. (2017). Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete – A review. *Ain Shams Engineering Journal*.
- Souza, D., Lafontaine, M., Charron, F., Bengoa, X., Chappert, B., Duarte, F., & Lima, L. (2015). Comparative Life Cycle Assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the Brazilian context. *Journal of Cleaner Production*, 89, 165-173. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.029>
- Tratamiento de Neumáticos Usados TNU. (2017). TEJADOS PARA VIVIENDAS FABRICADOS A PARTIR DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO.

Recuperado el 12 de marzo del 2018 de: <http://www.tnu.es/n/206/tejadospa-viviendas-fabricados-a-partir-de-neumaticos-fuera-de-uso>

Witoszek, B., Hernández, F., Alonso, M. A., Bollati, M., Parga, B., Barluenga, G., & Benito, C. (2004). Hormigón con fibras de caucho de recuperación de neumáticos usados y de polipropileno diseño del firme de hormigón de caucho. Recuperado el 17 de mayo del 2018 de: <http://www.aecarretera.com/congresos/CL26.pdf>

Xue, J., & Shinozuka, M. (2013). Rubberized concrete: A green structural material with enhanced energy-dissipation capability. *Construction and Building Materials*, 42, 196-204.

Yang, W. (2015). Chapter 1 Sole of Concrete-Mix Proportion. En *The Issues and Discussion of Modern Concrete Science* (págs. 1-2). Beijing: Springer.

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Informe del resultado correspondiente al ensayo de resistencia a la flexión.



**PROYECTO:** Tesis - UDLA  
**LOCALIZACION:** Quito  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA DE ENSAYO:** NTE INEN 2420:2005

**SOLICITA:** Pamela Hidalgo  
**CONTRATISTA:** .....  
**FISCALIZACIÓN:** .....  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 2018/05/22  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018/06/06  
**ORDEN DE TRABAJO:** 31824  
**HOJA:** 1 de 3

Muestra N°	1	2	3	4
Descripción	6	7	8	9
Fecha de Fabricación	11/05/2018	11/05/2018	11/05/2018	11/05/2018
Fecha de Ensayo	01/06/2018	01/06/2018	01/06/2018	01/06/2018
Longitud (mm)	421,00	421,00	421,00	427,00
Ancho (mm)	190,20	190,00	190,00	190,00
Espesor (mm)	27,80	24,30	30,30	17,40
Longitud de apoyo (mm)	140,0	140,0	140,0	140,0
Masa (gr)	2068,95	1560,55	2710,98	1547,84
Carga de Rotura (N)	<b>177,27</b>	<b>106,77</b>	<b>578,74</b>	<b>69,48</b>

  
 Ing. Paulina López  
 Responsable de Área.

  
 Ing. Jorge Burbelli  
 Director L.M.C.



**Anexo 2.** Informe del resultado correspondiente al ensayo de resistencia al impacto.

**PUCE**  
 Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES,  
 MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA

**ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**RESISTENCIA AL IMPACTO**

**PROYECTO:** Tesis - UDLA  
**LOCALIZACIÓN:** Quito  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA DE ENSAYO:** NTE INEN 2420:2005

**SOLICITA:** Pamela Hidalgo  
**CONTRATISTA:** .....  
**FISCALIZACIÓN:** .....  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 2018/05/22  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018/06/06  
**ORDEN DE TRABAJO:** 31824  
**HOJA:** 2 de 3

Muestra N°	5	6	7	8
Descripción	11	13	14	15
Fecha de Fabricación	11/05/2018	11/05/2018	11/05/2018	11/05/2018
Fecha de Ensayo	04/06/2018	04/06/2018	04/06/2018	04/06/2018
Altura de caída	25 cm			
Longitud (mm)	420,00	420,00	420,00	420,00
Ancho (mm)	196,00	196,00	189,00	194,00
Espesor (mm)	28,00	20,00	30,00	25,00
Longitud de apoyo (mm)	140,0	140,0	140,0	140,0
Masa (gr)	2050,23	1489,85	2615,33	2109,40
Falla	Rebote Huella lebe	Huella	Falla	Huella

Ing. Paulina López  
 Responsable de Área.

Ing. Jorge Bucheli  
 Director LMC.

Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 LABORATORIO DE RESISTENCIA DE  
 MATERIALES, MECÁNICA DE  
 PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA  
 QUITO

**Anexo 3.** Informe de los resultados correspondiente al ensayo de permeabilidad.



**PUCE**  
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES,  
MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

**ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**PERMEABILIDAD**

**PROYECTO:** Tesis - UDLA  
**LOCALIZACIÓN:** Quito  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA DE ENSAYO:** NTE INEN 2420:2005

**SOLICITA:** Pamela Hidalgo  
**CONTRATISTA:** .....  
**FISCALIZACIÓN:** .....  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 2018/05/22  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2018/06/15  
**ORDEN DE TRABAJO:** 31824  
**HOJA:** 3 de 3

Muestra-Nº	9	10	11	12
Descripción	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	11/05/2018	11/05/2018	11/05/2018	11/05/2018
Fecha de Ensayo	05/06/2018	05/06/2018	05/06/2018	05/06/2018
Tiempo de Ensayo	24 horas			
Longitud (mm)	420,00	420,00	420,00	420,00
Ancho (mm)	196,00	196,00	189,00	194,00
Espesor (mm)	28,00	20,00	30,00	25,00



**Anexo1.** Humedad en la Teja 2  
Húmeda



**Anexo2.** Humedad en la Teja 3  
Parcialmente Húmeda

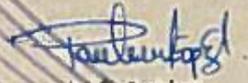


**Anexo3.** Humedad en la Teja 4  
Completamente Húmeda

**OBSERVACIONES:**

En la Norma NEN 2420:2005 numeral: 7.5.3.4 Resultados. Durante el ensayo se observará la aparición de humedades, caída de gotas, etc., por la parte interior de la teja.

La teja con identificación N° 5, no pudo ser ensayada ya que falló antes de ser ensayada.

  
Johanna López  
Responsable de Área.



