



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i2.2707>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

*Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones*

*Comparative analysis between traditional concrete and concrete with steel fiber and recycled rubber under different dosages*

*Análise comparativa entre concreto tradicional e concreto com fibra de aço e borracha reciclada sob diferentes dosagens*

Mary Carmen Robayo-Sarmiento <sup>1</sup>  
[mrobayos@ulvr.edu.ec](mailto:mrobayos@ulvr.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-7755-9481>

**Correspondencia:** [mrobayos@ulvr.edu.ec](mailto:mrobayos@ulvr.edu.ec)

\***Recibido:** 10 de febrero del 2022 \***Aceptado:** 05 de marzo de 2022 \* **Publicado:** 02 de abril de 2022

- I. Magister en Pedagogía Mención en Educación Técnica y Tecnológica, Ingeniera Química, Docente Investigadora de la Unidad Educativa Juan Carlos Matheus Pozo Quinindé, Esmeraldas, Ecuador.

Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

## Resumen

En Ecuador los residuos de caucho y acero constituyen un impacto ambiental a gran escala, sin embargo, lo que en el presente estudio se propone resulta analizar de una forma comparativa el hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones, para ello se declara que esta investigación es de carácter cuantitativa, ya que el enfoque que se estima es el experimental, es decir, se utilizó el método inductivo, el deductivo y el estadístico. Para llegar a los resultados, se analizaron los experimentos a razón de las técnicas de ensayos de laboratorios y pruebas experimentales. Los resultados obtenidos se midieron sobre la base de las contrastaciones de la compresión y la dosificación de los cilindros de hormigones. Llegando a la conclusión que al analizar la fibra de acero y caucho reciclado presenta propiedades similares al hormigón tradicional, el rango de incorporación de estos materiales oscila de 5 a 10%, la comparación de materiales demuestra que la resistencia iguala al diseño solo en un 3% se aligera con respecto al diseño de la mezcla. Por lo tanto, se recomienda utilizar este tipo de materiales en la fabricación del hormigón.

**Palabras Clave:** Impacto ambiental; prueba experimental de laboratorio; dosificación de hormigón con fibra de acero y caucho.

## Abstract

In Ecuador, rubber and steel waste constitute a large-scale environmental impact, however, what is proposed in this study results in a comparative analysis of traditional concrete and concrete with steel fiber and recycled rubber under different dosages, to This declares that this research is of a quantitative nature, since the approach that is estimated is the experimental one, that is, the inductive, deductive and statistical methods were used. To arrive at the results, the experiments were analyzed at the rate of laboratory test techniques and experimental tests. The results obtained were measured on the basis of the contrasts of the compression and the dosage of the concrete cylinders. Reaching the conclusion that when analyzing the steel fiber and recycled rubber it presents properties similar to traditional concrete, the range of incorporation of these materials oscillates from 5 to 10%, the comparison of materials shows that the resistance equals the design only in 3 % is lightened relative to the mix design. Therefore, it is recommended to use this type of material in the manufacture of concrete.

**Keywords:** Environmental impact; experimental laboratory test; dosage of concrete with steel fiber and rubber.

Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

## Resumo

No Ecuador, os resíduos de borracha e aço constituem um impacto ambiental em grande escala, no entanto, o que se propõe neste estudo resulta em uma análise comparativa de concreto tradicional e concreto com fibra de aço e borracha reciclada em diferentes dosagens, para Este declara que esta pesquisa é de natureza quantitativa, pois a abordagem que se estima é a experimental, ou seja, foram utilizados os métodos indutivo, dedutivo e estatístico. Para chegar aos resultados, os experimentos foram analisados à taxa de técnicas de teste de laboratório e testes experimentais. Os resultados obtidos foram medidos com base nos contrastes da compressão e da dosagem dos cilindros de concreto. Chegando a conclusão que ao analisar a fibra de aço e a borracha reciclada ela apresenta propriedades semelhantes ao concreto tradicional, a faixa de incorporação desses materiais oscila de 5 a 10%, a comparação dos materiais mostra que a resistência iguala o projeto apenas em 3% é aligeirado em relação ao desenho da mistura. Portanto, recomenda-se a utilização deste tipo de material na fabricação do concreto.

**Palavras-chave:** Impacto ambiental; ensaio experimental em laboratório; dosagem de concreto com fibra de aço e borracha.

## Introducción

El alto índice de contaminación ambiental es una de las problemáticas a nivel mundial, donde residuos como la fibra de acero y el caucho se acumulan, afectando el equilibrio ecológico al ser productos no degradables.

Por otro lado, el hormigón es un material de alta dureza y perdurable en el tiempo, aunque tiene el problema de que es quebradizo, por lo que tiende a romperse o agrietarse y por tanto requiere de refuerzos. Para ello, se han estado utilizando desde la antigüedad, las fibras en el concreto como material complementario y una de las que ha tenido mayor impulso en los últimos años, es la fibra de acero, la cual se recicla de la industria metal mecánica, donde se generan residuos con formas laminares de aceros de alta resistencia y de otros usos industriales, donde una de las fuentes principales es la fibra de acero de los neumáticos que ya no se utilizan.

Al respecto, Peláez y otros (2016), mencionan que la producción de residuos de caucho ha sido una preocupación que atañe a todos en el mundo precisamente por las consecuencias negativas al ambiente y a la salud de los seres humanos. Por lo que, la contaminación surge cuando se produce un desequilibrio, provocando efectos adversos que afectan al medio ambiente y daños severos a la salud.

## Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

El creciente uso cotidiano de medios de transporte a nivel global, demanda de diversas autopartes y repuestos, los que al fin de su ciclo de vida son desechados (Nazer y otros, 2017). Lo que incrementa considerablemente en el país y más específicamente en Guayaquil, con la gran cantidad de cauchos y sus fibras de acero fuera de uso, ocasionando una problemática de acumulación que coloca en riesgo la conservación ambiental del entorno de la ciudad y sus habitantes.

En este sentido, en Guayaquil, se ha visto en la necesidad de optar por el reciclado de neumáticos teniendo en cuenta que solo se aprovecha un porcentaje de éstos; en específico, para ser reutilizados en el sector de la construcción o en proyectos medioambientales, mitigando así el impacto ambiental, creando nuevas fuentes de empleo y reforzando la economía desde la localidad.

Ahora bien, dentro del sector de la construcción se utilizan varios tipos de hormigones, dependiendo de los requerimientos de usos constructivos y necesarios al momento de hormigonar. Entre los diferentes hormigones, se tiene el hormigón simple, el cual está compuesto por cemento portland, agregado fino, agregado grueso y agua, el cual es utilizado sobre el suelo o soportados por otros elementos estructurales capaces de proveer un apoyo vertical continuo.

Así, el comportamiento del hormigón simple, se encuentra entre las soluciones que se maneja con la incorporación del reciclaje de las fibras de acero y el caucho, diseñando un hormigón que satisfagan las características que se requieren para elaborar un hormigón de alta resistencia, que cumpla con las normativas para ser usado en: contrapiso, aceras y pisos industriales, el cual será sometido a ensayos de compresión y flexión.

### **Materiales y métodos**

El hormigón en la actualidad, es uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial. Es una agrupación entre varios materiales, como lo son el cemento, agua, piedra y arena, constituyéndolo como un elemento de alta resistencia a la compresión.

Uno de los principales componentes de la mezcla de hormigón es el cemento. Se puede utilizar cualquier tipo de cemento que cumpla los requisitos establecidos para una mezcla de hormigón tradicional, siempre que sea capaz de proporcionar al hormigón las características del diseño. En nuestro país la norma que rige los cementos hidráulicos es la Norma Técnica Ecuatoriana, las mismas que hacen énfasis al cemento portland en las Norma INEN 152.

El agua es otro componente fundamental de la mezcla, el cual debe cumplir con requisitos mínimos para la elaboración de hormigones tradicionales, poniéndole énfasis a cualquier agente que pudiera

## Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

afectar la mezcla. Cabe mencionar que, la relación de agua/cemento tiene incidencia directa con la resistencia a la compresión del hormigón.

Los áridos para la mezcla de hormigón deben cumplir los requerimientos de composición, resistencia, durabilidad y que estén libre de sustancias perjudiciales, además deben tener unos tamaños y formas adecuadas para poder ser empleados en la mezcla de hormigón.

Una de las características mecánicas principales que posee el hormigón es la resistencia a la compresión. La que se determina como la capacidad de resistir una carga por unidad de área, expuesta sobre la base de esfuerzos. En nuestro país se utiliza la Norma INEN 1 573 para la determinación de la resistencia a la compresión, mediante ensayos de rotura a especímenes cilíndricos, que son muestras tomadas de las mezclas de hormigón.

Por otro lado, se tienen elementos que sirven de refuerzo para mejorar ciertas características de las mezclas de hormigón. Un ejemplo de esto son las fibras de acero, que son elementos que se adicionan a la mezcla con el fin de ayudarles a disminuir las fisuras, incrementar su durabilidad o ganar resistencia a la tracción, entre otros.

### **Propiedades del hormigón**

Existe una multiplicidad de elementos que considerar en la elaboración del concreto u hormigón que logre alcanzar los estándares de calidad para que sea calificado en algún proyecto que implique estructura con hormigón armado. Todos estos criterios de calificación se deben tanto a aspectos relacionados con la resistencia y la rigidez, así como durabilidad, en tanto en cuanto las condiciones físicas y químicas también afectarán los niveles de durabilidad en las diferentes etapas en la formación del material hasta llegar a su nivel más alto que requieren los materiales destinados para la construcción (Troyano, 2019).

Hay muy poca información relacionada con la extensa variabilidad que se ha generado a partir del hormigón, los cuales han sido elaborados para atender las insuficiencias que se han presentado en el sector construcción, por sus propiedades además de su ligereza, puede resistir y ser usado para muchos fines y puede durar más ya que se le es agregado fibras o pigmentos que le añaden esa característica (Empresa Pavimentos de Hormigón PaviConj, 2021) resaltando algunos de ellos:

- Hormigón anti-bacterias
- Hormigón drenante
- Hormigón autocompactante
- Hormigón proyectado reforzado con fibras

## Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

- Hormigón de alta resistencia
- Hormigón traslúcido
- hormigón excavable
- Hormigón pretensado
- Hormigón postensado
- Hormigón ciclópeo

### **Durabilidad**

Esta es una propiedad sobre todo en el denominada hormigón armado, y no es más que una aleación, es decir, una composición mixta de hormigón y acero, además presenta características propias como la resistencia, es económico y el esfuerzo de compresión no es de gran escala, asimismo, es un protector de las armaduras de acero.

El aspecto que no es tan beneficioso en la elaboración del hormigón corresponde a un fenómeno que tiene estrecha relación con degradación que es producido por la corrosión que se produce en las armaduras por ausencia o poca calidad en el recubrimiento debido a las condiciones ambientales a los que se ha expuesto el material estructural. (Troyano, 2019).

### **Hormigón reforzado con fibra de acero (SFRC)**

Para Bustamante (2021), en los estudios que realizó acerca del reforzamiento de los hormigones con fibras de acero, que son añadidas a su composición en pequeñas proporciones de fibra que son distribuidas de manera aleatoria en su masa. La concepción en que se basa el hormigón reforzado con fibras (SFRC) es similar a la del hormigón armado tradicional, “cosiendo” las fisuras que pueden presentarse y que dejarían a la estructura fuera de servicio.

Es importante mencionar que las divergencias radican en que el diámetro de la barra es relativamente grande y está direccionada hacia una ala determinada, asimismo en el SFRC se encuentra que el refuerzo se constituye por un sin número de fibras de diámetro diminuto y orientadas de forma aleatoria, además son transferidos los esfuerzos siempre y cuando la estructura empiece a presentar fisuras. Hay un aspecto que debe considerarse de manera particular y es que la trabajabilidad perdida durante la adición de fibras produce que el hormigón condicione en el proceso de la dosificación el contenido tope de fibras que generalmente son para las fibras de acero.

Por otro lado, suele emplearse un límite mínimo al contenido de fibras, pues las dosificaciones con bajos contenidos de fibras han dejado experiencias negativas en la construcción.

Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

### Características del hormigón con fibra de acero

Este tipo de hormigón está compuesto por los mismos componentes del hormigón tradicional al cual se le adiciona fibras de acero. La incorporación de las mismas, alteran el comportamiento del hormigón, por lo tanto, varios de los componentes serán necesario que tenga condiciones que en los hormigones tradicionales no son necesarias.

Al anexar al hormigón la cantidad de fibra determinada, esta añade más efectivamente a la capacidad de flexibilidad, de impacto y de corte a los elementos, así como optimizar la revisión permanente de las fisuras por retracción y la cantidad de tiempo de duración del hormigón. Admite la utilización de alambres, barras y torones que estén a la altura de las exigencias señaladas en las normas ASTM A 421 M, A 416 M ó A 722 M, asimismo también debe demostrar qué características se eleven a las descritas en las normas presentadas anteriormente.

Componentes de la mezcla	Tamaño Máximo de árido (mm)		
	10	20	30
Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	350 – 600	300 - 530	280 – 415
Agua/Cemento	0,35 - 0,45	0,35 - 0,50	0,35 - 0,55
% árido fino – grueso	45 – 60	45 - 55	40 -50
% de aire ocluido	4 – 8	4 - 6	6 – 5

Figura 1. Cuadro de recomendaciones de proporciones para dosificaciones de SFRC. Fuente: Chávez y otros (2017).

### Dosificación

Este resulta del proceso en el que se acreditan las cantidades de cemento, agua y áridos requeridos para la elaboración del hormigón, a esto se le denomina Dosificación. Para que este proceso suceda hay que considerar tres elementos vitales como lo son:

- La resistencia del hormigón.
- La Consistencia y el tamaño óptimo del agregado grueso.
- El impacto ambiental en el tiempo de la elaboración.

## Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

### **El caucho**

Actualmente se fabrican miles de artículos de caucho para usos muy diferentes. El caucho es ampliamente utilizado en la fabricación de neumáticos, llantas, artículos impermeables y aislantes, por sus excelentes propiedades de elasticidad y resistencia ante los ácidos y las sustancias alcalinas. Es repelente al agua, aislante de la temperatura y de la electricidad. Se disuelve con facilidad ante petrolatos, bencenos y algunos hidrocarburos.

Los avances desarrollados por Goodyear en relación al vulcanizado del caucho y luego su evolución en llanta, ha sido un evento que modificó y alteró nuestra vida desde hace ya aproximadamente 150 años. Es por tanto este descubrimiento una parte sumamente fundamental en la vida contemporánea, sin embargo, no todos los países pueden producir cuchos (Plaza, 2015).

Según datos aportados por la página web Elastómeros y plásticos (Elaplas, 2021), el neumático está considerado como el polímero cuyas unidades está encadenadas a un hidrocarburo con características de elasticidad. En este sentido, el isopreno que se produce por una emulsión como leche conocida comúnmente como látex, que surge de la savia de algunas plantas. El caucho es caracterizado por ser elástico, repele el agua, y además tiene una resistencia particular a la electricidad.

Asimismo, otra industria fabricante de neumático es el árbol del Hule (castilla elástica), de origen mexicana la cual es muy empleada desde la época prehispánica para la elaboración de pelotas, que se usaban en juegos deportivos, religiosos y simbólicos que practicaban los antiguos Indios Mayas.

### **Características y tipos de caucho**

De acuerdo con Fernández (2014), las características del caucho son: excelentes propiedades mecánicas, flexión, tracción y compresión; buena resistencia a los ácidos diluidos; buena adhesión a los tejidos y metales; y, buena deformación por compresión.

Por otro lado, en la industria del caucho se utilizan dos tipos, el 60% del caucho sintético y el 75% del caucho natural que son destinados a la fabricación de neumáticos y productos afines, brindando oportunidades de empleo a casi medio millón de trabajadores en todo el mundo (Méndez, 2019).

### **Reciclaje de cauchos en Ecuador y en Guayaquil**

Méndez (2019), refiere que muebles, pisos, repuestos de auto, canchas sintéticas, asfalto modificado para carreteras, o rompe velocidades son algunos de los productos nuevos que se obtienen del caucho reciclado en Ecuador. En tal sentido, muchas empresas que trabajan en el reciclaje de llantas y que se denominan gestores ambientales buscan abrirse paso en el mercado local; en el 2015 la meta de recuperación de neumáticos fuera de uso era del 30% de las importaciones esto es 942.976 llantas



## Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

que a nivel nacional fueron recolectadas, recuperándose el 20% de éstas. Por lo que, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica - MAE busca incentivar el reciclaje y por eso ha establecido pruebas piloto de mezclas asfálticas modificadas con el polvo del caucho reciclado con el propósito de construir carreteras ecológicas en el país (Barciela, 2015).

El MAE promueve el principio de responsabilidad extendida del productor - importador, a través del cual se promueve que la empresa que pone su producto en el mercado, en el caso de los neumáticos fuera de uso (NFU) recupere un 30% de los mismos. Esto ha logrado muy buenos resultados, tal es el caso de que hasta 2014 se recuperaron casi 600 mil NFU cumpliendo la meta planteada inicialmente en un 105%. Mediante convenios con MTOP (Transportes y Obras Públicas) y MIPRO (Industrias y Productividad) se han planteado pruebas piloto de mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho reciclado con el fin de construir carreteras ecológicas en el país.

Por otro lado, Méndez (2019) alega que según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, en su estadística de transporte 2016, se establece un parque automotor estimado en 481,294 vehículos matriculados dentro de la provincia del Guayas, tal como se detalla en la figura 14; es importante notar que en el año 2010 se han generado 803,778 neumáticos fuera de uso en la provincia del Guayas constituye una cifra aproximada importante para ser tomada en cuenta debido al crecimiento de éste, más aun si la comparamos con los 3,556,000 unidades importadas en el año 2012 (INEC, 2016).

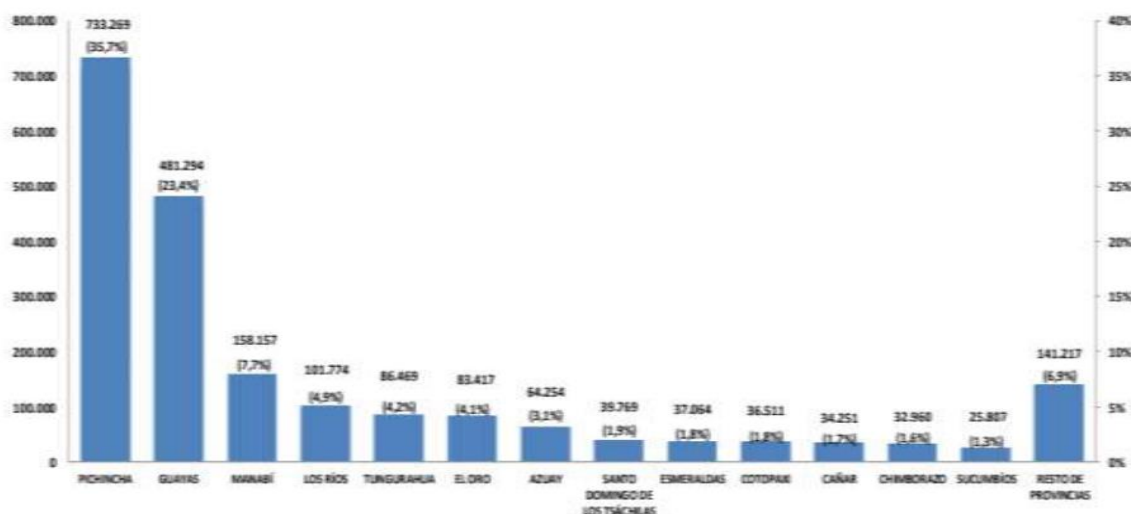


Figura 2. Parque automotor 2016. Fuente: INEC, (2016). Tomado de Méndez (2019).

## Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

Por otro lado, se muestran las principales empresas que lideran el reciclaje en el Ecuador:

- Ecuaplastic: Empresa recicladora de la provincia de Pichincha, muy conocida por la fabricación de tableros ecológicos a base del reciclaje de empaques de tetra-pack, material usado para los envases de leche. Su operación inicia en el año 2008 y hasta ahora ha estado en continuo crecimiento de sus instalaciones para la innovación otros productos como las mangueras de polietileno reciclado y cubiertas Ecopak con base poli aluminio, (polietileno y aluminio).
- Recynter: Empresa guayaquileña dedicada al reciclaje de material ferroso, perteneciente al grupo empresarial Mario Bravo, ha operado en Guayaquil desde hace 45 años. Su actividad se concentra en la compra de chatarras desechadas de grandes empresas industriales para ser tratadas y distribuidas como materia prima a otros centros de producción.
- Recimax: Empresa dedicada al reciclaje de material electrónico o desechos tecnológicos, por lo cual su concentración de mercado se localiza en las ciudades de Quito y Guayaquil al tener mayor disponibilidad de adquisición de material tecnológico. Los desechos tecnológicos son tratados y distribuidos a otros centros de producción de dispositivos tecnológicos que deseen reciclar y reaperturar los mismos.
- Ecocaucho: El 13 de junio del 2013, empresa 100% ecuatoriana, dedicada a la fabricación de productos conformados de caucho reciclado, mediante la gestión de neumáticos fuera de uso. Dicha gestión tiene como objetivo cerrar el círculo del neumático, asegurando la reutilización máxima de todos y cada uno de sus componentes en las distintas aplicaciones. ECOCAUCHO contribuye de manera activa y voluntaria al mejoramiento social y medioambiental de la comunidad.

### Metodología

En este apartado resulta menester realizar las determinaciones metodológicas a las que hubiere lugar, considerando el piso epistémico sobre el cual se visualiza esta investigación, así como describir con un nivel de precisión meridiano las relaciones que se establecen entre los hallazgos encontrados en estudios previos y estos nuevos, generados a partir de la experimentación que le atribuye un mayor grado de confiabilidad y exactitud (Pekalais y otros, 2015).

Al respecto, para la investigación que se presenta, se utilizaron dos métodos científicos para su desarrollo: el método deductivo y el método inductivo. Específicamente considerando la postura epistémica en la que se sustenta paradigmáticamente esta investigación se asume el método inductivo

## Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

como forma de razonamiento de la investigación en tanto procura realizar determinaciones desde los eventos particulares de un fenómeno, hasta lograr configurar características similares uniformemente, de modo que se generaliza sus propiedades (García, 2000).

Por otro lado, Arrieta (2021), menciona que el método inductivo se emplea desde el reconocimiento de uno o más casos particulares para lograr llegar a una afirmación general, considerando el uso racional de los resultados, en este sentido para la presente investigación constituye un elemento metodológico fundamental sobre la recolección de los datos específicos, sobre los casos específicos y el análisis en la creación de hipótesis y el proceso de teorización.

De acuerdo con el autor antes mencionado, las características principales del método inductivo son:

- Es vertical, es decir, intenta explicar lo común de lo individual.
- Se inicia con el empirismo del fenómeno y sobre la base de este teoriza.
- Es un método teórico que induce al conocimiento más genérico.
- Solo evalúa fenómenos observables.
- Generalmente de los resultados emergen datos probabilísticos, llegando a constituir falsos positivos.

En el caso del Método deductivo, al respecto se relaciona con la importancia de evaluar los elementos macro de la investigación es decir, de aquellas generalidades estandarizadas que permiten determinar juicios de valor sobre casos individuales. Este método es garante de las conclusiones, la relación entre de las proposiciones generales, antecedentes hasta llegar a las singularidades (Pekalais y otros, 2015). Para Arrieta (2021), el método deductivo es un tipo de razonamiento usado para aplicar leyes o teorías a casos singulares. Es el método utilizado en las ciencias formales, como la lógica y la matemática. Además, el razonamiento deductivo es clave en la aplicación de leyes a fenómenos particulares que se estudian en la ciencia.

En este sentido, esta forma de visualizar el fenómeno implica una estructura piramidal invertida, es decir, se inicia con la estandarización de los eventos producidos hasta singularizar el fenómeno. Este método coadyuva a la revisión de elementos epistemológicos que evoquen nuevos, además tiene la característica primaria del descubrimiento de un fenómeno sobre la base del proceso investigativo que implica estudios que no permiten visualizar los hechos de manera tácita, no desde las causas si no de las consecuencias producidas.

Cabe destacar que para Arrieta (2021) las características del método deductivo son las siguientes:

## Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

- Es una pirámide invertida puesto que es jerárquica que va desde los fenómenos homogeneizados hasta los individualizados.
- Generalmente es empleado bajo consideraciones paradigmáticas formales.
- Utiliza la hipótesis como medio para describir un fenómeno y explicarlo desde la teoría.
- Los resultados obtenidos se forman a través de las ideas centrales.
- En teoría si las hipótesis planteadas inicialmente son verdaderas por fuerza los resultados también lo son y estas a su vez deben seguir un razonamiento lógico y con la rigurosidad científica correspondiente.
- Sólo valida, no genera nuevas epístemes.

Esta investigación ha seguido los métodos inductivo y deductivo, dado que se desarrolló un análisis sobre la opinión de especialistas en el área de la construcción para conocer su postura en la incorporación de agregados de fibra de acero y caucho reciclado al hormigón tradicional para usos constructivos como por ejemplo los contrapisos, aunado a su criterio en base a la mitigación ambiental respecto a estos elementos que afectan a la salud de los pobladores y su entorno en la ciudad en Guayaquil.

Por otro lado, se requiere de estos métodos científicos para el análisis en la elaboración de los ensayos, recopilando los resultados de los cálculos en cada uno de ellos, hasta obtener las dosificaciones óptimas para cada resistencia, por lo que fueron conclusiones válidas y verdaderas, obteniendo un nuevo conocimiento del comportamiento mecánico que tiene el hormigón con fibra de acero y caucho reciclado al compararlo con el hormigón.

### **Tipo de investigación**

La investigación que se propone fue de tipo exploratorio, debido a que este tipo de proyecto investigan problemas poco estudiados, indagan desde una perspectiva innovadora, ayudan a identificar conceptos promisorios y preparan el terreno para nuevos estudios (Hernández y otros, 2014). En relación a ello, las variables sobre la fibra de acero y caucho reciclado y todo lo referente a la información preliminar y las formas de aprovechamiento para la mitigación ambiental en el sector construcción, con la aplicación en una mezcla de hormigón hacen de esta propuesta una innovación que pueda utilizarse en el futuro en obras civiles.

Lógicamente, a través de los resultados de los ensayos, se demostró que el material es óptimo para los usos que se plantean de contrapiso, aceras y pisos industriales.

## Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

Por lo que, en este trabajo se tomaron de forma empírica la fibra de acero y caucho y se mezcló con los agregados del hormigón tradicional para posteriormente con la experimentación en el laboratorio con condiciones controladas y los diversos ensayos con diferentes dosificaciones, se obtuvo los resultados y análisis de los posibles cambios que puedan surgir al ser sometido a condiciones de resistencias de 210 kg/cm<sup>2</sup>, a las edades de 7, 14 y 28 días. Así, todos los ensayos se realizaron en un laboratorio calificado y con normas específicas para cada uno; de la misma forma, y se comparó con los resultados del hormigón tradicional.

En este trabajo, se utilizó el enfoque cuantitativo, mismo que utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Hernández y otros, 2014).

Así, este trabajo, se desarrolló con un enfoque cuantitativo el cual va en línea a una propuesta de posible solución de la contaminación ambiental que surge de los desperdicios de acero y de cauchos, quienes son los que circunscriben la problemática de la investigación y que a través de su reciclado y puesta en marcha de la propuesta pueda utilizarse como solución en el sector de la construcción.

En tal sentido, por una parte, fue bajo las informaciones y datos sobre la fibra de acero y caucho, como los antecedentes y hechos conocidos, por las premisas que se puedan abordar en las opiniones de los profesionales para su aplicación en la mezcla de hormigón. Y, por otro lado, en los valores (datos numéricos) que arrojaron los ensayos, tales como: la resistencia a la compresión, el revenimiento, que describieron el comportamiento mecánico del hormigón con fibra de acero y caucho respecto con el tradicional.

Las técnicas empleadas en esta investigación, tienen como objetivo recopilar información para su posterior análisis. La metodología empleada corresponde a una investigación cuantitativa de tipo experimental en la que se obtienen datos según los ensayos realizados. A continuación, se detallan los ensayos realizados:

- Granulometría de áridos, NTE INEN 872
- Peso específico del agregado fino, ASTM-C124, AASHTO T-84
- Ensayo del P.V.S y P.V.V. del agregado fino, ASTM-C29; AASHTO T-19
- Peso específico del agregado grueso, ASTM C-127; AASHTO T-85
- Ensayo de asentamientos o cono de Abrams, NTE INEN 1 578.
- Ensayo al hormigón de resistencia a la compresión, ASTM C39

## Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

Se describen como instrumentos que permitieron realizar las técnicas descritas anteriormente, a todos los equipos de laboratorio a usar como lo son:

- Balanzas
- Horno
- Tamices
- Moldes para cilindros
- Prensa hidráulica para rotura de cilindros

Y todo aquel instrumento que permita mediante la realización de ensayos, recolectar los datos experimentales. Para esta investigación se define como la población a las diferentes clases de hormigones que se disponen en nuestro medio, es así que se tiene los siguientes tipos de hormigones:

- Simple o tradicional
- Autocompactante
- Proyectado reforzado con fibras
- Reforzado con fibras
- De alta resistencia
- Pretensado
- Postensado
- Ligero
- Ciclópeo

La muestra para esta investigación consta de 12 cilindros testigos, de los cuales se obtuvieron los resultados.

## Resultados

### Elaboración de cilindros

Habiendo establecido el diseño de la mezcla y los porcentajes de fibras a incorporar en los hormigones, se elaboran 12 muestras en probetas de 150mm de diámetro y 300mm de altura, es decir, una relación de 2 a 1 cumpliendo la norma NTE INEN 1576. Teniendo en cuenta los pesos mediante el diseño y los porcentajes de fibras que se necesita para cada muestra, se procede a tomar los pesos necesarios para realizar cada espécimen. Mediante una regla de tres, sacamos las cantidades necesarias para cada mezcla, partiendo como punto de comparación un hormigón sin agregado de fibras.

Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

Primero, se realiza la preparación de los materiales, luego se procede a determinar los pesos. Se deben mezclar los agregados fino y grueso, posteriormente se adiciona el cemento, después el caucho (triturado), y por último el agua. Se toman los revenimientos o asentamientos, los mismos que tienen relación con la trabajabilidad de las mezclas.

En las imágenes expuestas, se observa el procedimiento para la aceptación de la mezcla, para el presente proyecto el revenimiento debe ser  $\pm 15\text{cm}$ . NTE INEN 1762 (método del ensayo).



Figura 3. Ensayo del cono de Abrams para mezcla de hormigón tradicional. Elaborado por: Mary Robayo (2021)

Realizado el ensayo del cono de Abrams, se procede a agregarla a los moldes o probetas según especifica la norma NTE INEN 1576, la cual indica que para cilindros de  $D=150\text{mm}$  se debe adicionar la mezcla en 3 capas de aproximadamente igual altura, hasta llenar el cilindro, dando 25 golpes con una varilla lisa de  $5/8''$ , de punta redonda, para reducir los vacíos de la mezcla. Al final se dan unos golpes por el exterior del cilindro con un martillo de goma para una buena distribución del hormigón.

<i>Hormigón</i>	<i>Resistencia en Kg/cm<sup>2</sup></i>		
	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>28</b>
<i>Porcentaje de fibras</i>			
<i>Hormigón simple</i>	136.64	171.31	214.34
<i>05% de caucho y fibra de acero</i>	145.62	182.84	218.83
<i>10% de caucho y fibra de acero</i>	129.81	164.17	214.34
<i>15% de caucho y fibra de acero</i>	122.98	173.05	209.86
<i>20% de caucho y fibra de acero</i>	117.06	144.80	204.04

Tabla 1. Resultados de ensayo a compresión en cilindros. Elaborado por: Mary Robayo (2021).

Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

<i>Hormigón</i>	<i>Resistencia en Kg/cm<sup>2</sup></i>
<i>Hormigón simple</i>	214.34
<i>05% de caucho y fibra de acero</i>	218.83
<i>10% de caucho y fibra de acero</i>	214.34
<i>15% de caucho y fibra de acero</i>	209.86
<i>20% de caucho y fibra de acero</i>	204.04

**Tabla 2.** Resultados de ensayo a compresión en cilindros a los 28 días. Elaborado por: Mary Robayo (2021)

En la Tabla 2 se aprecian los resultados de la resistencia a la compresión de los diferentes hormigones a los 28 días de edad. Se evidencia un aumento o disminución de la resistencia a la compresión según el porcentaje de caucho y fibra que se adicione en la matriz de hormigón. Un ejemplo de esto, es la adición del 5% donde este porcentaje de incorporación permitió a la resistencia a la compresión incrementarse en un 7% en comparación con el porcentaje de adición más alto que es el 20%, es por ello, que la adición de fibras de acero y caucho reciclado luego de alcanzar su porcentaje óptimo (10%), este empieza a disminuir su resistencia.

Los resultados demuestran que para las dosificaciones de 5 y 10% se observó una resistencia que iguala la resistencia de diseño, mientras que, para los porcentajes del 15 y 20% se ve que presentan una ligera disminución de hasta un 3% respecto al diseño de la mezcla.

## Conclusiones

- Se concluye que después de haber analizado la fibra de acero y caucho reciclado, al incorporarse en porcentajes bajos en la mezcla de hormigón, presenta resultados comparables a la mezcla tradicional.
- Mediante los ensayos de laboratorio se han determinado que los porcentajes óptimos de incorporación de fibra de acero y caucho reciclado está en el rango del 5 al 10%, reemplazando parcialmente al agregado grueso (piedra).
- La comparación de los resultados demuestra que para los porcentajes de 5 y 10% se observó una resistencia que iguala la resistencia de diseño, mientras que, para los porcentajes del 15 y 20% se ve que presentan una ligera disminución de hasta un 3% respecto al diseño de la mezcla.



Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

- Se recomienda la incorporación de la fibra de acero y caucho reciclado en las mezclas de hormigón, lo cual permite conservar la resistencia de diseño de las mezclas y mitigar el impacto ambiental de estos elementos reciclados.
- El porcentaje óptimo de incorporación de fibra de acero y caucho reciclado que se recomienda en base a esta investigación está en el rango del 5 al 10%.
- Se recomienda realizar futuras investigaciones con diferentes rangos de porcentajes, para poder conseguir una amplia gama de datos y así aplicar una desviación estándar y obtener datos con mayor precisión.

## Referencias

1. American Concrete Institute - ACI COMMITTEE 544 (2021). Disponible en: <https://cutt.ly/EYzyb74>
2. Arias, F. (2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica. Sexta Edición. Editorial Epísteme, C.A. ISBN: 980-07-8529-9.
3. Arrieta, E. (2021). Método inductivo y deductivo. <https://www.diferenciador.com/diferencia-entre-metodo-inductivo-y-deductivo/>
4. Asociación Americana de Ensayo de Materiales - ASTM (s/f.). Historical Standard: Especificación Normalizada para Agregados Livianos para Concreto Estructural. <https://n9.cl/mfxpr>
5. Asociación CEMPRE Uruguay (2021). ¿Dónde reciclo?. <https://cutt.ly/dYzyW2k>
6. Barciela, F. (2015). La fiebre del caucho se renueva. [https://elpais.com/economia/2015/05/22/actualidad/1432294855\\_616987.html](https://elpais.com/economia/2015/05/22/actualidad/1432294855_616987.html)
7. Bustamante, C. (2021). Análisis comparativo de mezclas de hormigón con ripio y mezclas de hormigón tradicional. Investigación para título de Ingeniero Civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.
8. Cercle Humanista Multinivel. (2007). Cauchos, propiedades y aplicaciones. Barcelona: Martin Ferré.
9. Chávez, C., Chara, P., Alarcón, M. y Fois, M. (2017). Influencia de la fibra de acero en el control de la tenacidad del hormigón simple. <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/227>

Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

10. Ecuador, R. d. (2008). Constitución del Ecuador. Quito: República del Ecuador. [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)
11. Ecuador, R. d. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Quito: Secretaria Nacional de Desarrollo. <https://n9.cl/znx4>
12. EHE (2008). Anejo 14, Recomendaciones para la utilización de Hormigones con Fibras.
13. Elastómeros y plásticos - Elaplas (2021). Caucho Natural NR. <https://www.elaplas.es/materiales/cauchos-y-elastomeros/caucho-natural-nr/>
14. Empresa Pavimentos de Hormigón PAVICONJ (2021). Conoce los Tipos de Hormigón, Sus Aplicaciones y Sus Propiedades. <https://cutt.ly/ZYzyDx4>
15. Fernández, J. (2014). Parámetros productivos del caucho (*Hevea brasiliensis*) y su relación espacial con las propiedades físicas y químicas del suelo. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
16. Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. McGraw-Hill, Interamericana Editores, S.A. de C.V. ISBN: 978-1-4562-2396-0
17. Instituto Nacional de Estadísticas de Ecuador – INEC (2010). Censo Nacional Económico del Instituto Nacional de Estadísticas de Ecuador 2010. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Infoeconomia/info10.pdf>
18. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (2016). Estadísticas de transporte. <https://cutt.ly/XYzyZdI>
19. Mármol, P. (2010). Hormigones con fibra de acero. Características mecánicas. <https://cutt.ly/1YzyVnv>
20. Méndez, J. (2019). Elaboración de moldes de tejas, para techos con caucho reciclado para viviendas de interés social. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/2729>
21. Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) Ecuador. (s/f). Gobierno del encuentro. <https://www.obraspublicas.gob.ec/>
22. Nazer, A., Honores, A., Chulak, P. y Pavez, O. (2017). Hormigón sustentable basado en fibras de neumáticos fuera de uso. <https://cutt.ly/1Yzylx3>
23. Norma técnica ecuatoriana de la construcción (NTE), (s/f). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUV). <https://n9.cl/3ea88>
24. Pekalais, C. El Kadi, O., Seijo, C. y Neuman, N. (2015). El ABC de la investigación. Pauta Pedagógica. Séptima edición.

Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones

---

25. Peláez, G., Velásquez, S. y Giraldo, D. (2016). Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura. <https://www.redalyc.org/journal/911/91150559002/html/>
26. Pérez, J., & Merino, M. (2020). Definición de hormigón. <https://definicion.de/hormigon/>
27. Ramos, H. (2012). Aplicación de Fibras Estructurales a los Pilotes tipo CPI 8. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15822/Tesis\\_Ramos.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15822/Tesis_Ramos.pdf)
28. Registro oficial suplemento No. 147, (Referente al medio ambiente). (1971). Código penal. [https://oig.cepal.org/sites/default/files/1970\\_codigopenal\\_ecuador.pdf](https://oig.cepal.org/sites/default/files/1970_codigopenal_ecuador.pdf)
29. Registro Oficial No. 387. (2015). Ley de Ambiente. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
30. Rodríguez, J. & Segura, E. (2013). Análisis comparativo del efecto de los distintos tipos de fibras en el comportamiento post fisura del hormigón reforzado con fibras. <https://cutt.ly/zYzygCy>
31. Reyes, D. & Villa, O. (2021). Prototipo de bloque simple más residuos carbonosos y caucho reciclado para mampostería de viviendas. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4342>
32. Tu Interfaz de Negocios (2013). Reciclaje de llantas: cómo convertir un problema ambiental en productos con valor agregado. <https://cutt.ly/BYzywN2>
33. Troyano, M. (2019). Propiedades del hormigón. <https://cutt.ly/7YzypA8>
34. Universidad Laica Vicente Rocafuerte - ULVR. (2019). Reglamento de titulación. <https://n9.cl/cbb6>
35. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil -ULVR (2020). Descripción de proyecto de investigación. <https://n9.cl/6nuu3>