



UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE

GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

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

TEMA

**COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
CONCRETO CON FIBRAS DE PET RECICLADO Y CONCRETO CON
FIBRAS DE ACERO**

TUTOR

ING. CIVIL ALEXIS VALLE BENÍTEZ; MSIG.

AUTOR

LINDA ALEXANDRA COBOS SÁENZ DE VITERI

GUAYAQUIL

2021



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Comparativo de las propiedades mecánicas del concreto con fibras de pet reciclado y concreto con fibras de acero

AUTOR/ES:

Cobos Sáenz de Viteri Linda Alexandra

REVISORES O TUTORES:

Ing. Valle Benítez Alexis Wladimir,
MSIG.

INSTITUCIÓN:

Universidad Laica VicenteRocafuerte de
Guayaquil

Grado obtenido:

Tercer nivel de grado

FACULTAD:

INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN

CARRERA:

INGENIERÍA CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2021

N. DE PAGES:

78

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y construcción

PALABRAS CLAVE: Concreto reforzado con fibra, Resistencia a la compresión
Hormigón, Impacto medioambiental

RESUMEN:

La finalidad del presente estudio es realizar un análisis comparativo entre un hormigón con fibras de PET reciclado y uno elaborado con fibras de acero, para la obtención de una ficha comparativa que mejore los procesos constructivos. Debido a que la investigación nace de un apartado ambiental que involucra darles un segundo uso a envases PET por su responsabilidad en el daño medioambiental y teniendo en consideración que la industria de la construcción es conocida como una de las más contaminantes en el mundo, el estudio de opciones que permitan minimizar impactos ambientales y mejoren el desempeño del concreto es importante.

La presente investigación comprende un enfoque cuantitativo, con diseño de investigación descriptiva por tratarse de una comparación y experimental debido a los múltiples ensayos realizados a especímenes de hormigón que permiten obtener información experimental sobre el hormigón con fibras de PET reciclado y un hormigón con fibras de acero.

Con un nivel explicativo ya que al manipular la variable de resistencia a la compresión del hormigón reforzado con fibras como estudio empírico para medir los efectos en los resultados obtenidos en laboratorio que permitan conocer el comportamiento mecánico del hormigón. Los resultados de la investigación revelan distintos niveles de mejora frente al hormigón tradicional según la fibra y el porcentaje añadido.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>

<p>CONTACTO CON AUTOR/ES:</p> <p>Cobos Sáenz de Viteri Linda Alexandra</p>	<p>Teléfono: 0999703626</p>	<p>E-mail:</p> <p><u>lcoboss@ulvr.edu.ec</u></p> <p><u>lindaacoboss@gmail.com</u></p>
<p>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</p>	<p>Mg. Alex Salvatierra Espinoza (Decano)</p> <p>Teléfono: 2596500 Ext. 241</p> <p>E-mail: asalvatierrae@ulvr.edu.ec</p>	

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO

CERTIFICADO DE PLAGIO

COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON FIBRAS DE PET RECICLADO Y CONCRETO CON FIBRAS DE ACERO

COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
CONCRETO CON FIBRAS DE PET RECICLADO Y CONCRETO CON
FIBRAS DE ACERO

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%	4%	0%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	idoc.pub Fuente de Internet	2%
2	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	2%

Atentamente,



ING. ALEXIS WLADIMIR VALLE BENÍTEZ, MSIG
PROFESOR TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El (Los) estudiante(s) egresado(s) **LINDA ALEXANDRA COBOS SÁENZ DE VITERI**, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, “COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON FIBRAS DE PET RECICLADO Y CONCRETO CON FIBRAS DE ACERO”, corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, comoproducto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)



Firma:

LINDA ALEXANDRA COBOS SÁENZ DE VITERI

C.I. 0950960922

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación “COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON FIBRAS DE PET RECICLADO Y CONCRETO CON FIBRAS DE ACERO”, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: “COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON FIBRAS DE PET RECICLADO Y CONCRETO CON FIBRAS DE ACERO”, presentado por los estudiantes LINDA ALEXANDRA COBOS SÁENZ DE VITERI como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.



Firma:

ALEXIS WLADIMIR VALLE BENÍTEZ

C.C. 0921620720

DEDICATORIA

A mis padres.

Linda Cobos Sáenz de Viteri

INDICE GENERAL

PORTADA	I
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO	V
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOSPATRIMONIALES	VI
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR	VII
DEDICATORIA.....	VIII
INDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	2
1.1 Tema.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Formulación del problema	3
1.4 Sistematización del problema.	3
1.5 Objetivos de la investigación	3
1.5.1 Objetivo General	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	3

1.6 Justificación	4
1.7 Delimitación del Problema.....	5
1.8 Idea a defender	5
1.8.1 Variable independiente.....	5
1.8.2 Variable dependiente.....	5
1.9 Línea de Investigación Institucional/Facultad.	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 ANTECEDENTES.....	7
2.1.1 Antecedente histórico	7
2.1.2 Antecedente referencial.....	7
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	17
2.2.1 Concreto	17
2.2.2 Importancia del hormigón	17
2.2.3 Componentes del hormigón	17
2.2.4 Concreto reforzado con fibras	22
2.2.5 Plástico	22
2.2.6 Propiedades Mecánicas Del PET	22
2.2.7 Reciclaje del PET	23
2.2.8 Empresas recicladoras de PET en Ecuador	23

2.2.9 Propiedades del TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)	24
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	26
2.3.1 Propiedades del hormigón en estado fresco	26
2.3.2 Propiedades del hormigón en estado endurecido	27
2.4 MARCO LEGAL.....	29
CAPÍTULO III	30
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
3.1 Metodología	30
3.2 Tipo de investigación	31
3.3 Enfoque de la investigación	31
3.4 Técnicas e instrumentos	32
3.4.1 Técnica	32
3.4.2 Instrumentos	32
3.5 Población.....	32
3.6 Muestra.....	34
CAPÍTULO IV	35
PROPUESTA	35
4.1 Título de la propuesta.....	35
4. 2 Desarrollo de la propuesta.....	35
4.2.1 Elaboración de fibras de PET reciclado	36

4.2.2 Mezcla de hormigón.....	40
4.2.3 Selección de porcentajes óptimos de fibras para especímenes de hormigón.....	41
4.2.4 Selección de fibras de acero	42
4.2.5 Elaboración de especímenes cilíndricos de concreto	42
4.2.6 Ejecución y resultados de ensayos	46
4.3 Análisis de resultados.....	57
Conclusiones.....	58
Recomendaciones	59
Bibliografía.....	60
ANEXOS	62
Anexo 1.- Ensayo granulométrico del agregado fino	62
Anexo 2.- Ensayo granulométrico del agregado grueso	63
Anexo 3.- Diseño de hormigón.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Línea de investigación	6
Tabla 2 Resistencia a la Compresión en cilindros de Hormigón Reforzados con (1,15%) de Fibra de Acero y el Hormigón Simple (Sin Fibras).....	13
Tabla 3 Resistencia a la Tracción Indirecta en cilindros de Hormigón Reforzados con (1,15%) de Fibra de Acero y el Hormigón Simple (Sin Fibras).....	14
Tabla 4 Resistencia a la Flexión Indirecta en cilindros de Hormigón Reforzados con (1,15%) de Fibra de Acero y el Hormigón Simple (Sin Fibras).....	15
Tabla 5 Tipos de cemento según la NTE.....	18
Tabla 6 Propiedades del Tereftalato de Polietileno (PET)	25
Tabla 7 Cálculo de muestra.....	34
Tabla 8 Proceso de elaboración de fibras de PET reciclado.....	37
Tabla 9 Peso específico para fibras de PET.	40
Tabla 10 Tipos de construcción según asentamiento.....	43
Tabla 11 Resultados de asentamientos de los hormigones	44
Tabla 12 Resultados de ensayo a compresión en cilindros de hormigón con el 0.5% de fibras de PET reciclado.....	48
Tabla 13 Resultados de ensayo a compresión en cilindros de hormigón con el 1.0% de fibras de PET reciclado.....	48
Tabla 14 Resultados de ensayo a compresión en cilindros de hormigón con el 0.5% de fibras de acero.....	49
Tabla 15 Resultados de ensayo a compresión en cilindros de hormigón con el 1.0% de fibras de acero.....	50
Tabla 16 Resultados de ensayo a compresión en cilindros de hormigón sin fibras.....	50
Tabla 17 Resultados de ensayo a tracción indirecta.....	54
Tabla 18 Ficha comparativa del comportamiento mecánico de un hormigón con fibras PET reciclado y fibras de acero.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Resistencia a la Compresión del Hormigón vs Porcentaje de Fibra de Acero.	9
Figura 2: Resistencia a la flexión del Hormigón vs Porcentaje de Fibra de Acero	10
Figura 3 Resistencia a la tracción del Hormigón vs Porcentaje de Fibra de Acero.	11
Figura 4 Formas de fibras.....	20
Figura 5 Prensa hidráulica utilizada para evaluar la resistencia a compresión del hormigón.....	27
Figura 6 Agregado grueso.....	40
Figura 7 Agregado fino	41
Figura 8 Fibras de acero.....	42
Figura 9 Ensayo de asentamiento del concreto.	43
Figura 10 Proceso de elaboración de probetas cilíndricas.	44
Figura 11 Probetas cilíndricas.....	45
Figura 12 Curado de cilindros de hormigón.....	45
Figura 13 Registro de masa previo a la rotura de la probeta.....	46
Figura 14 Ensayo a tracción del hormigón.....	47
Figura 15 Ensayo a compresión del hormigón.	47

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Procedimiento de medición de la consistencia.	26
Gráfico 2: Distribución de las edificaciones por principales cantones.	33
Gráfico 3 Resistencia a compresión vs. días de ensayo de especímenes con el 1.0% de fibras y hormigón sin fibras.....	51
Gráfico 4 Resistencia a compresión vs. días de ensayo de especímenes con el 0.5% de fibras y hormigón sin fibras.....	52
Gráfico 5 Resistencia a compresión vs días de ensayo.	53
Gráfico 6 Análisis comparativo de esfuerzo a tracción indirecta.....	55

INTRODUCCIÓN

En la industria de la construcción el hormigón es el material con mayor uso debido a sus propiedades físicas y mecánicas, sin embargo, dentro de estas últimas su resistencia a la flexión, la presencia de fisuras siempre ha representado un problema, es por esto que el reforzamiento del hormigón es algo sumamente necesario para distintas construcciones civiles. Para su refuerzo es universal hacer uso del acero en varillas, mallas y fibras, sin embargo, en Ecuador el uso de fibras de acero para reforzar el hormigón no es algo común, es por esto que este estudio a más de ahondar en el rendimiento que adquiere el hormigón luego de ser reforzado con dichas fibras, se realiza un estudio sobre los resultados obtenidos con fibras de PET, especialmente de envases, ya que representan una preocupante cantidad de desechos a nivel mundial, donde una forma de mitigar su impacto ambiental se encuentra en el aprovechamiento de su aplicabilidad en una matriz de hormigón.

La forma en la que se desarrolla la investigación es en el empleo de metodologías, métodos y tipos de investigación como descriptiva, explicativa, bibliográfica, comparativa y experimental haciendo uso de resultados de laboratorio para la realización de un análisis sobre el comportamiento del hormigón con adición de fibras de acero y fibras de PET reciclado, haciendo referencia al estudio que ha recibido el hormigón con adición con fibras recicladas de PET y fibras de acero con distintos métodos para los diseños de hormigones, diferentes porcentajes de fibras añadidas, es por esto que, con el propósito de juntar esta información y plantearla como ficha comparativa se realiza un análisis para identificar el comportamiento mecánico del hormigón con adición de fibras de acero y fibras de PET reciclado.

CAPITULO I

1.1 Tema

Comparativo de las propiedades mecánicas del concreto con fibras de polietileno tereftalato (PET) reciclado y concreto con fibras de acero.

1.2 Planteamiento del problema.

El hormigón es un elemento del que se ha realizado múltiples estudios ya que es uno de los más utilizados en el mundo de la construcción, con el fin de ampliar el conocimiento sobre la tecnología del hormigón, existen investigaciones respecto al concreto reforzado con fibras, sin embargo, pese a sus favorables resultados en el mejoramiento de sus propiedades, su aplicación en el país es escasa. Debido a la falta de puesta en práctica de nuevas técnicas y conocimiento de opciones ecológicas que tengan la misma utilidad con mayores beneficios, es por lo que se aborda este problema sintetizando los resultados para, por medio de una ficha comparativa entre fibras de acero y fibras de PET reciclado, llegar a constructores y permitir un punto de partida para futuras investigaciones referente al comportamiento del hormigón con adición de fibras.

El propósito de elegir estos dos tipos de fibras que pueden ser añadidas a la matriz de hormigón es debido a que el acero es el material del que más se comercializan fibras para reforzar el hormigón en la actualidad y es fundamental que el profesional de la construcción conozca el comportamiento mecánico del hormigón con este tipo de fibra. Por otra parte, las fibras de PET reciclado, aunque no tan estudiadas como el acero, ha sido objeto de estudio de algunas investigaciones dando lugar a una opción ecológica.

1.3 Formulación del problema

¿Cuáles son las diferencias del comportamiento mecánico de un concreto con fibras de PET reciclado y un concreto con fibra de acero?

1.4 Sistematización del problema.

¿Cuáles son las propiedades de la fibra de PET reciclado y fibra de acero aplicables en un hormigón?

¿Qué resultados generan ensayos al hormigón en estado endurecido para caracterizar un hormigón con adición de fibras de PET reciclado en comparación con un hormigón con fibras de acero?

¿Cuáles son las fortalezas y debilidades entre un hormigón con fibras de PET recicladas y fibras de acero?

1.5 Objetivos de la investigación

1.5.1 Objetivo General

Desarrollar un análisis comparativo del comportamiento mecánico de un hormigón con adición de base a fibras de PET reciclado y un hormigón con fibras de acero.

1.5.2 Objetivos específicos

- Identificar las propiedades de las fibras PET reciclado y acero aplicables en un proceso de construcción.
- Examinar los resultados de los ensayos realizados al hormigón en estado endurecido fibroreforzado con fibras de PET reciclado y fibras de acero.
- Elaborar ficha comparativa del comportamiento mecánico de un hormigón con fibras PET reciclado y fibras de acero.

1.6 Justificación

El concreto es la mezcla más utilizada en construcciones civiles es por ello que investigaciones que involucren el estudio del mismo para mejorar sus propiedades resulta fundamental, de interés propio y de profesionales de la construcción. El uso de concreto fibro-reforzado no es muy común en la ciudad de Guayaquil, es por esto que resulta útil ampliar la información que se tiene al respecto para que el hormigón con adición de fibras esté presente en las preferencias constructivas y se emplee más su uso debido a que poseen múltiples beneficios que deben ser aprovechados.

En el presente trabajo de investigación se hace uso de resultados de laboratorio bajo el empleo de metodologías, métodos y tipos de investigación como descriptiva, explicativa, bibliográfica y comparativa con la finalidad de contribuir con el estudio de su comportamiento bajo la adición de fibras, con el propósito de elaborar una ficha comparativa entre el hormigón con fibras de acero y un hormigón con fibras de PET reciclado.

El uso de fibras para reforzar el hormigón no es nuevo, es por ello por lo que existen distintos tipos de fibras y dentro de ellas las de acero, las mismas que han sido principales temas de estudio en investigaciones donde se presentan en diferentes dosificaciones y formas, sometidas a ensayos realizados al hormigón es por esto que es uno de nuestros objetos de estudio. Por otra parte, el propósito de analizar el comportamiento de fibras de PET reciclado es debido a la problemática medioambiental que resulta de la contaminación de dichos desechos sólidos, siendo que las botellas plásticas en dos años produjeron 4 mil millones de residuos y estos podrían llegar a demorar hasta 500 años en su degradación y generando partículas diminutas que se acumulan en el ecosistema; radica en ello la necesidad de darle un segundo uso a las botellas de plástico para no solo mitigar el daño que podría causar sino también reforzar el hormigón con fibras de plástico PET que mejorando así las propiedades mecánicas del hormigón.

Adicional, reemplazando materiales tradicionales para la fabricación de hormigón de cumple con uno de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo con el “impulso a la productividad y competitividad” “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y las futuras generaciones”, al hacer uso de las fibras de PET reciclado como reemplazo de fibras de acero e incluso el armado tradicional de varillas de acero en conjunto con el hormigón.

1.7 Delimitación del Problema

Campo:	Educación Superior. Tercer nivel de grado
Área:	Ingeniería civil
Aspecto:	Investigación experimental.
Tema:	Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto con fibras de polietileno tereftalato (PET) reciclado y concreto con fibras de acero.
Delimitación espacial:	Guayaquil, Guayas
Delimitación temporal:	6 meses

1.8 Idea a defender

La elaboración de un análisis comparativo entre las propiedades mecánicas del concreto con fibras de polietileno tereftalato (PET) reciclado y fibras de acero dentro de la mezcla de hormigón permitiendo conocer sus similitudes y diferencias mediante la realización de una ficha comparativa.

1.8.1 Variable independiente

Comparativo de las propiedades mecánicas del concreto

1.8.2 Variable dependiente

Concreto con fibras de polietileno tereftalato (PET) reciclado y concreto con fibras de acero.

1.9 Línea de Investigación Institucional/Facultad.

Tabla 1

Línea de investigación

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN		
ULVR	FIIC	Sublínea
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Materiales de construcción	Materiales innovadores en la construcción

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte (2020)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedente histórico

El hormigón con fibra como refuerzo data de 1940, con múltiples pruebas que se realizaron con materiales fibrosos para medir las propiedades, ventajas y desventajas con cada producto. El concreto, al trabajar a compresión es considerado relativamente frágil cuando este es sujeto al esfuerzo a tracción debido a que se presentan fisuras. Es por esto que desde 1800 se dio paso para la utilización del acero para reforzar el concreto. Por ello, cuando la fibra para refuerzo del mismo también se ha utilizado para aumentar la carga de tracción. Los estudios que se han realizado a las fibras dan respuestas favorables demostrando así que la resistencia a la rotura del concreto, mejora hasta cinco veces debido a la adición de estas.

Las propiedades fundamentales que se involucran en la resistencia del hormigón fibroreforzado son:

Tipo de fibras

Volumen

Longitud de la fibra dividida por el diámetro

Orientación

Existen muchos tipos de fibras como algodón, vidrio, nylon, poliéster, acero, entre otros. Las fibras de acero son, sin duda las que se llevan la atención debido a los datos de prueba. Las fibras de refuerzo han generado mucho interés y desarrollo en los últimos 20 años. (ibe)

2.1.2 Antecedente referencial

Para la realización de la presente investigación se consideran datos obtenidos en investigaciones previas para conocer resultados hallados previamente.

Dentro de la bibliografía sobre hormigones con fibra en la investigación de los autores (Alesmar, Rendon, & Korody, 2008) de la Universidad Central de Venezuela, donde se fabrica, ensaya y caracteriza combinaciones de PET con Cemento. Se establece una metodología teórico-práctica que ayude a concluir el posible comportamiento del PET, haciendo uso de botellas de bebidas utilizándolo para matriz de hormigón. Estas mezclas están

diseñadas por 5, 10 y 15% del plástico en conjunto de los agregados finos y gruesos, según el tipo de mezcla. Dando paso a tres tipos donde se reemplaza parcialmente el agregado fino por PET. Para determinar sus propiedades se fabrican especímenes de hormigón. Se concluye que se podría incluir PET para hormigón de bloques o fines no arquitectónicos debido a que la resistencia disminuye. La sustitución total de la arena por PET causaría discontinuidades y no es lo más recomendable. Otro dato destacable de la investigación es la forma geométrica de las fibras afectando negativamente el comportamiento del hormigón endurecido. Dentro de las bondades halladas del PET se encuentra la facilidad de colocación reduciendo el tiempo de construcción.

En el trabajo de investigación hecho por (Benites & Bermilla, 2014) donde se realiza “Comparativo entre el comportamiento del concreto PET y el concreto convencional” el añadir PET a la matriz de hormigón tiene buenos resultados mejorando significativamente la resistencia a la flexión siendo esta la más interesante debido a resultar esta la debilidad del hormigón, evitando así las fisuras. (Guamán & Pinenla, 2019)

Respecto a estudios realizados sobre otros tipos de fibras tenemos el trabajo “Refuerzo de elementos estructurales con hormigones con fibras o solo fibras”, de (Irías, 2013) donde afirma que “Las fibras de acero cosen las fisuras del hormigón formando un “puente” entre labios de la rotura, permitiendo una formación controlada de las fisuras, y llevando al hormigón a un comportamiento dúctil después de la fisuración inicial, evitando así la rotura frágil.”

Por último, (Rojas, 2014) en su investigación sobre “Estudio de viabilidad de utilización de fibras de acero para hormigones convencionales y autocompactantes”, afirma que “Debido a sus propiedades las piezas con incorporación de fibras generalmente presentan una zona de fisuración más ancha, por lo que la apertura máxima y la longitud de las fisuras son bastante menor que en el caso del hormigón sin fibras. Por estos aspectos, el HRF (Hormigón Reforzado con Fibras) mejora la durabilidad del hormigón, y en algunos casos, puede hasta lograr reemplazar totalmente el refuerzo tradicional con barras de acero.”

Según (ASTM C39/C39M-17b, s.f.) dentro de sus resultados en su proyecto de titulación donde se realizan pruebas con distintas concentraciones de fibra de acero señalan que para los hormigones de resistencia de 210 kg/cm² y 240 kg/cm² el porcentaje de fibra óptimo es de

0,62% donde se presenta una mejora considerable sobre la resistencia a compresión como se muestra en el gráfico a continuación.



Figura 1: Resistencia a la Compresión del Hormigón vs Porcentaje de Fibra de Acero.

Fuente: (Silva, 2014)

Este porcentaje de fibras se halla dentro de la norma ACI 544-1R32 (Report on Fiber Reinforced Concrete), lo que significa que se encuentra de acuerdo con las delimitaciones establecidas para la misma.

Por otra parte, como resultado de los ensayos a flexión de las vigas ensayadas se encontró que para las resistencias de 210 kg/cm² y 240 kg/cm², luego de diversas pruebas con fibras de acero se obtiene que con 1,15% se obtiene la mejora máxima de su resistencia a flexión, ya que luego de ese punto disminuye según se aumenta la fibra.

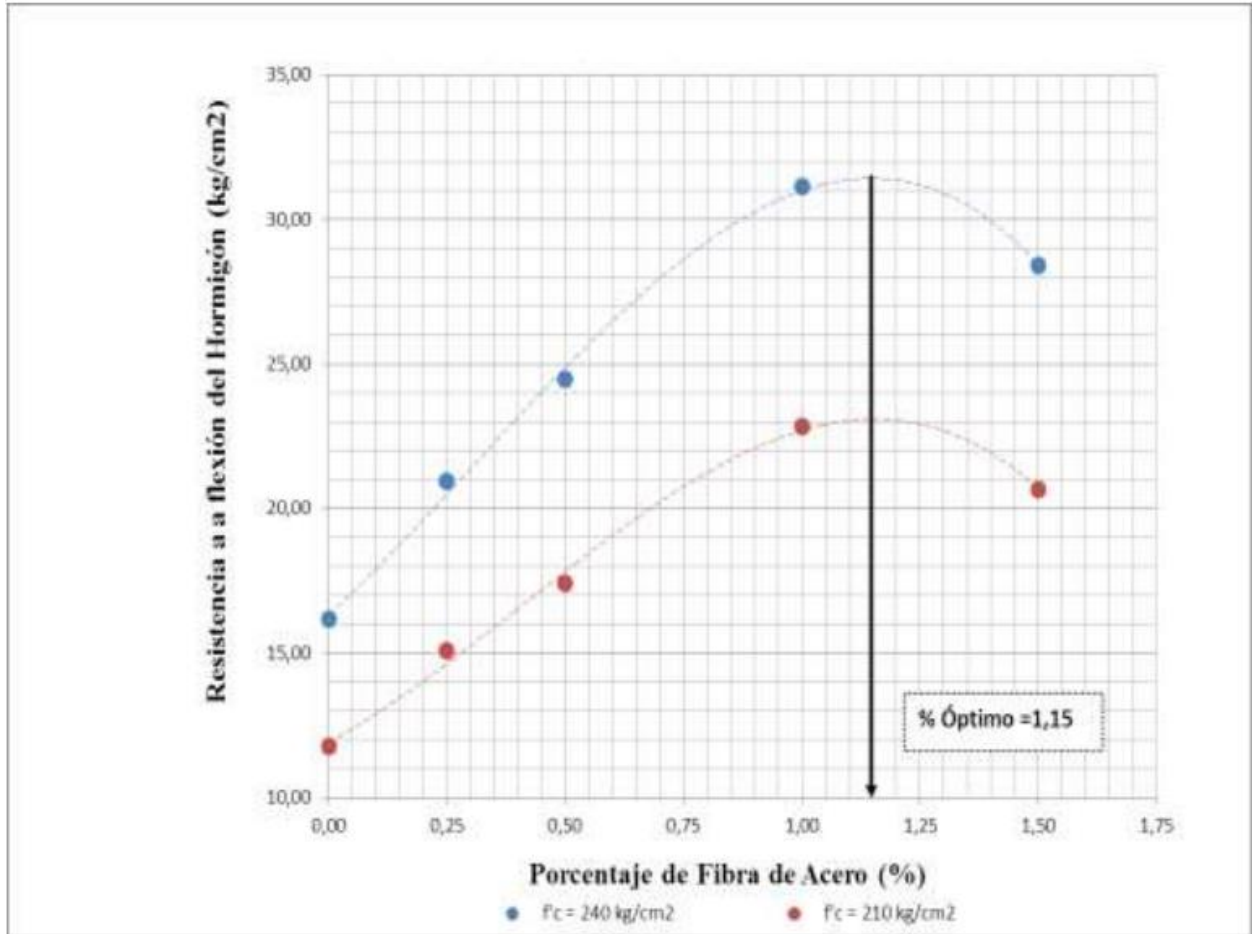


Figura 2: Resistencia a la flexión del Hormigón vs Porcentaje de Fibra de Acero

Fuente: (Silva, 2014)

Este porcentaje de fibras se halla dentro de la norma ACI 544-1R32 (Report on Fiber Reinforced Concrete), lo que significa que se encuentra de acuerdo con las delimitaciones establecidas para la misma.

Cabe destacar, que para la resistencia a la tracción se obtuvo como porcentaje óptimo de 1,10%, acercándose al obtenido por resistencia a flexión, también estando este dentro del rango permitido por la normativa ACI.

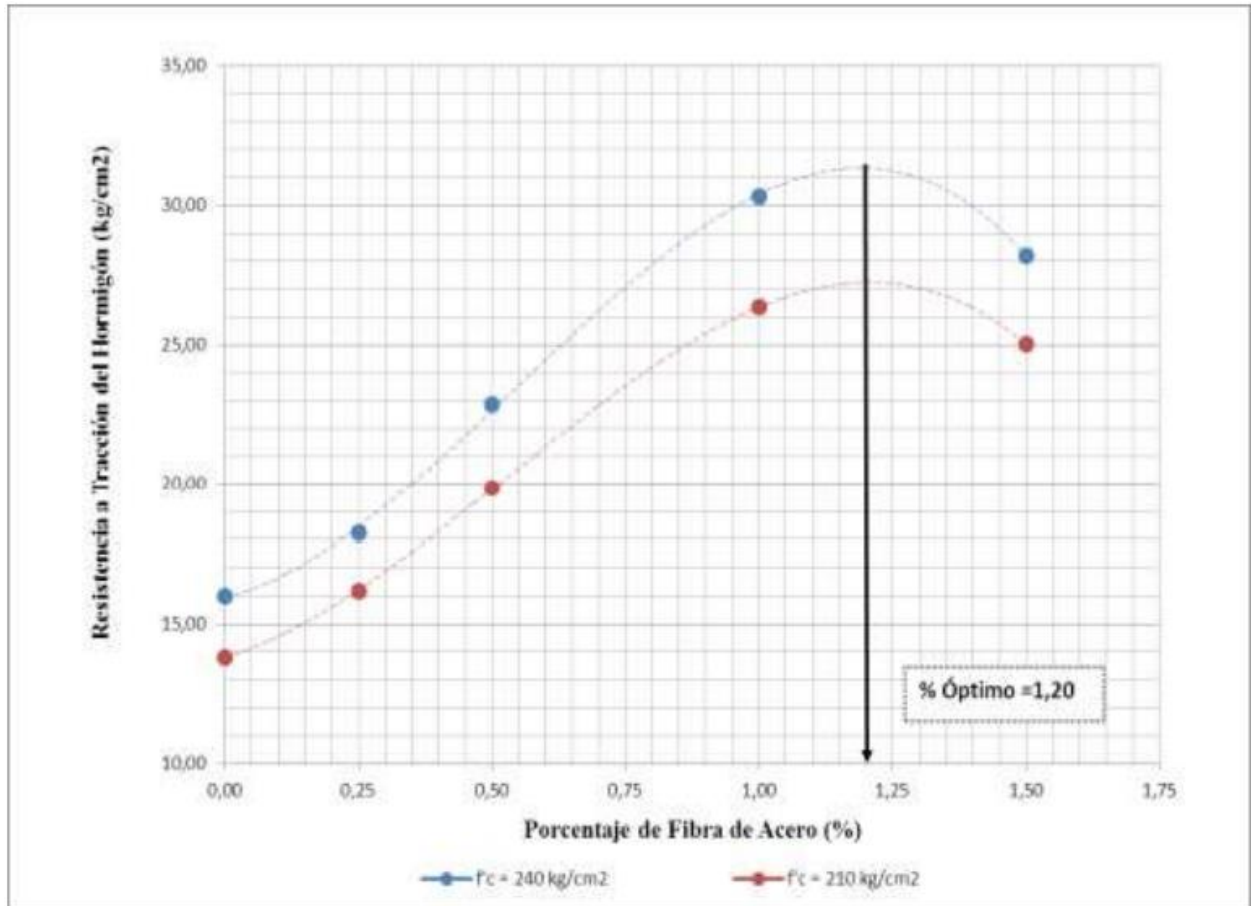


Figura 3 Resistencia a la tracción del Hormigón vs Porcentaje de Fibra de Acero.

Fuente: (Silva, 2014)

En comparación con el hormigón tradicional, en las vigas fibro-reforzadas en las que se realizaron los ensayos cuando se aplica la carga y esta se fisura no cae de forma brusca como lo demuestra el concreto sin fibra de acero añadida es por ello por lo que se concluiría que la falla es más dúctil cuando el hormigón es adicionado con las fibras.

Existe un porcentaje de fibras que se considera óptimo el cual es diferente para cada uno de los ensayos, compresión, flexión y tracción y para su determinación es necesario llevar a cabo distintas consideraciones como que el hormigón a compresión, que es su principal propiedad mecánica no tiene una variación considerable a la hora de compararla con uno con fibras adicionada, incluso en el ACI 544-25 se afirma que “las fibras de acero usualmente presentan solo un mínimo efecto en la resistencia a compresión, incrementándola o disminuyéndola

ligeramente en las pruebas de laboratorio” (ACI Committee 544) es por ello que no se considerará esta propiedad para la determinación del porcentaje óptimo.

Por otra parte, se pudo evidenciar que para la resistencia a flexión y tracción los resultados, que resultaron ser bastante similares, mejoraron significativamente en comparación con el hormigón sin adición de fibras.

El porcentaje óptimo de fibras es el punto donde si es agregada más fibra la resistencia comienza a disminuir. Con todas estas premisas se puede concluir que el porcentaje óptimo de fibras es de 1,5% para la concentración de fibras.

Tabla 2

Resistencia a la Compresión en cilindros de Hormigón Reforzados con (1,15%) de Fibra de Acero y el Hormigón Simple (Sin Fibras)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO																	
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA																	
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																	
COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA																	
ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN REFORZADOS CON (1,15 %) DE FIBRA DE ACERO Y EL HORMIGÓN SIMPLE (SIN FIBRAS)																	
ORIGEN:	Planta de Trituración de Áridos A & P Constructores										NORMA						NTE INEN 1573 - ASTM C 39
REALIZADO POR:	Egdo. Lenin Silva										ALTURA DE CILINDRO (M):						0,3
PROBETA N°	IDENTIFICACIÓN	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DIÁMETRO (CM)	ÁREA (CM ²)	VOLUMEN (M ³)	PESO (KG)	DENSIDAD (KG/M ³)	DENSIDAD MEDIA	CARGA		ESFUERZO COMPRESIÓN (KG/CM ²)	ESFUERZO MEDIO (KG/CM ²)	EDAD DÍAS	LÍMITE INFERIOR (%)	VALOR OBTENIDO (%)	LÍMITE SUPERIOR (%)
										KN	KG						
1	HORMIGÓN SIMPLE (f _c = 210 kg/cm ²)	19/08/2014	16/09/2014	15,18	180,98	0,005	12,2	2247,01	2260,61	366,20	37342,01	206,33	203,07	28	95	96,70	105
3				15,21	181,70	0,005	12,4	2274,85		361,40	36852,54	202,82					
5				15,26	182,89	0,005	12,4	2259,96		358,80	36587,42	200,05					
7	HORMIGÓN CON (1,15%) Fa (f _c = 210 kg/cm ²)	19/08/2014	16/09/2014	15,2	181,46	0,005	12,4	2277,84	2280,14	392,30	40003,47	220,46	215,42	28	95	102,58	105
9				15,27	183,13	0,005	12,3	2238,80		383,30	39085,72	213,43					
11				15,23	182,18	0,005	12,7	2323,77		379,40	38688,03	212,37					
13	HORMIGÓN SIMPLE (f _c = 240 kg/cm ²)	19/08/2014	16/09/2014	15,23	182,18	0,005	12,3	2250,58	2279,07	421,50	42981,04	235,93	232,28	28	95	96,78	105
15				15,20	181,46	0,005	12,5	2296,21		413,30	42144,87	232,26					
17				15,28	183,37	0,006	12,6	2290,41		411,20	41930,73	228,66					
19	HORMIGÓN CON (1,15%) Fa (f _c = 240 kg/cm ²)	19/08/2014	16/09/2014	15,18	180,98	0,005	12,6	2320,68	2292,24	445,10	45387,57	250,79	249,41	28	95	103,92	105
21				15,23	182,18	0,005	12,4	2268,88		446,20	45499,74	249,76					
23				15,23	182,18	0,005	12,5	2287,17		442,50	45122,44	247,69					

Fuente: (Silva, 2014)

Tabla 3

Resistencia a la Tracción Indirecta en cilindros de Hormigón Reforzados con (1,15%) de Fibra de Acero y el Hormigón Simple (Sin Fibras)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO																
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA																
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																
COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA																
ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN CILINDROS DE HORMIGÓN REFORZADOS CON (1,15 %) DE FIBRA DE ACERO Y EL HORMIGÓN SIMPLE (SIN FIBRAS)																
ORIGEN:	Planta de Trituración de Áridos A & P Constructores											NORMA				ASTM C 496-96
REALIZADO POR:	Egdo. Lenin Silva											ALTURA DE CILINDRO (M):				0,3
PROBETA Nº	IDENTIFICACIÓN	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DIÁMETRO (CM)	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (M3)	PESO (KG)	DENSIDAD (KG/M3)	DENSIDAD MEDIA (KG/M3)	CARGA		ESFUERZO TRACCIÓN (KG/CM2)	ESFUERZO MEDIO (KG/CM2)	EDAD DÍAS	RELACIÓN σ COMPRESIÓN / σ TRACCIÓN (%)	
										KN	KG					
2	HORMIGÓN SIMPLE (f _c = 210 kg/cm ²)	19/08/2014	16/09/2014	15,01	176,95	0,005	12,2	2298,20	2262,56	151,50	15448,70	21,84	21,07	28	10,37	
4				15,23	182,18	0,005	12,4	2268,88		142,30	14510,56	20,22				
6				15,27	183,13	0,005	12,2	2220,60		149,20	15214,17	21,14				
8	HORMIGÓN CON (1,15%) Fa (f _c = 210 kg/cm ²)	19/08/2014	16/09/2014	15,18	180,98	0,005	12,6	2320,68	2288,17	281,70	28725,41	40,16	38,59	28	17,91	
10				15,2	181,46	0,005	12,5	2296,21		261,60	26675,78	37,24				
12				15,24	182,41	0,005	12,3	2247,63		270,20	27552,73	38,37				
14	HORMIGÓN SIMPLE (f _c = 240 kg/cm ²)	19/08/2014	16/09/2014	15,25	182,65	0,005	12,3	2244,68	2281,02	168,10	17141,43	23,85	23,38	28	10,06	
16				15,16	180,50	0,005	12,4	2289,88		163,30	16651,97	23,31				
18				15,22	181,94	0,005	12,6	2308,50		161,60	16478,61	22,98				
20	HORMIGÓN CON (1,15%) Fa (f _c = 240 kg/cm ²)	19/08/2014	16/09/2014	15,28	183,37	0,006	12,7	2308,59	2290,00	311,10	31723,37	44,06	44,19	28	17,72	
22				15,23	182,18	0,005	12,4	2268,88		306,50	31254,30	43,55				
24				15,09	178,84	0,005	12,3	2292,53		313,50	31968,10	44,96				

Fuente: (Silva, 2014)

Tabla 4

Resistencia a la Flexión Indirecta en cilindros de Hormigón Reforzados con (1,15%) de Fibra de Acero y el Hormigón Simple (Sin Fibras)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO												
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA												
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL												
COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA												
ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN REFORZADOS CON (1,15 %) DE FIBRA DE ACERO Y EL HORMIGÓN SIMPLE (SIN FIBRAS) CON CARGA A LOS TERCIOS DE LA LUZ												
ORIGEN:	Planta de Trituración de Áridos A & P Constructores								NORMA:		ASTM C-78	
REALIZADO POR:	Egdo. Lenin Silva				DIMENSIONES (CM):		15X15X75		LONGITUD DE MEDIDA (CM):		45	
PROBETA N°	IDENTIFICACIÓN	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN (M3)	PESO DE VIGA (KG)	DENSIDAD (KG/M3)	CARGA		MÓDULO DE ROTURA (KG/CM2)	EDAD DÍAS	RELACIÓN σ COMPRESIÓN / σ FLEXION (%)	
							(KN)	(KG)				
1	HORMIGÓN SIMPLE ($f_c = 210$ kg/cm ²)	19/08/2014	16/09/2014	0,017	38,3	2269,63	14,10	1437,80	19,17	28	9,44	
2	HORMIGÓN CON (1,15%) Fa ($f_c = 210$ kg/cm ²)	19/08/2014	16/09/2014	0,017	38,6	2287,41	27,9	2845,01	37,93		17,61	
3	HORMIGÓN SIMPLE ($f_c = 240$ kg/cm ²)	19/08/2014	16/09/2014	0,017	38,4	2275,56	17,5	1784,50	23,79		10,24	
4	HORMIGÓN CON (1,15%) Fa ($f_c = 240$ kg/cm ²)	19/08/2014	16/09/2014	0,017	38,8	2299,26	36,2	3691,37	49,22		19,73	

Fuente: (Silva, 2014)

2.1.2.1 Comparación del hormigón con adición de porcentaje óptimo de fibras de acero y hormigón tradicional

La primera tabla proporciona información sobre los resultados obtenidos en el ensayo de compresión lo que indica que, pese a que no representa un cambio tan grande en resistencia en comparación con los de resistencia a la tracción y flexión, es evidente la mejora del comportamiento de hormigón con las fibras, donde los hormigones con dosificación de 210kg/cm² y 240kg/cm² obtienen un aumento de 12kg/cm² y 17,13kg/cm², respectivamente. Lo que significa un incremento del 6% y 7%. Cabe destacar que (Tipantasig, 2015) afirma que presenció una falla explosiva en el hormigón tradicional, lo que no se produjo con el hormigón con adición de fibras.

Con referencia con la segunda tabla que detalla los resultados obtenidos en el ensayo de tracción el hormigón fibro-reforzado posee un destacable desempeño frente al hormigón tradicional con el porcentaje óptimo de filamentos, en las dosificaciones de 210kg/cm² y 240kg/cm² se obtiene una mejora de 17,52kg/cm² y 20,81kg/cm², respectivamente. Lo cual representado en porcentajes significa una mejora de 83% y 89%.

Por último, según lo obtenido en la última tabla de la comparativa se obtuvo las mejoras más drásticas en cuanto a la resistencia a flexión, donde en las dosificaciones de 210kg/cm² y 240kg/cm² las resultaron de 18,76kg/cm² y 25,43kg/cm². Lo que según los datos obtenidos se representan en porcentajes como una mejora de 98% y 107% respectivamente.

Una excesiva adición de fibras no solo significa una disminución en las mejoras en el comportamiento del hormigón sino también promueve la formación de erizos dentro de mezcla en estado fresco, incluso afectaría la consistencia que lleva a porosidad y mayor cantidad de aire afectando así a la adherencia de los filamentos metálicos con la matriz de hormigón.

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 Concreto

El concreto es el resultado de la unión de cemento, agua, grava y arena, también puede incluir aditivos. El concreto u hormigón es una mezcla, apenas el 15% de este es el cemento, en relación a su volumen, no obstante, su presencia es importante, según Holcim.

Respecto a los aditivos, estos poseen diferentes funciones entre ellas permitir que el agua que se agregue a la mezcla sea menor que la que normalmente se necesite, también mejora la resistencia y aumenta la trabajabilidad de esta. (Sarta & Silva, 2017)

2.2.2 Importancia del hormigón

En la actualidad, el hormigón es el material más utilizado en el país. Su calidad final depende de la calidad de sus componentes y del profesionalismo del ingeniero encargado, su puesta en obra, el control de calidad. (Rivva, 2000)

Radica allí la importancia del estudio de sus materiales, su manejo, y su mantenimiento. (Carrillo & Rojas, 2017)

2.2.3 Componentes del hormigón

Son cuatro sus componentes debido a la tecnología con la que se elabora la mezcla.

2.2.3.1 Cemento

Es producido por la pulverización del Clinker, que está compuesto por silicatos de calcio hidráulico, conteniendo varias formas de sulfato de calcio. Tiene algunos elementos mineralógicos y otros secundarios. (Carrillo & Rojas, 2017)

Los tipos de cemento según la NTE son:

Tabla 5

Tipos de cemento según la NTE.

▶	Tipo IA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo I, donde se desea incorporación de aire.
▶	Tipo II. Para uso general, especialmente cuando se desea una moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
▶	Tipo IIA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo II, donde se desea incorporación de aire.
▶	Tipo III. Para usarse cuando se desea alta resistencia inicial o temprana
▶	Tipo IIIA. Cemento con incorporador de aire para el mismo uso que el Tipo III, donde se desea incorporación de aire.
▶	Tipo IV. Para usarse cuando se desea bajo calor de hidratación.
▶	Tipo V. Para usarse cuando se desea alta resistencia a la acción de los sulfatos.

Fuente: (INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE Norma Técnica Ecuatoriana)

2.2.3.2 Agua

Este elemento para ser utilizado en el hormigón no debe de contener impurezas y limpia para poder ser empleada en la mezcla del hormigón y su reacción sea favorable. Su uso y manipulación a la hora de ser usada en el concreto debe usarse en las proporciones correctas para que este pueda llegar a su resistencia máxima. (Cristhian & Zavala, 2020)

El agua representa entre 10% y 25% del volumen del concreto al ser mezclado. Cualquier sustancia dañina que posea el agua al momento de la mezcla influirá negativamente en las propiedades del producto final. Muchas veces el que el agua sea potable no basta, debe cumplir con requisitos de calidad ya que podría incluir citratos o incluso azúcares que no son aptas para la elaboración del hormigón sin embargo no compromete su potabilidad. (Corcino, 2007)

2.2.3.3 Agregados

Los agregados representan desde el 65% al 80% del volumen total del concreto según (Rivva, 2000), son unas partículas de un material estudiado, el cual debe cumplir una serie de ensayos para conocer su comportamiento y el que obtendrá junto con la pasta de cemento con agua. El agregado influye sobre las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Su origen puede ser de rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas. (Carrillo & Rojas, 2017)

Para la elaboración del hormigón es necesario cumplir con la norma NTE INEN 872, según los requisitos para áridos.

Según (Medina, 2021)

“El árido fino es arena natural, arena elaborada o una combinación de ellas. La arena además de no exceder con la cantidad de sustancias perjudiciales como arcilla, carbón e impurezas orgánicas debe cumplir con requisitos de gradación según el requerimiento de las especificaciones técnicas del hormigón El árido grueso consiste en grava, grava triturada o piedra triturada, al igual que el árido fino, la granulometría depende del requerimiento solicitado en las especificaciones técnicas del hormigón.”

2.2.3.3.1 Agregado fino

Es el material que se denomina Arena y sus partículas en su mayoría pasan el tamiz #4 (4.75mm) y se retienen por el tamiz #200 (75 μ m).

(Silva, 2014)

2.2.3.3.2 Agregado grueso

También conocido con el nombre de Ripio y este material es retenido mayoritariamente por el tamiz #4 (4.75mm) (Silva, 2014)

2.2.3.4 Fibras de refuerzo

Desde la década del 60 las fibras de acero han sido añadidas al concreto para elementos de concreto discontinuos. No obstante, desde 1971 en Estados Unidos se comenzó a hacer estudios con el objetivo de la implementación de fibras en el concreto elaborado con fibras, dichas han sido esenciales para la construcción de pavimentos, cubiertas de puentes, pisos industriales, revestimientos, entre otros.

Su presencia en el mercado ha permitido el mejoramiento de la calidad de las mismas, sus propiedades y comportamiento frente a deformaciones y esfuerzos. (Corcino, 2007)

Las fibras para reforzar el hormigón son clasificadas en estructurales en no estructurales, según su capacidad de mejorar la resistencia del hormigón.

Se denominan estructurales si dicho mejoramiento puede considerarse en el cálculo de la sección de concreto y no estructurales si esto no se cumple.

La influencia de las fibras en las propiedades del hormigón se presenta en la disminución de las fisuras que se presentan por retracción, la resistencia al impacto, abrasión e incluso fuego.

“Las fibras de refuerzo tienen formas distintas como rectas, onduladas, dentadas, entre otras. Otra variable es su sección, estas pueden ser circulares, rectangulares, ondulada, entre otras” (Baldenebro, 2015) (figura 4)

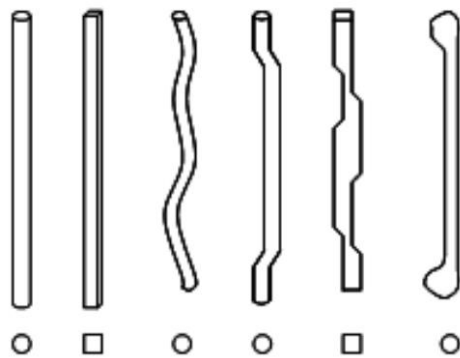


Figura 4 Formas de fibras.
Fuente: (Baldenebro, 2015)

(Baldenebro, 2015) indica que: “La sección transversal de las fibras de refuerzo depende principalmente del material usado y el proceso de fabricación”. Según las propiedades mecánicas se conoce la manera de empleo de las fibras, ya sea en túneles, vigas prefabricadas, uniones columna-viga, tableros de puentes, entre otros. Los elementos a los que se les han añadido fibras largas por lo regular mejoran sus propiedades mecánicas, en conjunto con un comportamiento anisotrópico que necesita de una compleja fabricación. Las fibras cortas aportan cualidades isotrópicas a los elementos en conjunto con aumento moderado de sus propiedades y fabricación similar a la de materiales convencionales. No obstante, el plástico

PET de botellas desechadas son utilizadas para realizar fibras con el fin de conseguir el mejoramiento que se obtiene de las fibras fabricadas en acero. (Guamán & Pinenla, 2019)

2.2.3.4.1 Fibras de acero

Una opción a la hora de reforzar el hormigón siempre serán las fibras de acero debido a su capacidad de mejora al comportamiento estructural del hormigón armado elaborado tradicionalmente. La distribución homogénea y distribución de las fibras en la mezcla del concreto permite la reducción de la fragilidad presente en el concreto, dando paso a la mejora de sus propiedades mecánicas. La forma en la que las fibras se distribuyen en la matriz de hormigón tiene mucha influencia, ya que cuando esta tiene una sola dirección y es paralela al esfuerzo de tracción que se le aplica es cuando se obtiene una mejora máxima y tiene menor impacto cuando estas son orientadas al azar y en las tres dimensiones. Sus formas más comunes son las que presentan ondulación y ganchos. Elaboradas con acero inoxidable. (Corcino, 2007)

2.2.3.4.2 Fibras de PET reciclado

El PET en forma de fibra, añadido a la matriz de hormigón posee beneficios desde su origen reciclado que comprende un bajo costo y un beneficio para el medio ambiente, dando un segundo uso a materiales de desecho también es conocido por su alto rendimiento al ser adicionado al concreto. En la presente investigación se lo elabora de forma semejante a las fibras comerciales. El PET luego de su utilización es mayoritariamente utilizado para producir piezas automóbiles. En el reciclaje, al disminuir los residuos, se utiliza tan solo 30% de la energía que se exige para producir resina virgen. Los componentes con refuerza de fibra de polímeros se caracterizan por fácil fabricación, bajo costo y superiores propiedades mecánicas. (Baldenebro, 2015). En sus propiedades mecánicas se encuentra su alta resistencia al desgaste debido a su estructura cristalina, esta aumenta la rigidez mucho más de la que resulta por simple orientación molecular, permite estabilidad dimensional del mismo incluso luego del procesamiento. (Guamán & Pinenla, 2019)

2.2.4 Concreto reforzado con fibras

Su implementación dentro del concreto tiene como objetivo que se forme un material tan diverso que puede ser considerado diferente por su esqueleto lítico que es disperso en la pasta de cemento en conjunto con el agente que refuerza siendo este un material fibroso de distinta constitución. De igual manera dotar al concreto con fibras con una adecuada resistencia a la tracción, homogéneamente distribuida dentro del concreto, hace que constituya una micro-armadura la cual muestra una extremada eficacia al contrarrestar el fenómeno de figuración por retracción y a la par brinda al concreto una ductilidad que puede llegar a ser considerada en la medida que la resistencia y la cantidad de las fibras sea elevado, confirmando así al concreto una gran tenacidad. (Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón)

Se conoce que muchas veces no se considera la resistencia a la tracción en los códigos de diseño puesto a que es de comportamiento frágil, sin embargo, al presentarse una mezcla fibroreforzada la tracción incrementa considerable para fines de diseño. Con ensayos sobre vigas se efectúa esta evaluación a lo largo del desarrollo de la presente investigación. (Carrillo & Rojas, 2017)

2.2.5 Plástico

Formado por polímeros de cadenas largas de átomos principalmente compuestos de carbono. Dentro de los elementos químicos contenidos también por los plásticos se tiene nitrógeno, azufre, oxígeno, azufre e hidrógeno, los comercializados tienen origen en la destilación de petróleo. (Guamán & Pinenla, 2019)

2.2.6 Propiedades Mecánicas Del PET

Luego de conocer su comportamiento y rendimiento existen varias formas de hacer uso de este material conociendo ya sus propiedades mecánicas. Su comportamiento en relación con la temperatura resulta inversamente proporcional, ya que estos se modifican ablandándose o endureciéndose.

Entre sus propiedades mecánicas se tienen las siguientes:

Tracción:

Diagramas de tensión-deformación.

Módulo de elasticidad inicial (E_0) en una o dos direcciones.

Deformación remanente.

Alargamiento de rotura y de fluencia.

Tracción bidimensional.

Resistencia a rotura por reventón.

Resistencia a compresión.

Varía desde 500 a 2.500 kg/cm²)

Resistencia a tracción.

Varía entre 350 a 550 kg/cm²

Su resistencia a la tracción es menor a la resistencia a compresión, sin embargo, en casos de filamentos extruidos se llega a cifras de 4500kg/cm².

Es aplicado en tuberías, botellas de bebidas y se destaca por su comportamiento en varios sistemas. Para construcciones civiles resulta interesante su implementación. Sus características mejorarían el comportamiento del concreto.

(Guamán & Pinenla, 2019)

2.2.7 Reciclaje del PET

En Ecuador la práctica del reciclaje de envases plásticos es común, existe la clasificación de basura en distintos lugares e incluso genera oportunidad económica a familias sin ingresos fijos y contribuyendo al medio ambiente. Por kilo de envases plásticos se cobraban 0.45 ctvs, un valor inferior al esfuerzo empleado. Luego de ello por botella se dan 0.02 de esa forma se incentiva a las personas a involucrarse en el reciclaje, alcanzando un nuevo precio de hasta 0.70ctvs por kilo. “Según el Ministerio del Ambiente, la implementación del impuesto que permitió el aumento del precio por kilo generó una recuperación de 2.006,60 millones de unidades de botellas en el 2013” (Guamán & Pinenla, 2019)

2.2.8 Empresas recicladoras de PET en Ecuador

FIBRAS NACIONALES S.A.

Biocycle S.A

Enkador

Intercia S.A

Recypet

2.2.8.1 Uso de PET en obras civiles

La implementación de PET en construcciones civiles no es nueva, se conoce que en anteriores investigaciones se ha utilizado este tipo de plástico. Debido a sus propiedades físicas y mecánicas, el ser un elemento apto para las especificaciones que se requieran, ya que, tiene la función de reducir notablemente la fisuración (como las fibras de acero). También ha sido una opción para elementos en mampostería en construcciones permitiendo reducción de costos finales en la obra civil. (Guamán & Pinenla, 2019)

2.2.9 Propiedades del TEREFALATO DE POLIETILENO (PET)

Se lo conoce por su resistencia, pureza y tenacidad. Según su orientación tiene resistencia química, debido a que tiene grados que dependen del peso molecular. Grado fibra son los tipos de PET que su peso molecular es menor, los que poseen medio se los conoce de grado película y los de mayor se llaman grado ingeniería. Este tipo de polímero no tiene la capacidad de estirarse, ni se afectado por ácidos, su alta resistencia al calor es capaz de absorber muy poca cantidad de agua, sus fibras son flexibles y fuerza. El alto punto de fusión facilita que esta pueda ser planchada, incluso resise bacterias y hongos.

Dentro de sus propiedades se tienen:

Se procesa mediante soplado, extrusión e inyección.

Puede usarse para la producción de botellas, láminas y piezas.

Gran resistencia al desgaste.

Buen coeficiente de deslizamiento.

Compatible con materiales barrera, permitiendo su uso en específicos mercados.

Biorentable

Cristalizable

Económico de acuerdo a su desempeño.

El material más reciclado.

Liviano

Apto para su contacto con alimentos.

Buenas propiedades mecánicas.

Buena calidad barrera a la humedad.

Tabla 6*Propiedades del Tereftalato de Polietileno (PET)*

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,34 – 1.39
Resistencia a la tensión	Mpa	59 – 72
Resistencia a la compresión	Mpa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ / °C	15.2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	1378 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3.65
Absorción de agua (24 h)	%	0.02
Velocidad de combustión	Mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Fuente: (Guamán & Pinenla, 2019)

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 Propiedades del hormigón en estado fresco

2.3.1.1 Consistencia

Capacidad máxima o mínima del concreto fresco para deformarse. Depende del agua agregada para el amasado, los tamaños de los áridos y su granulometría.

Mayoritariamente es medida mediante el ensayo del cono de Abrams. (Medina, 2021)

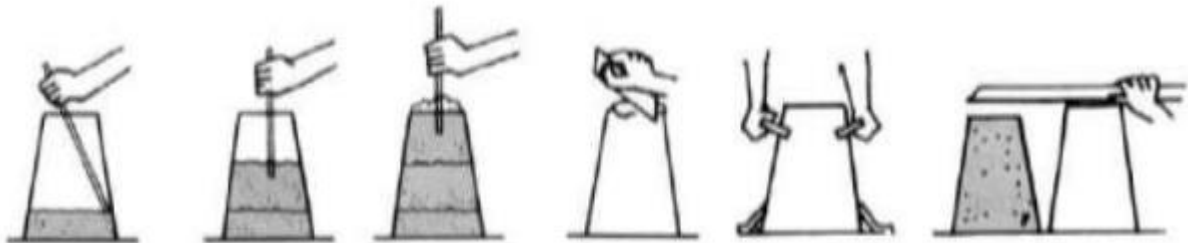


Gráfico 1 Procedimiento de medición de la consistencia.

Fuente: (Rodríguez, 2017)

2.3.1.2 Homogeneidad

Depende de la distribución de los componentes del concreto dentro de su masa. Necesita de un correcto amasado, y cuidadoso vertido para así evitar la segregación. (Blázquez, 2012) También es utilizado el cono de Abrams para conocer la homogeneidad de la mezcla.

2.3.1.3 Trabajabilidad

Se lo conoce como el trabajo para contrarrestar la fricción que se encuentra entre los componentes del concreto. Es la capacidad para ser compactado y colocado de forma que no se genere segregación (Blázquez, 2012). Esta propiedad depende principalmente de la cantidad de agua en el amasado, granulometría de los agregados siendo más dóciles con mayor cantidad de arena, la forma de los áridos ya que cuando estos son redondeados existe una mayor docilidad o trabajabilidad, lo que también influye en esta propiedad es el contenido de cemento ya que según su finura y cantidad aumenta la docilidad, y por último los aditivos plastificantes.

2.3.1.4 Exudación

Forma de segregación donde el agua que se encuentra en el mezclado se eleva a la superficie cuando este recién es colocado. Esto se presenta cuando los agregados sólidos no son capaces de retener toda el agua cuando este se asienta durante su fraguado. (Toirac, 2014)

2.3.2 Propiedades del hormigón en estado endurecido

2.3.2.1 Densidad

Su definición es la relación entre la masa por unidad de volumen.

Depende de la densidad real y de la proporción en que participan cada uno de los diferentes materiales constituyentes del hormigón. Para los hormigones convencionales, formados por materiales granulares provenientes de rocas no mineralizadas de la corteza terrestre su valor oscila entre 2.35 y 2.55 kg/dm. (Silva, 2014)

2.3.2.2 Resistencia a compresión

Característica mecánica fundamental para el hormigón endurecido, esta es determinada por medio un ensayo de probetas cilíndricas o cúbicas. De preferencia 15 o 20cm de arista y los cilindros de 15cm de diámetro con 30 cm de altura, el esfuerzo expresado en MPa o kg/cm².

Se colocan los cilindros en la prensa hidráulica.



Figura 5 Prensa hidráulica utilizada para evaluar la resistencia a compresión del hormigón.
Elaborado por: Cobos (2021)

Este ensayo debe ser realizado con las normas NTE INEN 1574:2010 donde se detallan:

Velocidad en la que se aplica la carga

Estado de las superficies

Centrado de la carga

El valor hallado de carga máxima sobre la probeta cilíndrica es utilizado para hallar la resistencia estimada del mismo, siendo la siguiente fórmula de utilidad:

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Donde:

$f'c$. Es la resistencia a compresión simple del espécimen de hormigón.

F. Es la fuerza aplicada o carga máxima empleada por la prensa.

A. Área de sección transversal de la probeta cilíndrica.

2.3.2.3 Resistencia a Flexión

Valor indirecto de la resistencia a la tracción del hormigón, donde se halla el módulo de ruptura por medio de ensayos a vigas donde se ejercen cargas a tercios de su longitud como se establece en la norma ASTM C78, en el punto medio, bajo la norma ASTM C293. (Moya & Cando, 2016)

2.3.2.4 Resistencia a Tracción

La presencia de grietas de lado de tracción que son sometidos a flexión tiene relación directa a la resistencia a tracción que posee el hormigón armado. (Chacón, 2012)

Para conocer los valores en los ensayos con prensa hidráulica se utiliza la siguiente fórmula:

$$Ti = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot D}$$

Donde:

P. Es la carga ejercida sobre la probeta cilíndrica.

L. Es el largo de la probeta.

D. Es el diámetro de la probeta.

2.4 MARCO LEGAL

El presente trabajo de investigación del comparativo de las propiedades mecánicas del concreto con fibras de PET reciclado y concreto con fibras de acero respalda el diseño de hormigón, selección de materiales y ensayos de laboratorio en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) y la norma internacional ASTM (American Society for Testing and Materials) las mismas detalladas a continuación:

NTE INEN 696 Análisis granulométrico de áridos, NTE INEN 695 Agregados

NTE INEN 1 573;2010 Resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos.

NTE INEN 2648;2013 Resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de hormigón.

ASTM C496/C496M-11 Resistencia a la tracción indirecta en especímenes cilíndricos de hormigón

NTE INEN 1 576;2011 Elaboración y curado de cilindros. American Society for Testing and Materials (ASTM).

ASTM C136-05 Ensayo para determinar granulométricamente agregados finos y gruesos, Código American Concrete Institute (ACI).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Metodología

Según (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014), se describe la presente investigación como experimental y descriptiva debido a que al recopilar la información de estos dos tipos de fibra y realizar ensayos de dichos agregados se elaboraría la ficha comparativa. Se lleva a cabo la metodología de forma que permita la ejecución de los procesos investigativos de carácter académico, de forma que comprenda método, técnicas e instrumentos que indique la investigación científica para poder llegar a los alcances propuestos por el investigador.

El presente trabajo de investigación contiene cuatro importantes pasos a seguir, los cuales son:

1. Recolectar la información proveniente de investigaciones realizadas por distintos autores respecto al hormigón fibro-reforzado con fibras PET recicladas y fibras de acero para acceder a datos relacionados con el comportamiento mecánico del mismo.
2. Obtención de resultados experimentales mediante ensayos de laboratorio que amplíen la información recopilada, sometiendo así a los especímenes de hormigón a condiciones similares para obtener comparaciones fieles del comportamiento de este bajo los dos tipos de fibras.
3. Análisis y evaluación de datos hallados.
4. Elaboración de una ficha comparativa, sintetizando la información obtenida durante el desarrollo de la investigación.

3.2 Tipo de investigación

Acorde al tipo de investigación se hace referencia al modelo con el que será desarrollado un proyecto de investigación, dentro del cual se presentan grupos que logran clasificar para así definir necesidades y objetivos en la investigación científica.

Según el nivel de profundización a ser utilizados en este proyecto será descriptivo comparativo. Considerando que el tema de reforzar al hormigón con fibras dispersas de acero y PET reciclado, utilizando los agregados de nuestro medio ha sido poco analizado, pero que con el sustento técnico de los ensayos que se realizaran se logrará determinar la influencia que tendrá sobre las propiedades mecánicas del hormigón.

Será descriptivo porque a más de tener conocimiento acerca de la calidad de los diferentes agregados propios utilizados para la fabricación de concreto, se contará con una amplia información acerca del comportamiento que tendrá el hormigón al incorporar en su preparación diferentes porcentajes de fibra de acero y fibras de PET reciclado. (Tipantasig, 2015). Es fundamental conocer el estado y condiciones reales del tema a tratar, es por ello que se hace uso de la investigación de tipo descriptiva que permite vincularse con la investigación de tipo analítica con el objetivo de permitir comprensión y aclaración a profundidad sobre el comportamiento mecánico del hormigón.

Según el diseño para responder al problema planteado será una investigación documental ya que será un proceso basado el análisis de datos que se obtendrán a partir de ensayos de los diversos materiales, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas.

3.3 Enfoque de la investigación

El enfoque del presente estudio es de tipo cuantitativo, debido a que se fundamenta en el análisis de datos que se obtendrán a partir de ensayos de los diversos materiales para determinar el comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero y su influencia en las propiedades mecánicas (Tipantasig, 2015). El proceso de esta metodología obedece a la búsqueda de datos de una serie de sucesos ordenados que, en tanto son consecutivos, no es

posible la omisión de pasos, no obstante, pueden ser reestablecidos dentro del estudio. Naciendo así de la necesidad de investigación de una idea planteada, donde luego del procesamiento de datos estos son tributados para obedecer así a los objetivos y principales formulaciones creadas para el desarrollo del estudio. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

De acuerdo con el marco metodológico, la presente investigación es desarrollada bajo los lineamientos de una investigación experimental, elaborando especímenes de hormigón cilíndricos, así como vigas con la adición de fibras de acero y fibras de polietileno tereftalato (PET), con el objetivo de conocer las características mecánicas del hormigón con la finalidad de elaborar una ficha comparativa como propuesta.

3.4 Técnicas e instrumentos

3.4.1 Técnica

Las técnicas utilizadas en la presente investigación tienen como objeto recopilar información para su posterior análisis mediante los instrumentos que se ajusten al estudio. Su metodología corresponde a la investigación cuantitativa de tipo experimental en el que se obtendrán datos según los resultados del estudio.

Los siguientes ensayos son realizados bajo los lineamientos de la norma ASTM (American Society for Testing and Materials)

Ensayo al hormigón de resistencia a la compresión ASTM C39

Ensayo al hormigón de resistencia a la tracción indirecta ASTM C496

3.4.2 Instrumentos

Los instrumentos con los que se realizarán las mencionadas técnicas de recolección de datos son los equipos del laboratorio como la prensa para rotura de cilindros, balanzas, horno y tamices que permitan la realización de los ensayos como recolección de datos experimentales.

3.5 Población

Según el texto “Metodología de la investigación”, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014) se establece como enfoque cuantitativo la forma generalizada de los datos obtenidos en

un grupo, conocido como muestra, dentro de una comunidad mucho más grande, conocida como población. Haciendo uso de la información proporcionada por la INEC, se conoce que hasta el 2018, los resultados de la ENED (Encuesta Nacional de Edificaciones) dan a conocer la variable “permisos de construcción”, es por ello que, en la presente investigación se identifica como población a las empresas y al grupo de profesionales que se dedican a la construcción. Se focaliza a los permisos de construcción generados en el 2018 en el cantón Guayaquil. Para ello se hace uso de los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos en la Encuesta de Edificaciones que corresponde a 5.233 permisos en edificaciones.

“En el 2018, de los 35.639 potenciales edificaciones a construir, la mayor parte (25,7%) se concentró en la provincia del Guayas” (INEC Instituto nacional de estadística y censos, 2018)

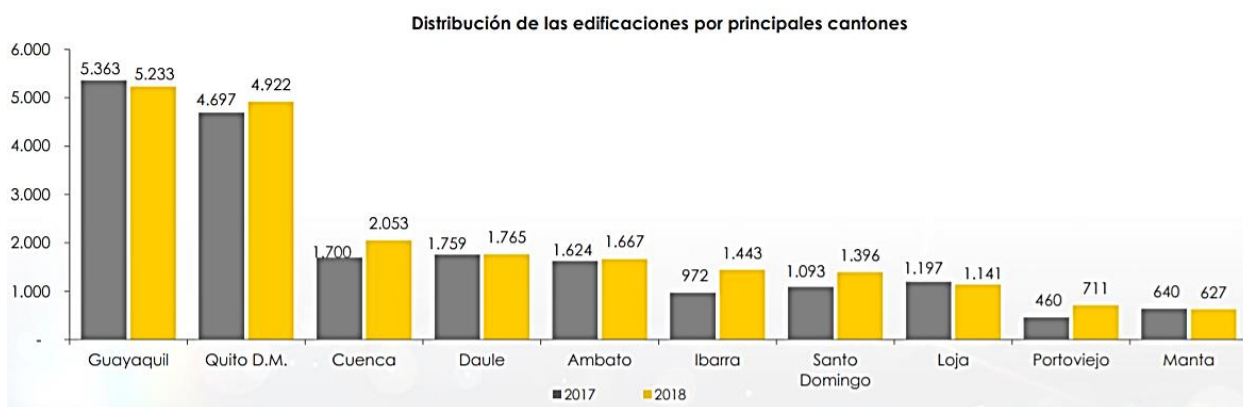


Gráfico 2: *Distribución de las edificaciones por principales cantones.*

Fuente: (INEC Instituto nacional de estadística y censos, 2018)

3.6 Muestra

Conforme con el texto “Metodología de la Investigación” de los autores (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014) afirma que el campo conocido como muestra resulta de la población destinada para el estudio, es decir que es un sistema en donde piezas son integradas de un grupo llamado población. Para determinar la muestra, se hace uso del dato de población que es de 9.171 permisos de construcción conocidos en el cantón Guayaquil en el año 2018, para realizar el cálculo de la muestra mediante la siguiente fórmula:

Nivel_conf	Valor Z
90%	1,65
95%	1,96
99%	2,58

$$n = \frac{NZ_{\alpha/2}^2 PQ}{(N-1)e^2 + Z_{\alpha/2}^2 PQ}$$

$$Z_{\alpha/2}^2 = 1.96$$

$$e^2 = 0.0025$$

Tabla 7

Cálculo de muestra.

DATOS	
NIVEL DE CONFIANZA	
95%	
1,96	
3,8416	
TOTAL DE PERSONAL	
N=	5233
P=	0,5
Q=	0,5
ERROR (e)=	5%
TAMAÑO MUESTRA	
358	

Elaborado por: Cobos (2021)

CAPÍTULO IV

PROPUESTA

4.1 Título de la propuesta

Elaboración de un análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto con fibras de PET reciclado y concreto con fibras de acero.

4. 2 Desarrollo de la propuesta

Como aporte al conocimiento sobre la tecnología del hormigón, teniendo como antecedente datos de los trabajos previos realizados por investigadores sobre las fibras de PET reciclado y de acero, en este capítulo se plasma los pasos realizados para conseguir los datos experimentales, sometiendo el hormigón tradicional, hormigón con fibras de acero y hormigón con fibras de PET reciclado a las mismas condiciones para así lograr tener una justa comparación para finalizar la propuesta con una ficha comparativa que permita conocer el comportamiento del hormigón de manera sintetizada.

Para la realización de los ensayos de laboratorio, fundamentales para la obtención de datos experimentales, se parte de la caracterización de los agregados puesto que, el hormigón, siendo un material compuesto, influyen los tipos de componentes añadidos a la mezcla en sus diversas características.

Se inicia con la caracterización de los agregados del hormigón, es por esto por lo que mediante un ensayo granulométrico realizado en el laboratorio “ING. ARNOLDO RUFILLI” de la Universidad de Guayaquil, donde también se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión normalizado de especímenes cilíndricos de hormigón bajo la norma ASTM C39 y ensayos para resistencia a la tracción indirecta bajo la norma ASTM C496.

Se inicia con los ensayos del agregado fino y agregado grueso utilizados para la realización de los especímenes de hormigón para determinar sus características físicas y mecánicas. (Anexo 1 y anexo 2)

Para la selección de la fibra de acero, se conoce que según la ACI 544 IR-96 la capacidad que posee el filamento de adherirse con el hormigón está sujeto a la relación de esbeltez, ya que, mientras sea mayor se consigue mejor adherencia de las fibras al concreto. Dentro de estos se tiene conocimiento de los valores más usados dentro del acero, (Silva, 2014) menciona en su trabajo investigativo: “Los valores típicos de esbeltez de las fibras de acero comerciales van de 20 a 100, mientras que la longitud de las fibras está comprendida entre 0.25 y 3 pulgadas (6.4 mm – 76 mm).”

Es importante conocer que para seleccionar la longitud de los filamentos se aconseja comprender mínimo el doble del árido mayor en tamaño, la longitud de esta debe ser la necesaria para proveer de la adherencia justa para la matriz de hormigón y así evitar arrancamientos, es por esto por lo que normalmente utilizar longitudes de 2,5 a 3 veces el tamaño del árido.

En los resultados granulométricos del agregado grueso se muestra el tamiz que corresponde al tamaño máximo nominal el 3/8” (Anexo 2), lo cual se tomó en consideración para la las dimensiones de las fibras empleadas.

4.2.1 Elaboración de fibras de PET reciclado

Para las dimensiones de la fibra de plástico se consideró el estudio de (Shamskia, 2012) donde concluye que las fibras con 40mm obtienen la mejor estabilidad en el concreto fresco y las fibras largas conducen a un hormigón inestable en estado fresco.

Tabla 8

Proceso de elaboración de fibras de PET reciclado.

Descripción	Fotografía
<p>El primer paso es recolectar una buena cantidad de botellas de PET reciclado.</p>	 A photograph showing two bags of collected PET bottles. On the left is a full black plastic bag. On the right is a white sack with a colorful logo, also filled with clear plastic bottles.
<p>Luego de adquirir los envases se retiran las etiquetas de todas las botellas para luego proceder a lavarlas con agua con el objetivo de remover material orgánico que haya quedado.</p>	 Two photographs illustrating the cleaning process. The top photo shows a person's hands peeling a white label off a clear PET bottle. The bottom photo shows a large pile of many clear PET bottles on a tiled floor, with some black plastic bags nearby, indicating the collection of cleaned bottles.

Se procede a cortar las bases de las botellas para obtener el cuerpo de esta.






Para la elaboración de las fibras solo se utiliza el cuerpo liso de cada botella.



Cada cuerpo de botella se pasa por un cortador artesanal que permita obtener cuerdas de 7mm. En este caso se elaboró un cortador de madera con una cuchilla de estilete.



En la segunda imagen se presentan las cuerdas elaboradas de PET

	
<p>Una vez convertidas las botellas en cuerdas se procede a cortar las cuerdas a cada 4mm. Este proceso se hizo manualmente con tijera y regla.</p>	 

Elaborado por: Cobos (2021)

Respecto al peso específico del PET, afirma (Guamán & Pinenla, 2019) luego de ser ensayadas con gasolina debido a que el agua no se podía utilizar por tratarse de fibras PET, se obtuvo 1.342gr/cm³.

Tabla 9

Peso específico para fibras de PET.

Fibras PET			
Peso Específico			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Masa del recipiente + fibras recicladas PET	440.1	450.5	708.7
Masa del recipiente (gr)	289.9	289.9	289.9
Masa de las fibras recicladas (gr)	150.2	160.6	418.8
Masa canastilla sumergida en gasolina (gr)	718.2	718.2	718.2
Masa canastilla + fibras sumergida en gasolina	786.5	789.5	905.5
Masa de las fibras recicladas PET en gasolina	68.3	71.3	187.3
Volumen desalojado (gr)	110.676	120.676	312.838
Peso específico (gr/cm ³)	1.357	1.331	1.339
Peso específico promedio (gr/cm ³)	1.342		

Fuente: (Guamán & Pinenla, 2019)

4.2.2 Mezcla de hormigón

Se requiere cumplir principios de ingeniería civil como la resistencia, seguridad y durabilidad, es por ello por lo que es necesario seguir el diseño de mezcla de hormigón. Se debe escoger los elementos que conforman la matriz de hormigón, de acuerdo con sus características y propiedades que sean acorde al diseño especificado. Para la resistencia que se elabora en la presente investigación es de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con dosificación de 1:2:3.



Figura 6 Agregado grueso
Elaborado por: Cobos (2021)



Figura 7 Agregado fino
Elaborado por: Cobos (2021)

4.2.3 Selección de porcentajes óptimos de fibras para especímenes de hormigón

En los porcentajes de fibra de PET a analizar se considera el estudio de (Shamskia, 2012) donde se evidencia que la mayor resistencia a la compresión que se obtuvo fue con la adición de 0.5%.

Respecto a las fibras de acero, según (Silva, 2014) porcentaje óptimo de adición de estas fibras de acero para la resistencia a compresión es de 0.62%, estos dos porcentajes de fibras se hallan dentro de la norma ACI 544-1R32 (Report on Fiber Reinforced Concrete), lo que significa que se encuentra de acuerdo con las delimitaciones establecidas para la misma.

Con base a la bibliografía mencionada se seleccionan porcentajes de 0.5% y 1% reemplazando parcialmente el agregado grueso.

4.2.4 Selección de fibras de acero

En el estudio experimental se utilizan grapas de 25 x 3,80mm de acero para alambre de púas como fibras de acero para reforzamiento de hormigón al ser estas de forma similar a las fibras de acero comerciales y con dimensiones análogas a las de las fibras elaboradas de PET reciclado.



Figura 8 *Fibras de acero.*
Elaborado por: Cobos (2021)

4.2.5 Elaboración de especímenes cilíndricos de concreto

Luego de establecer su dosificación se elaboran los cilindros de hormigón con las mezclas establecidas donde se realiza un muestreo con los porcentajes 0.5% y 1% de fibras de acero y de PET, para posteriormente proceder a realizar las roturas de estos en los días 7, 14 y 28 en un total de 35 cilindros con moldes de 10x20cm. Se utilizan moldes bajo las normas NTE INEN 1576 y la norma internacional ASTM C31, con dimensiones de 100 mm x 200 mm, donde fue vertido hormigón con fibras de acero en porcentajes de 0.5% y 1% así mismo hormigón con fibras de PET reciclado con porcentajes de 0.5% y 1% y por último un hormigón sin fibras de acero añadidas.

Dentro del proceso se procede a obtener los datos de asentamiento, regido bajo la norma INEN 1578 para la determinación del revenimiento, la cual consta de colocar la muestra de hormigón recién mezclado dentro de un molde de cono trocado y compactar con varilla en tres capas. Luego se levanta el molde dejando así que la mezcla de hormigón se asiente. Por

último, se mide la distancia entre la superficie de este, con la que obtuvo la mezcla originalmente, este desplazamiento se conoce como el revenimiento del hormigón.

Tabla 10

Tipos de construcción según asentamiento.

Tipos de construcción	Asentamiento (cm)	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimientos y zapatas.	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de subestructura sencillos.	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados.	10.0	2.5
Columnas para edificios.	10.0	2.5
Pavimentos y losas.	7.5	2.5
Concreto masivo.	7.5	2.5

Fuente: (ACI Committee, 1991).



Figura 9 *Ensayo de asentamiento del concreto.*

Elaborado por: Cobos (2021)

El promedio de los resultados obtenidos del ensayo de los diferentes diseños se presenta a continuación:

Tabla 11

Resultados de asentamientos de los hormigones

Tipo de hormigón $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$	Asentamiento (cm)
Hormigón convencional sin fibras	5
Hormigón con fibras de PET reciclado 0.5%	2.5
Hormigón con fibras de PET reciclado 1%	1.5
Hormigón con fibras de acero 0.5%	2
Hormigón con fibras de acero 1%	1.5

Elaborado por: Cobos (2021)

El revenimiento o asentamiento tiene relación con la trabajabilidad de la mezcla de hormigón, lo que significa la facilidad y homogeneidad con la que se coloca el concreto en una estructura, sin vacíos, fácil de cubrir la armadura y de fácil compactación.

El proceso de elaboración de los especímenes cilíndricos inicia con el llenado de concreto fresco previamente elaborado y posteriormente compactar en capas con 25 golpes con la varilla de compactación de diámetro $10 + 2 \text{ mm}$. Luego, se procede a golpear ligeramente con el mazo de goma para eliminar burbujas de aire de la mezcla y se termina enrasando con la varilla de $3/8''$.



Figura 10 *Proceso de elaboración de probetas cilíndricas.*

Elaborado por: Cobos (2021)

Luego de su fraguado se desencofran los cilindros para situarlos en la cámara de curado en agua potable que obedece a la norma NTE INEN 2528 y la norma internacional ASTM C 511.



Figura 11 *Probetas cilíndricas.*
Elaborado por: Cobos (2021)

Después de 24 horas del hormigonado, las probetas se desmoldan con cuidado para evitar daños tanto del molde como del cilindro de hormigón, luego se procede a limpiar la superficie para escribir el tipo de hormigón para su fácil identificación.

Después del proceso descrito se transportan con cuidado a la cámara de curado a una temperatura de 20°C de forma que eviten el contacto entre sí.

Los especímenes se mantienen dentro hasta su utilización para el ensayo respectivo.



Figura 12 *Curado de cilindros de hormigón.*
Elaborado por: Cobos (2021)



Figura 13 Registro de masa previo a la rotura de la probeta.
Elaborado por: Cobos (2021)

4.2.6 Ejecución y resultados de ensayos

El ensayo de compresión simple de los especímenes de hormigón para conocer la resistencia del hormigón según el porcentaje y el tipo de fibra tiene como objetivo de conocer el comportamiento mecánico del hormigón según su diseño para una resistencia de 210 kg/cm².

Las roturas deben obedecer a la normativa NTE INEN1573 y la norma internacional ASTM C 39, que trata de ejercer fuerza axial sobre el espécimen de hormigón hasta que este falle. Cada uno de los cilindros tienen dimensiones de 100 mm de diámetro y con altura de 200 mm, con dosificaciones de 0.5% y 1% de fibras de PET reciclado y fibras de acero para los días 7, 14 y 28, lo que resultan 28 cilindros con fibras y 7 de hormigón tradicional.

El ensayo de tracción indirecta, también conocido como ensayo brasileño se realizó en la prensa hidráulica para conocer la resistencia de los hormigones reforzados con fibras, el mismo que consiste en someter los especímenes de 28 días de edad a compresión diametral generando así una carga uniforme por líneas generatrices opuestas hasta la falla de la probeta cilíndrica.



Figura 14 *Ensayo a tracción del hormigón.*
Elaborado por: Cobos (2021)

Respecto al ensayo a compresión simple, la prensa hidráulica ejerce la carga axial en cada cilindro sobre el área circular de 78.54 cm^2 a velocidad constante de 0.25 MPa/s teniendo una curva de esfuerzo-deformación sin contar con variaciones que puedan alterar los resultados del ensayo.



Figura 15 *Ensayo a compresión del hormigón.*
Elaborado por: Cobos (2021)

Tabla 12

Resultados de ensayo a compresión en cilindros de hormigón con el 0.5% de fibras de PET reciclado.

Hormigón con el 0.5% de fibras PET recicladas.	# CILINDRO	F'c	FECHA DE TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD Días	MASA (g)	CARGA MÁXIMA (KG)	RESISTENCIA KG/CM2
	1	210	16/08/21	23/08/21	7	4134,0	8.500	108,2
	2	210	16/08/21	23/08/21	7	4059,7	8.150	103,8
	3	210	16/08/21	30/08/21	14	4073,6	9.750	124,1
	4	210	16/08/21	30/08/21	14	3686,3	9.150	116,5
	5	210	16/08/21	13/08/21	28	4143,0	11.800	150,2
	6	210	16/08/21	13/08/21	28	3759,0	12.000	152,8

Elaborado por: Cobos (2021)

Tabla 13

Resultados de ensayo a compresión en cilindros de hormigón con el 1.0% de fibras de PET reciclado.

Hormigón con el 1.0 % de fibras PET recicladas	# CILINDRO	F'c	FECHA DE TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	MASA (g)	CARGA MÁXIMA (KG)	RESISTENCIA KG/CM2
	1	210	16/08/21	23/08/21	7	3552.3	6.700	85,3
	2	210	16/08/21	23/08/21	7	3617.8	6.650	84,7
	3	210	16/08/21	30/08/21	14	3527,4	7.350	93,6
	4	210	16/08/21	30/08/21	14	4031,6	7.450	94,9
	5	210	16/08/21	13/08/21	28	4035,8	9.700	123,5
	6	210	16/08/21	13/08/21	28	3979,7	8.500	108,2

Elaborado por: Cobos (2021)

Tabla 14

Resultados de ensayo a compresión en cilindros de hormigón con el 0.5% de fibras de acero.

Hormigón con el 0.5% de fibras de acero.	# CILINDRO	F'c kg/cm2	FECHA DE TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD	MASA (g)	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA KG/CM2
	1	210	16/08/21	23/08/21	7	3873.2	10.750	136,9
	2	210	16/08/21	23/08/21	7	4284.1	12.050	153,4
	3	210	16/08/21	30/08/21	14	4284,5	14.250	181,4
	4	210	16/08/21	30/08/21	14	3880,6	14.100	179,5
	5	210	16/08/21	13/08/21	28	4284,4	18.500	235,5
	6	210	16/08/21	13/08/21	28	4300,5	17.200	219,0

Elaborado por: Cobos (2021)

Tabla 15

Resultados de ensayo a compresión en cilindros de hormigón con el 1.0% de fibras de acero.

Hormigón con el 1.0 % de fibras de acero.	# CILINDRO	F'c	FECHA DE TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	MASA (g)	CARGA MÁXIMA (KG)	RESISTENCIA KG/CM2
	1	210	16/08/21	23/08/21	7	4306,7	11.950	152,2
	2	210	16/08/21	23/08/21	7	4067,8	11.300	143,9
	3	210	16/08/21	30/08/21	14	4288,7	13.950	177,6
	4	210	16/08/21	30/08/21	14	4331,2	13.700	174,4
	5	210	16/08/21	13/08/21	28	4344,5	15.800	201,2
	6	210	16/08/21	13/08/21	28	3867,7	16.100	205,0

Elaborado por: Cobos (2021)

Tabla 16

Resultados de ensayo a compresión en cilindros de hormigón sin fibras.

Hormigón tradicional sin fibras.	# CILINDRO	F'c (kg/cm2)	FECHA DE TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	MASA (g)	CARGA MÁXIMA (KG)	RESISTENCIA KG/CM2
	1	210	18/08/21	25/08/21	7	3703,4	11.050	140,7
	2	210	18/08/21	25/08/21	7	3755,3	10.450	133,1
	3	210	18/08/21	01/09/21	14	3723,3	13.950	177,6
	4	210	18/08/21	01/09/21	14	3763,2	14.050	178,9
	5	210	18/08/21	15/09/21	28	3769,4	17.900	228,0
	6	210	18/08/21	15/09/21	28	3774,4	17.400	221,5

Elaborado por: Cobos (2021)

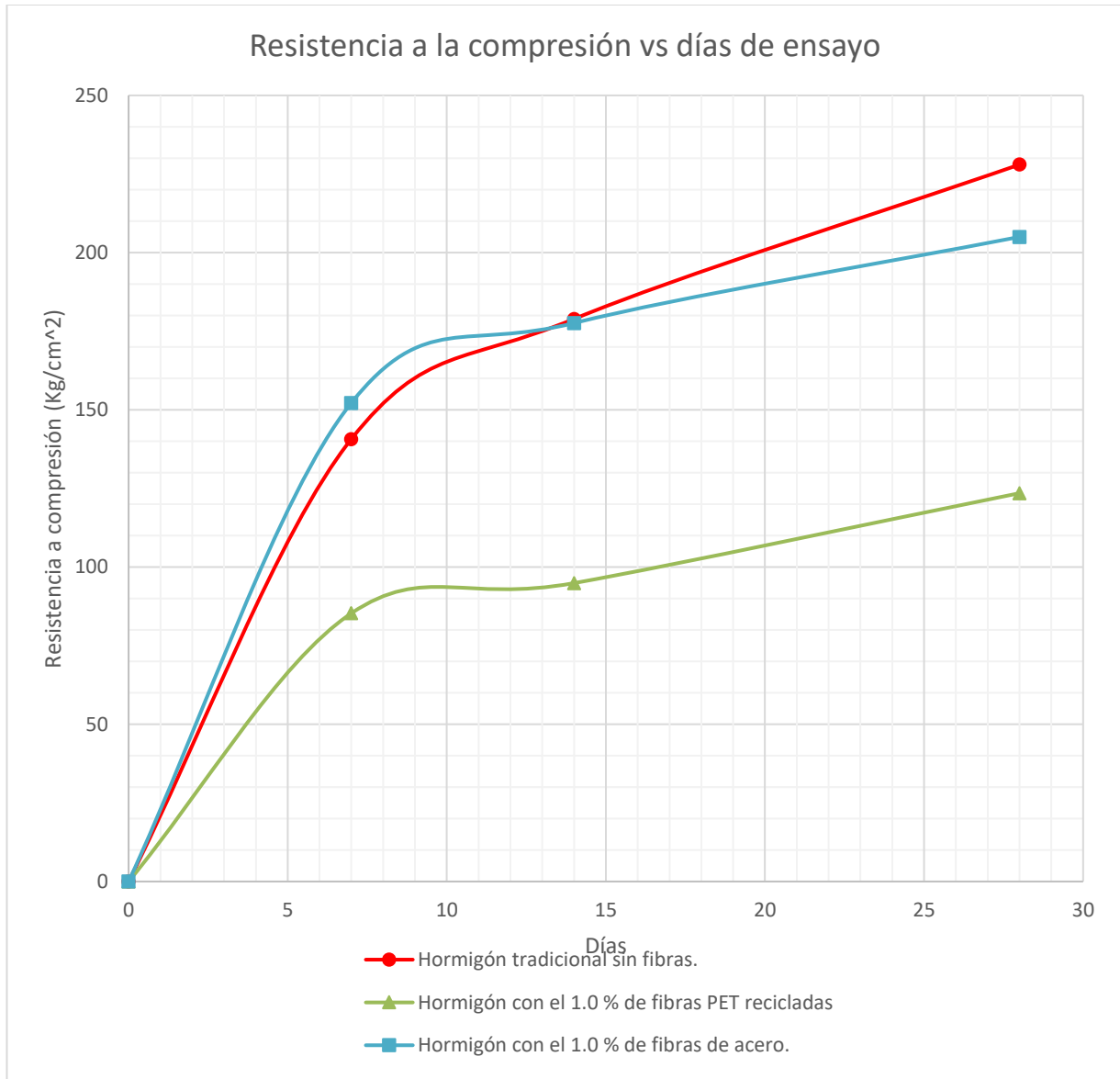


Gráfico 3 Resistencia a compresión vs. días de ensayo de especímenes con el 1.0% de fibras y hormigón sin fibras
Elaborado por: Cobos (2021)

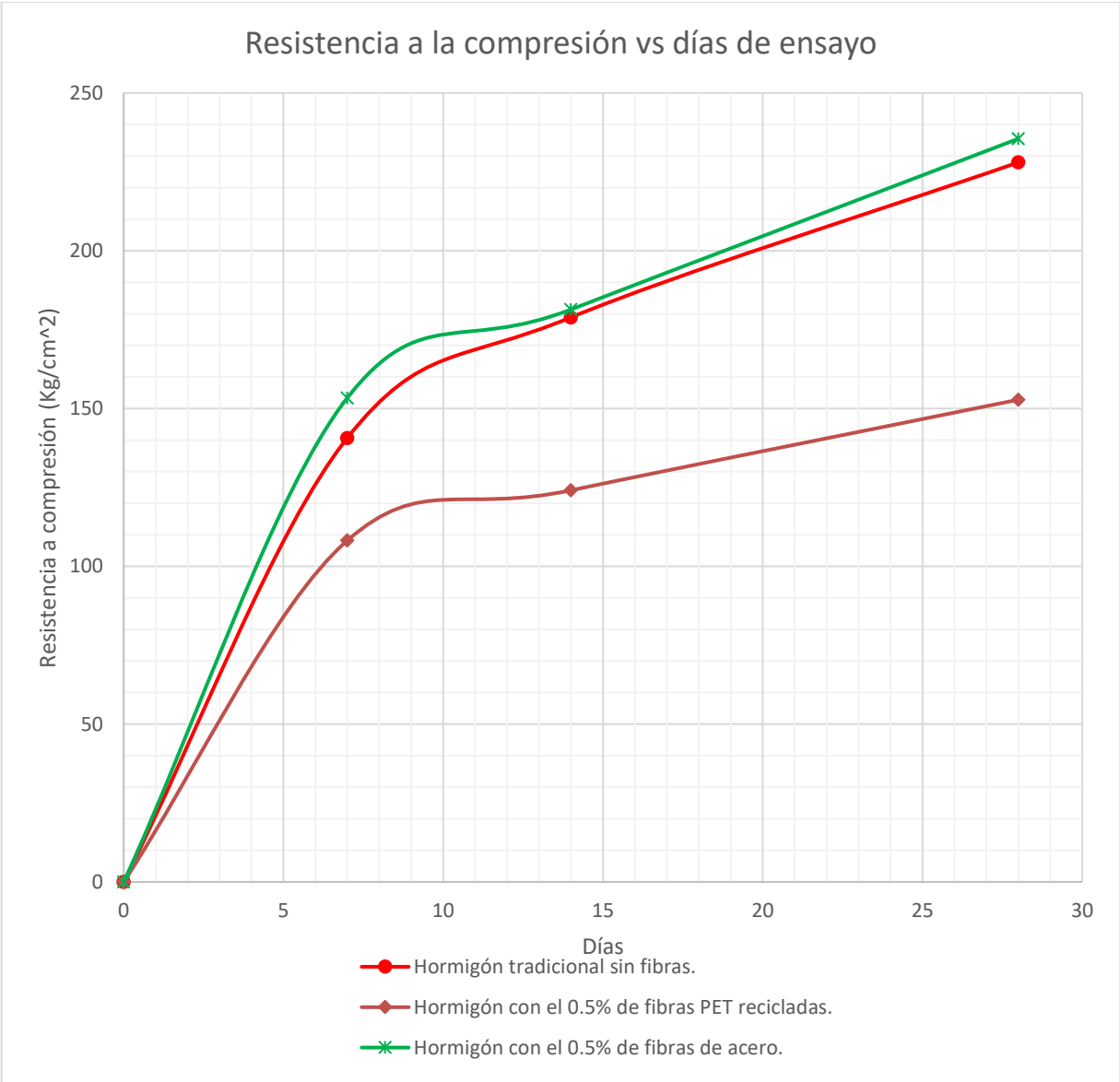


Gráfico 4 Resistencia a compresión vs. días de ensayo de especímenes con el 0.5% de fibras y hormigón sin fibras.
Elaborado por: Cobos (2021)

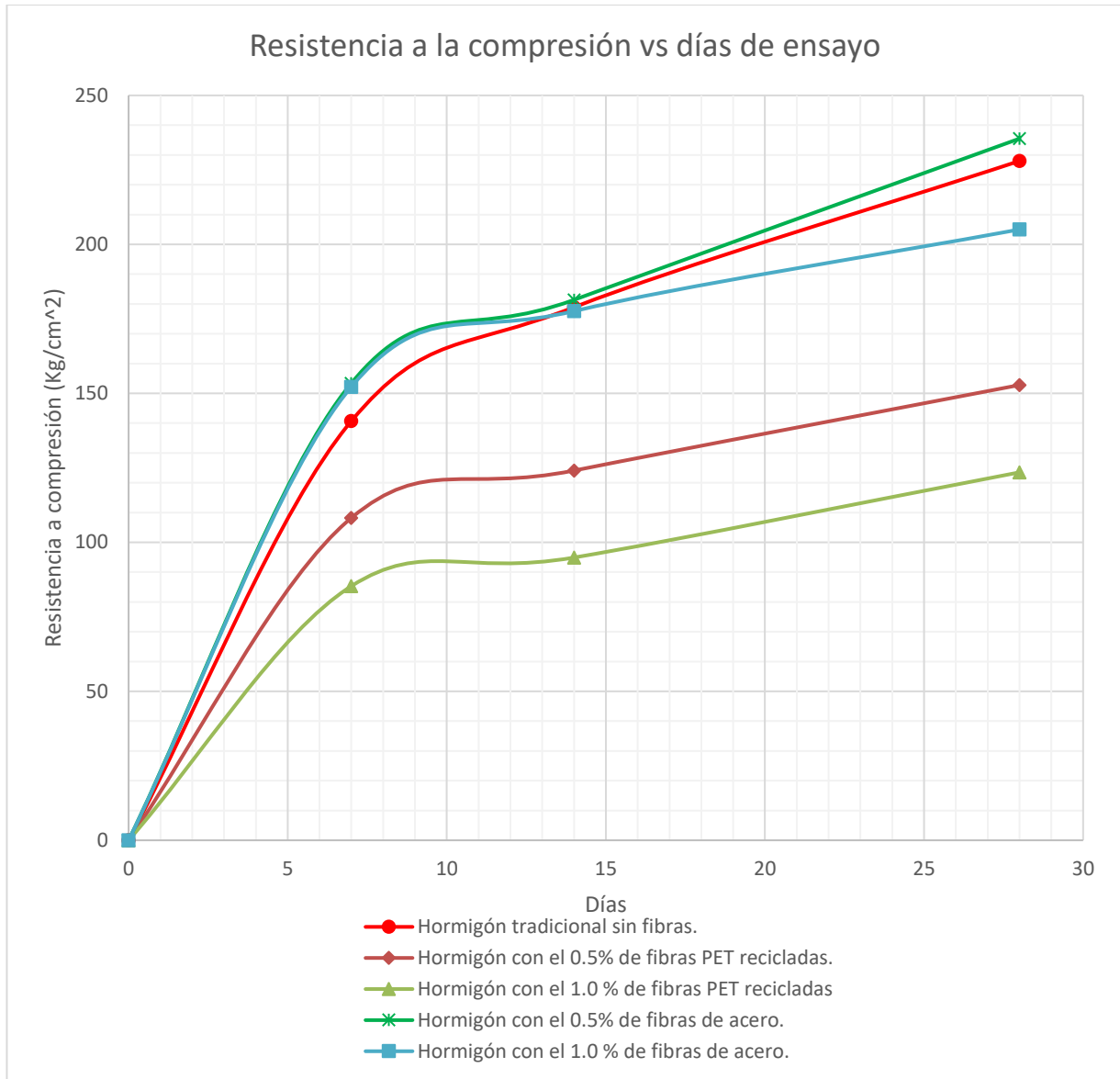


Gráfico 5 Resistencia a compresión vs días de ensayo.
Elaborado por: Cobos (2021)

Tabla 17*Resultados de ensayo a tracción indirecta.*

Elemento	Fecha de toma	Fecha de rotura	Edad (días)	MASA (g)	Carga máxima (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
Hormigón con el 0.5% de fibras PET recicladas.	16/08/21	13/08/21	28	3759,0	8000	25,5
Hormigón con el 1.0 % de fibras PET recicladas	16/08/21	13/08/21	28	3951,1	7500	23,9
Hormigón con el 0.5% de fibras de acero.	16/08/21	13/08/21	28	3860,8	6100	19,41
Hormigón con el 1.0 % de fibras de acero.	16/08/21	13/08/21	28	4315,5	8000	25,5
Hormigón tradicional sin fibras.	18/08/21	15/09/21	28	3741,6	9450	30,1

Elaborado por: Cobos (2021)

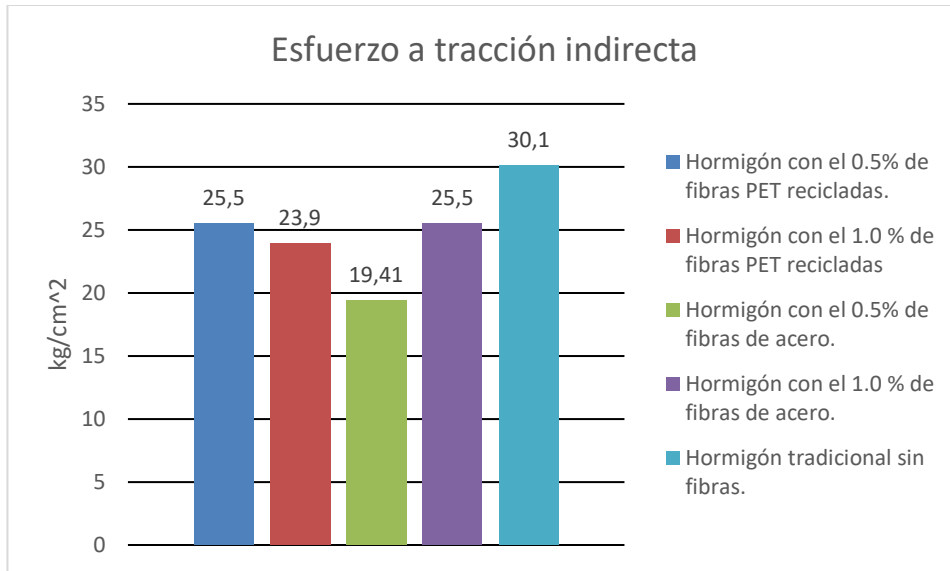


Gráfico 6 Análisis comparativo de esfuerzo a tracción indirecta.
 Elaborado por: Cobos (2021)

Tabla 18

Ficha comparativa del comportamiento mecánico de un hormigón con fibras PET reciclado y fibras de acero.

Ficha Comparativa															
Tipo	Hormigón con fibras de PET reciclado						Hormigón con fibras de acero						Hormigón sin fibras		
Ensayo Compresión Simple															
%	0.5%			0.1%			0.5%			0.1%					
Días	7	14	28	7	14	28	7	14	28	7	14	28	7	14	28
Kg	8.500	9.750	12.000	6.700	7.450	9.700	12.050	14.250	18.500	11.950	13.950	16.100	11.050	14.050	17.900
Kg/cm ²	108,2	124,1	152,8	85,3	94,9	123,5	153,4	181,4	235,5	152,2	177,6	205	140,7	178,9	228
Tracción Indirecta															
Kg			8.000			7.500			6.100			8.000			9.450
Kg/cm ²			25,5			23,9			19,41			25,5			30,1

Elaborado por: Cobos (2021)

4.3 Análisis de resultados

Se evidencia un aumento o disminución de resistencia a la compresión no solo según el tipo de fibra, sino además por el porcentaje que se incluya en la matriz de hormigón. Un claro ejemplo de ello resulta en la adición de fibras PET con adición de 1.0% y 0.5% donde este último porcentaje representa un aumento de 30% de resistencia a compresión en comparación con el porcentaje más alto, es por ello, que la adición de fibras luego de alcanzar su porcentaje óptimo, esta empieza su resistencia empieza a disminuir.

Los resultados demuestran que el hormigón que alcanza mayor resistencia es el hormigón reforzado con 0.5% de fibras de acero, a diferencia de lo alcanzado por el concreto con el 1.0% de fibras de PET que resultó estar muy por debajo de lo esperado con un 108 kg/cm^2 .

De los resultados mostrados se logra observar que el hormigón sin fibras obtiene la mayor resistencia a tracción indirecta seguido del hormigón con el 0.5% de fibras de PET recicladas y el hormigón con el 1.0% de fibras de acero. Siendo estos dos porcentajes y tipos de fibras con mejores resultados y no tan lejos del hormigón sin fibras, no se presenta una mejora dentro de esta propiedad.

La resistencia a tracción indirecta del hormigón está estrechamente relacionada al análisis de fisuras, torsión y evidentemente la flexión. Dentro de los estudios de distintos autores, referenciados en la presente investigación se muestra la mejora del hormigón frente a esfuerzos de flexión, torsión y tracción indirecta, donde esta última resulta ser la mayor y sin embargo dentro de los estudios obtenidos de la investigación experimental se obtiene nula mejora en este campo. Sin embargo, al tratarse resistencia a la compresión este si presenta mejora con la presencia de fibras de acero, lo que permite notar la importancia las variables a considerar en la adición de fibras al concreto como el porcentaje óptimo, forma, dimensiones y tipo de fibra.

Conclusiones

- El hormigón es conocido por su buena resistencia a la compresión, no obstante, tiene falencias como su capacidad de soportar esfuerzos de torsión, flexión y tracción y es por ello por lo que se adicionan fibras que permitan reforzarlo para estos esfuerzos y así evitar fisuras generadas por estos. Existen muchos tipos de fibras, y dentro de las más comercializadas están las de acero que comprenden un máximo control de grietas, el cual se logró evidenciar con las vinchas de acero adicionadas a la matriz de hormigón. Por otra parte, el utilizar fibras de tereftalato de polietileno parte de una necesidad con el medio ambiente de mitigar la contaminación que los desperdicios de este producen, siendo una forma para aprovechar sus buenas propiedades mecánicas, gran resistencia al desgaste y lo ligero que resulta ser.
- En los resultados a compresión obtenidos mediante los ensayos de laboratorio se pudo mostrar la mejora que representaba adicionar las fibras de acero con el 0.5% , sin embargo el desempeño de las fibras de PET reciclado estuvo muy por debajo de lo esperado. Por otro lado, en el ensayo de tracción indirecta el hormigón reforzado con fibras no adquirió aumento de resistencia a los esfuerzos. Se evidencia la importancia de establecer un muestreo respecto al porcentaje de fibra adicionado ya que dependiendo del material este varía.
- A pesar de no valorar experimentalmente el esfuerzo a flexión en vigas en la presente investigación, con el bajo desempeño de las fibras de acero y fibras de PET en los especímenes sometidos a la prensa hidráulica se espera un comportamiento similar al de tracción indirecta con una disimilitud inapreciable al ser evaluadas bajo las mismas condiciones.
- La función principal de las fibras añadidas al hormigón es el control de fisuración es por esto por lo que, en los ensayos realizados en probetas cilíndricas con porcentajes de fibras, no fallan bruscamente.

Recomendaciones

- Debido a las distintas variables que comprenden las fibras para reforzamiento de hormigón, se sugiere realizar estudios profundizados para la determinación de las dimensiones y porcentaje óptimo de fibras para alcanzar los resultados deseados en el concreto.
- Añadir variables como el direccionamiento de las fibras dentro de la matriz de hormigón realizando un análisis de su relación con la resistencia del concreto fibro reforzado.
- Se sugiere, en caso de obtener resultados favorables en cuanto a la mejora de las propiedades del hormigón realizar un análisis de costos que se presente como opción al hormigón tradicional.
- Se recomienda realizar estudios en fibras con distintos tipos de materia prima, tales como polímeros naturales o sintéticos a fin de evaluar su comportamiento frente a las fibras de acero.


Bibliografía

- (s.f.). Obtenido de iberiagrc.com/index.php/2-inicio/4-historia-del-grc
- ACI Committee 544. (s.f.). Obtenido de concrete.org/
- Alesmar, L., Rendon, N., & Korody, M. (2008). *Universidad Central de Venezuela*.
- ASTM C39/C39M-17b. (s.f.). Obtenido de <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C39C39M-17B-SP.htm>
- Baldenebro, F. (2015). Estudio numérico-experimental de fibras de pet y su comportamiento en una matriz de concreto .
- Benites, R., & Bermilla, C. (2014). Obtenido de repositorio.uss.edu.pe
- Blázquez, L. (2012). Obtenido de <https://www.google.com/search?q=B1%C3%A1zquez%2C+L.+%282011%2C+septiembre+5%29>
- Carrillo, J., & Rojas, J. (2017). *Universidad Andina de Cusco* .
- Chacón, E. (2012). Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4837>
- Corcino, V. (2007). Estudio comparativo de concreto simple reforzado con fibras de acero dramix y wirand empleando cemento andino tipo V. Lima, Perú.
- Cristhian, P., & Zavala, J. (2020). Mejoramiento del comportamiento mecánico a compresión y flexión del concreto f_c 210 kg/cm² con la adición de fibras de acero dramix 3D. Lima. Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón. (s.f.). MACCAFERRI.
- Guamán, C., & Pinenla, J. (2019). Análisis de las propiedades Físico-Mecánicas de un hormigón elaborado con fibras recicladas de envases PET, con y sin aditivo plastificante.
- Guzmán, D. (2015). *Tecnología del concreto y del morteto*. Bhandar editores LTDA.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación.
- INEC Instituto nacional de estadística y censos. (2018). ecuadorencifras.gob.ec/normas-tecnicas.
- INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE Norma Técnica Ecuatoriana. (s.f.). Cemento Portland. Requisitos. Quito.
- Irías, A. (2013). Refuerzo de elementos estructurales con hormigones con fibras o solo fibras.
- Lavayén, F. (2020). Obtenido de [repositorio.ulvr.edu.ec](http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/453)

- López, J. (Abril de 2015). *macrofibras.org*. Obtenido de <http://www.macrofibras.org/images/pdf/BASF-CONCRETO-REFORZADO-CON-MACROFIBRAS-UNAM.pdf>
- Lugo, E., & Torres, Y. (2019). *Caracterización del comportamiento mecánico del concreto simple*.
- Medina, K. (2021). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/453>
- Moya, J., & Cando, L. (2016). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado. Quito.
- Rivva, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*.
- Rodríguez, A. (2017). Manual de Prácticas de Laboratorio de Concreto.
- Rojas, L. (2014). Estudio de viabilidad de utilización de fibras de acero para hormigones convencionales y autocompactantes. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/20967>
- Román, J. (Abril de 2015). *ptolomeo.unam.mx*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7708/t>
- Salcedo, H. (Junio de 2016). *Universidad Politècnica de Catalunya*. Obtenido de http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15822/Tesis_Ramos.pdf?sequ
- Sarta, H., & Silva, J. (2017).
- Shamskia, N. (2012). The Influence of Pet Fibers on the Properties of Fresh and . *Journal of structural Engineering and Geotechnics*.
- Silva, L. (2014). Obtenido de repositorio.uta.edu.ec/
- Tipantasig, L. (2015). <https://repositorio.uta.edu.ec/>. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8337/1/Tesis%20828%20-%20Silva%20Tipantasig%20Len%c3%adn%20Gabriel.pdf>
- Toirac, J. (2014). La resistencia a compresión del hormigón, condición necesaria pero no suficiente para el logro de la durabilidad de las obras.
- Valencia, P., & Quintana, C. (2016). *repository.ucatolica.edu.co*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6378/5/Trabajo%20de%20grado%20Fibra%20de%20Acero.pdf>

ANEXOS

Anexo 1.- Ensayo granulométrico del agregado fino



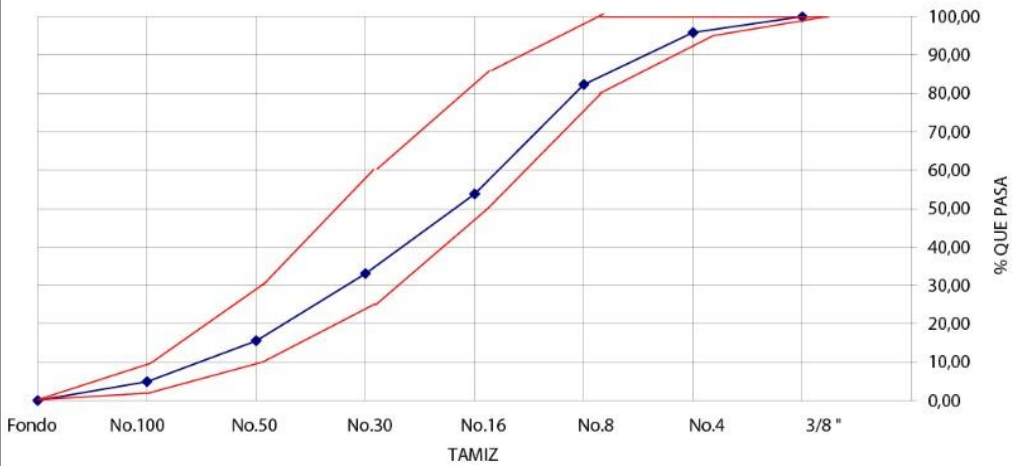
ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO

PROYECTO: Tema de Tesis

MUESTRA: 1 FUENTE DEL MATERIAL: FECHA: 20/07/21


DESCRIPCION DEL MATERIAL: Arena

TAMIZ	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACION A.S.T.M.
3/8 "	0	0,00	0,00	100,00	100
No.4	41,50	4,15	4,15	95,85	95 - 100
No.8	135,20	13,52	17,67	82,33	80 - 100
No.16	285,20	28,52	46,19	53,81	50 - 85
No.30	207,40	20,74	66,93	33,07	25 - 60
No.50	175,00	17,50	84,43	15,57	10 - 30
No.100	106,60	10,66	95,09	4,91	2 - 10
FONDO	49,10	4,91	100,00	0,00	0
TOTAL	1000,00	100,00			




Módulo de finura 3,1

OBSERVACIONES: _____

Verificado por: 

Anexo 2.- Ensayo granulométrico del agregado grueso



ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO: Tema de Tesis

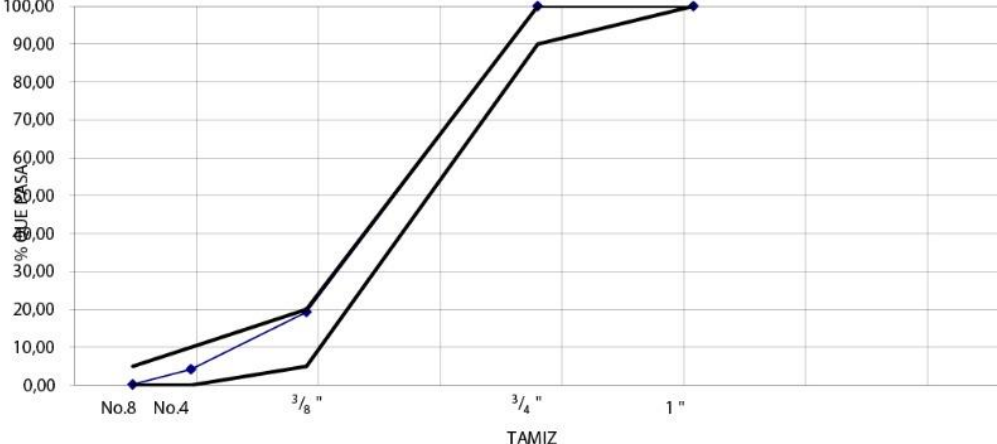
MUESTRA: 1

DESCRIPCION DEL MATERIAL: Piedra

FUENTE DEL MATERIAL:

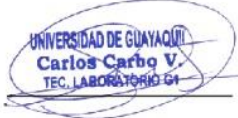
FECHA: 20/07/21

TAMIZ	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACION A.S.T.M.
1 1/2"				100,00	
1	0,00	0,00	0,00	100,00	100 - 100
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	90 - 100
1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	6993,80	80,69	80,69	19,31	5 - 20
No.4	1310,20	15,12	95,81	4,19	0 - 10
No.8	345,10	3,98	99,79	0,21	0 - 5
FONDO	17,90	0,21	100,00	0,00	
TOTAL	8667,00	100,00			




TAMIZ

OBSERVACIONES: _____

Verificado por: 

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Carlos Carbo V.
TEC. LABORATORIO 61

Anexo 3.- Diseño de hormigón

			
DISEÑO DE HORMIGON			
PROYECTO: Tema de Tesis UBICACIÓN: Fecha: 20/07/21 TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO: 1/2" REVENIMIENTO: 7 cm CEMENTO: Holcim - Fuerte Tipo GU (IP) AGUA: Limpia RELACION AGUA - CEMENTO (A/C) 0,48 NUMERO DE SACOS DE CEMENTO: 7,59 RESISTENCIA 210 Kg/cm ² 28 días			
PROPIEDADES FISICAS			
AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO	
Peso Volumétrico Varillado (P.V.V.):	1412 Kg/m ³	Densidad Saturada Sup. Seca (D.S.S.S.):	2564 Kg/m ³
Peso Volumétrico Suelto (P.V.S.):	1276 Kg/m ³	Peso Volumétrico Suelto (P.V.S.):	1401 Kg/m ³
Densidad Saturada Sup. Seca (D.S.S.S.):	2571 Kg/m ³	Modulo de Finura (M.F.):	3,1
PESO EN KG. EN 1 m ³ DE HORMIGON		PESO EN KG. PARA UN SACO DE CEMENTO	
CEMENTO:	379 Kg.	CEMENTO:	50 Kg.
AGUA:	220 Kg.	AGUA:	29 Its.
PIEDRA:	960 Kg.	PIEDRA:	127 Kg.
ARENA:	695 Kg.	ARENA:	92 Kg.
OBSERVACIONES <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>			
CALCULADO POR:		VERIFICADO POR: 