



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON FIBRA DE
VIDRIO Y CÁSCARA DE HUEVO.**

TUTOR

Msc. KARLA PAMELA CRESPO LEON

AUTORES

**COLAPULLO CHASIPANTA SULAY LIZBETH
PILAMUNGA GUAMAN KATHERINE ELIZABETH**

GUAYAQUIL

2024

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Comportamiento Mecánico del Concreto con Fibra de Vidrio y Cascara de Huevo

AUTOR/ES:

Sulay Lizbeth Colapullo
Chasipanta
Katherine Elizabeth Pilamunga
Guaman

TUTOR:

Msc. Crespo León Karla Pamela

INSTITUCIÓN:

**Universidad Laica Vicente
Rocafuerte de Guayaquil**

Grado obtenido:

Ingeniero Civil

FACULTAD:

INGENIERIA INDUSTRIA Y
CONSTRUCCION

CARRERA:

INGENIERIA CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2024

N. DE PÁGS:

102

ÁREAS TEMÁTICAS: Ingeniería, Industria y Construcción

PALABRAS CLAVE: Concreto reforzado - Materiales sostenibles - Resistencia a la compresión - Reciclaje de residuos - Desarrollo sostenible

RESUMEN:

El proyecto se centró en el análisis del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de vidrio y cáscara de huevo, buscando mejorar sus propiedades estructurales mediante materiales sostenibles. El estudio tuvo como objetivo identificar las propiedades de estos aditivos y determinar sus efectos en la resistencia del concreto. Se realizaron ensayos de laboratorio para medir la resistencia a la compresión y tracción utilizando diferentes proporciones de fibra de vidrio y cáscara de huevo. las muestras utilizadas para evaluar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto a diferentes tiempos de fraguado (7, 14 y 28 días). Se han considerado diferentes combinaciones de fibra de vidrio y cáscara de huevo en porcentajes del 3%, 5% y 10%, asegurando una representación adecuada para un análisis estadístico robusto. Los resultados mostraron que la adición de estos materiales mejoró significativamente la resistencia del concreto, especialmente con una mezcla del 10% de ambos aditivos. En concreto, se observó un incremento del 10% en la resistencia a la

compresión y un 15% en la tracción en comparación con el concreto convencional. Estos hallazgos demuestran el potencial de estos aditivos no solo para mejorar la durabilidad y la resistencia, sino también para contribuir a la sostenibilidad al reutilizar residuos agroindustriales.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (Web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: Sulay Lizbeth Colapullo Chasipanta Katherine Elizabeth Pilamunga Guaman	Teléfono: 0994984499 0959982488	E-mail: kpilamungag@ulvr.edu.ec scolapulloc@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Master Ing. Civil. Marcial Sebastián Calero Amores (Decano) Teléfono: 042-596500 Ext. 260 E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec Mgr. Ing. Civil Jorge Enrique Torres Rodríguez (Director de Carrera) Teléfono: 042-596500 Ext. 242 E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE SIMILITUD

FINAL COLAPULLO PILAMUNGA

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unab.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	latam.redilat.org Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

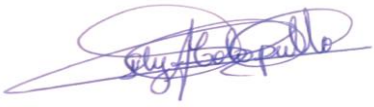



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados **Sulay Lizbeth Colapullo Chasipanta** y **Katherine Elizabeth Pilamunga Guaman**, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, **Comportamiento mecánico del concreto con fibra de vidrio y cáscara de huevo**, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

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

Autores

Firma: 
Sulay Lizbeth Colapullo Chasipanta
C.I. 0954040036

Firma: 
Katherine Elizabeth Pilamunga Guaman
C.I. 0958948952

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación, 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 Trabajo de Titulación, titulado: **Comportamiento Mecánico del concreto con fibra de vidrio y cascara de huevo**, presentado por los estudiantes **Sulay Lizbeth Colapullo Chasipanta y Katherine Elizabeth Pilamunga Guaman**, como requisito previo, para optar al Título de Ingeniero Civil, encontrándose apto para su sustentación.

Firma: 

KARLA PAMELA CRESPO LEÓN

C.C. 0919203414

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a dios por haberme dado todas las oportunidades que he tenido a lo largo de mi vida, por darme esa fuerza para perseverar y nunca rendirme a lo largo de mi etapa universitaria

Gracias a mi familia por estar siempre a mi lado apoyándome, en especial a mi hermana Miriam Alexandra Pilamunga Guaman por ser ese pilar fundamental en mi hogar, apoyarme incondicionalmente a lo largo de mi vida y motivarme a seguir con mis estudios siendo ella mi inspiración a ser una gran profesional y sobre todo ser una mejor persona.

A mi padre Jose Francisco Pilamunga Iza, que es una imagen de perseverancia y resiliencia, su más grande enseñanza es que siempre hay que trabajar duro y nunca rendirse por más difícil que se presente alguna situación.

Agradezco a los docentes que nos han estado impartiendo su conocimiento en las distintas materias de la carrera, que con su formación han aportado de manera significativa a mi educación con grandes valores y ética profesional.

Agradezco a mi amiga y compañera de tesis Sulay Lizbeth Colapullo Chasipanta, que con trabajo en equipo y constancia hemos hecho nuestro mayor esfuerzo para que la presente investigación sea de apoyo para futuras investigaciones.

Pilamunga Guaman Katherine

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a DIOS por darme la oportunidad de poder darme fuerzas y mucha dedicación para llegar a la culminación de mi carrera de ingeniería civil sin duda agradecida, a mis padres que fueron los que me apoyaron desde el inicio de mis estudios. Sin duda no fue nada fácil este proceso de estudiar y trabajar a la misma vez pero con el apoyo de mis padres logre llegar a ser una profesional, agradecida por ser los mejores padres de mi vida los amo tanto, también lo que llevo alentarme y darme fuerza fue mi hija Ashley cada vez que la miraba cuando llegaba cansada de trabajar, estudiar y llegar a casa rendida lo único que hacia al llegar a casa es ver a mi hija y decirle estudio para que no te falte nada mi gran amor este triunfo se la dedico a ella también que es mi día a día para seguir adelante.

Agradezco a la universidad laica Vicente Rocafuerte por darme la enseñanza, conocimientos y experiencias de todos los docentes que a lo largo de nuestra carrera estuvieron dispuestos ayudarnos para poder entender las materias y llegara ejercer nuestra profesión con una buena enseñanza y a mi tutora Msc. Karla Pamela Crespo León por guiarme y brindarnos ayuda en nuestra tesis.

Colapullo Chasipanta Sulay

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia, sobre todo a mi hermana Miriam Alexandra Pilamunga y a mi padre Jose Francisco Pilamunga Iza, por su apoyo incondicional a lo largo de esta etapa y en mi vida. Por creer y confiar en mi al iniciar y culminar la carrera para así convertirme en una gran profesional.

Pilamunga Guaman Katherine

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mi padre Segundo Colapullo que gracias a él que me enseñó hacer una mujer independiente y ser un ejemplo para mi hermana y también dedicarle este logro a mi madre Ana Chasipanta que fue la que me daba consejos para no abandonar mi carrera y ser y a mi hija Ashely Ocaña por creer en mí y darme fuerzas para seguir con mis estudios y culminar mi carrera de ingeniería civil gracias por ser parte de mi vida

Colapullo Chanta Sulay

RESUMEN

El proyecto se centró en el análisis del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de vidrio y cáscara de huevo, buscando mejorar sus propiedades estructurales mediante materiales sostenibles. El estudio tuvo como objetivo identificar las propiedades de estos aditivos y determinar sus efectos en la resistencia del concreto. Se realizaron ensayos de laboratorio para medir la resistencia a la compresión y tracción utilizando diferentes proporciones de fibra de vidrio y cáscara de huevo. Las muestras utilizadas para evaluar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto a diferentes tiempos de fraguado (7, 14 y 28 días). Se han considerado diferentes combinaciones de fibra de vidrio y cáscara de huevo en porcentajes del 3%, 5% y 10%, asegurando una representación adecuada para un análisis estadístico robusto. Los resultados mostraron que la adición de estos materiales mejoró significativamente la resistencia del concreto, especialmente con una mezcla del 10% de ambos aditivos. En concreto, se observó un incremento del 10% en la resistencia a la compresión y un 15% en la tracción en comparación con el concreto convencional. Estos hallazgos demuestran el potencial de estos aditivos no solo para mejorar la durabilidad y la resistencia, sino también para contribuir a la sostenibilidad al reutilizar residuos agroindustriales.

Palabras Clave: Concreto reforzado - Materiales sostenibles - Resistencia a la compresión - Reciclaje de residuos - Desarrollo sostenible

ABSTRACT

The project focused on analyzing the mechanical behavior of concrete reinforced with fiberglass and eggshells, aiming to enhance its structural properties using sustainable materials. The study aimed to identify the properties of these additives and determine their effects on concrete strength. Laboratory tests were conducted to measure compression and tensile strength using different proportions of fiberglass and eggshells. The results showed that the addition of these materials significantly improved the strength of the concrete, especially with a 10% mix of both additives. Specifically, a 10% increase in compression strength and a 15% increase in tensile strength were observed compared to conventional concrete. These findings demonstrate the potential of these additives not only to improve durability and strength but also to contribute to sustainability by reusing agro-industrial waste. It is recommended to implement pilot projects to evaluate the performance of the concrete in real-world environments and continue research to optimize mix proportions for specific applications. Additionally, training professionals in the use of these materials and collaborating with regulatory bodies to develop specific standards are essential steps for their widespread adoption in the construction industry, fostering both innovation and sustainability.

Keywords : Reinforced concrete - Sustainable materials - Compression strength
Waste recycling - Sustainable development

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
ENFOQUE DE LA PROPUESTA	4
1.1. Tema:.....	4
1.2. Planteamiento del Problema:	4
1.3. Formulación del Problema:	6
1.4. Objetivo General	6
1.5. Objetivos Específicos.....	7
1.6. Hipótesis	7
1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO REFERENCIAL	8
2.1. Marco Teórico	8
2.1.1. Antecedentes	8
2.2. Fundamento teórico.....	10
2.2.1 Concreto y sus Propiedades.....	10
2.2.2 Concreto Reforzado con Fibras	20
2.2.3 Fibra de Vidrio en el Concreto.....	23
2.2.4 Uso de Residuos Agroindustriales en el Concreto.....	26
2.2.5 Cáscara de Huevo como Aditivo en el Concreto	29
2.2.6 Combinación de Fibra de Vidrio y Cáscara de Huevo en el Concreto.....	34
2.3. MARCO LEGAL.....	38
2.3.1. Normativas y Estándares Internacionales.....	38
2.3.2. Normas locales	43
3.1. Enfoque de la investigación	44
3.2. Técnica e instrumentos para obtener los datos	45
3.3. Población y muestra.....	47
CAPÍTULO IV	50
PROPUESTA O INFORME	50
4.1. Presentación y análisis de ensayos	50
4.2. Análisis de Granulometría	70

4.3. Comparación con resultados previos	75
CONCLUSIONES.....	77
RECOMENDACIONES.....	79
Bibliografía	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Línea de Investigación.....	7
Tabla 2 Propiedades Mecánicas de los distintos tipos de Fibra de Vidrio	18
Tabla 3 Principales Propiedades Mecánicas y Físicas de la Fibra de Vidrio CemFIL Anti-Crack HD.	23
Tabla 4 Descripción de la muestra	48
Tabla 5 Diseño del concreto	50
Tabla 6 Ensayo fibra de vidrio al 3%	61
Tabla 7 Ensayo fibra de vidrio al 5%	62
Tabla 8 Ensayo con fibra al 10%	63
Tabla 9 Fibra de vidrio 3% más cascara de huevo 3%.....	64
Tabla 10 Fibra de vidrio 5% más cascara de huevo 5%.....	65
Tabla 11 Fibra de vidrio 10 % más cascara de huevo 10%	66
Tabla 12 Análisis general de testigos y resistencias.....	67
Tabla 13 costos	69
Tabla 14 Análisis 1 del Ensayo de granulometría	70
Tabla 15 Contenido de humedad 1.....	71
Tabla 16 Tamaño de las partículas Sucs	72
Tabla 17 Ensayo granulométrico 2.....	73
Tabla 18 Contenido de Humedad 2	74
Tabla 19 Tamaño de Partículas.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelo de saco de Cemento	11
Figura 2 Agregado grueso.....	12
Figura 3 Agregado fina	12
Figura 4 Prueba Cono de Abrams	47
Figura 5 Selección de Fibra de Vidrio	51
Figura 6 Peso de fibra de vidrio	51
Figura 7 Proceso de secado de cáscara de huevo	52
Figura 8 Se realiza el proceso de trituración de cáscara de huevo.....	52
Figura 9 Tamizaje de cascara de huevo para que no queden grumos	53
Figura 10 Granulometría de arena.....	53
Figura 11 Granulometría de piedra 3/4	54
Figura 12 Materiales para elaboración de testigos.....	54
Figura 13 Se realiza un hormigón de 210kg/cm ² con fibra de vidrio y ceniza de cáscara de huevo	55
Figura 14 Se realiza revendiendo de hormigón	55
Figura 15 Toma de temperatura de mezcla de hormigón previo al llenado de los moldes cilíndricos	56
Figura 16 Llenado de cilindro con la muestra de hormigón con fibra de vidrio y cáscara de huevo	56
Figura 17 Se realiza la prueba de revendiendo	57
Figura 18 Buena de tamizaje del agregado grueso y fino	57
Figura 19 pesaje del cilindro.....	58
Figura 20 Se realiza a la limpieza de cilindro para colocar el hormigón con fibras.....	58
Figura 21 Se realiza el peso de cada % de ceniza de cáscara de huevo	59
Figura 22 Pruebas de ensayo de cilindros a los 14 días	59
Figura 23 ensayos de compresión por cada porcentaje de fibra de vidrio a los 7 días de curado	60
Figura 24 medición del diámetro y la altura del cilindro	60
Figura 25 Ensayo fibra de vidrio al 3%.....	61
Figura 26 Ensayo fibra de vidrio al 5%	62
Figura 27 Ensayo fibra de vidrio al 10%	60
Figura 28 Fibra de vidrio 3% más cascara de huevo 3%.....	60
Figura 29 Fibra de vidrio 5% más cascara de huevo 5%.....	65
Figura 30 Fibra de vidrio 10 % más cascara de huevo 10%	66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Granulometria	84
Anexo 2 Análisis de la compresion.....	85

INTRODUCCIÓN

El constante desarrollo urbano en ciudades como Guayaquil ha generado un aumento significativo en la necesidad de infraestructuras más duraderas y resistentes. Las construcciones en general enfrentan un desgaste continuo debido al tráfico pesado de maquinaria y vehículos. Este desgaste conduce a la formación de grietas y fisuras que comprometen la integridad estructural del concreto, incrementando así los costos de mantenimiento y reparación. Ante este panorama, se hace necesario investigar y desarrollar materiales de construcción que no solo mejoren la durabilidad del concreto, sino que también sean económicamente viables y respetuosos con el medio ambiente.

El concreto, ampliamente utilizado en la construcción, presenta algunas limitaciones relacionadas a su capacidad de deformarse y su resistencia a la tracción. Estas limitaciones se traducen en una susceptibilidad a la fisuración y al deterioro bajo condiciones de carga cíclica y agresiones ambientales. Para abordar estos desafíos, la industria de la construcción ha explorado diversas estrategias de refuerzo, siendo efectiva para incluir fibras en la estructura de concreto.

El uso de fibras en el concreto ha demostrado ser una solución eficaz para mejorar sus propiedades mecánicas. La inclusión de fibras, tales como vidrio, no solo incrementa la resistencia a la tracción y a la compresión, sino que también controla la fisuración y mejora la durabilidad del material. Las fibras de vidrio, en particular, se han utilizado ampliamente en la construcción debido a su capacidad para aumentar la resistencia post-fisuración y su facilidad de incorporación en la matriz de concreto. Este tipo de fibra proporciona beneficios adicionales como la mejora la capacidad para absorber energía y su ductilidad, lo que resulta en un material más resistente y duradero.

Por otro lado, la búsqueda de materiales sostenibles y ecológicos ha llevado a explorar el uso de residuos agroindustriales como aditivos en el concreto. La cascara de huevo, constituida principalmente por carbonato de calcio, ha mostrado ser un material prometedor para mejorar las propiedades del concreto. Estudios previos han indicado que la cáscara de huevo puede actuar

como un acelerante natural del fraguado, aumentando la resistencia inicial del concreto y mejorando su durabilidad a largo plazo. Además, el uso de cáscara de huevo contribuye a la reducción de residuos agroindustriales, fomentando prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Este proyecto de investigación nace de la necesidad de crear un concreto que integre las características mecánicas existentes en la fibra de vidrio con los beneficios ecológicos de la cascara de huevo. La hipótesis central plantea que la incorporación de estos dos materiales en el concreto podría generar un material con mayor resistencia y durabilidad, ideal para su aplicación en pavimentos industriales. Esta combinación no solo pretende mejorar las características mecánicas del concreto, sino también proporcionar una alternativa más económica y sostenible frente a los materiales convencionales.

Este estudio busca aportar soluciones prácticas para los problemas del desgaste en pavimentos industriales y al mismo tiempo promover el avance hacia materiales de construcción más rentables y sostenibles. Al incorporar residuos industriales, como la cascara de huevo, disminuye la dependencia de materiales convencionales y se fomenta el reciclaje y la reutilización de desechos. Este enfoque está en línea con los principios de construcción ecológica y sostenibilidad ambiental. Además, el uso de cascara de huevo como aditivo en el concreto podría generar un impacto positivo en la economía local, creando nuevas oportunidades de mercado para los residuos agroindustriales.

La investigación del desempeño mecánico del concreto que incorpora cascara de huevo y fibra de vidrio tiene el potencial de transformar la manera en que se construyen pavimentos industriales, proporcionando una opción más robusta, duradera y ecológica. Este proyecto no solo avanzará la tecnología del concreto, sino que también creará una base firme para futuras investigaciones y progresos en el área de materiales de construcción sostenible. La combinación de innovación técnica con principios de sostenibilidad ambiental ofrece un enfoque integral esencial para abordar los retos futuros y actuales en el sector de la construcción.

El presente trabajo de titulación se estructura en varios capítulos que detallan desde la propuesta inicial hasta las conclusiones finales. El Capítulo I: Enfoque de la Propuesta introduce el tema de la investigación, planteando claramente el problema y formulando el problema específico que se abordará. Este capítulo establece el objetivo general y los objetivos específicos del estudio, define la idea a defender, y enmarca la investigación dentro de la línea institucional de la facultad. Este enfoque inicial proporciona una base sólida para la dirección del estudio, asegurando que todos los aspectos están alineados con los objetivos de la institución y con las necesidades de la disciplina.

El Capítulo II: Marco Referencial y el Capítulo III: Marco Metodológico profundizan en el contexto y la metodología del estudio. El marco referencial incluye antecedentes relevantes y un marco teórico que sustenta la investigación, proporcionando un contexto académico y científico necesario para entender el problema. El marco metodológico describe el enfoque de la investigación, el alcance del estudio, y las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos. Además, detalla la población y muestra seleccionadas para el análisis. En el Capítulo IV: Propuesta o Informe, se presentan y analizan los resultados obtenidos de las encuestas, seguidos de una propuesta basada en estos hallazgos. Finalmente, el documento concluye con secciones dedicadas a las conclusiones y recomendaciones, que sintetizan los hallazgos del estudio y sugieren acciones futuras.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1. Tema:

Comportamiento mecánico del concreto con fibra de vidrio y cáscara de huevo

1.2. Planteamiento del Problema:

El concreto, a pesar de ser uno de los materiales de construcción mas empleados a nivel global, presenta limitaciones inherentes que influyen en su rendimiento y longevidad. Aunque ofrece una elevada resistencia a la compresión, el concreto tradicional muestra una resistencia a la tracción relativamente baja y es propenso a desarrollar fisuras bajo cargas cíclicas y condiciones ambientales adversas. Estas propiedades restringen su uso y efectividad en estructuras que demandan un rendimiento mecánico mas elevado.

El principal desafío consiste en optimizar las propiedades mecánicas del concreto para lograr una mayor durabilidad, resistencia y eficiencia, en este sentido, la incorporación de fibras de refuerzo en la mezcla de concreto ha demostrado resultados prometedores. Por ejemplo, las fibras de vidrio han sido efectivas para incrementar la resistencia a la tracción y controlar la formación de fisuras, lo que a su vez mejora la durabilidad y la longevidad del concreto. No obstante, la exploración de materiales alternativos y sostenibles para potenciar aún más estas características continúa siendo un campo de investigación activo.

Paralelamente, la preocupación creciente sobre la sostenibilidad y gestión de residuos ha llevado a explorar el uso de materiales reciclados y residuos agroindustriales en la construcción. La cáscara de huevo, un residuo común en la industria alimentaria se compone principalmente de carbonato de calcio y posee propiedades que pueden ser beneficiosas cuando se incorpora en el concreto. Estudios han demostrado que la cáscara de huevo molida puede actuar como un acelerante natural del fraguado, mejorando la resistencia inicial del concreto y contribuyendo a una mayor durabilidad. Además, su uso

promueve la sostenibilidad disminuyendo la cantidad de los residuos que acaban en vertederos.

La combinación de fibra de vidrio y cáscara de huevo en el concreto podría ofrecer una solución innovadora para superar las limitaciones del concreto convencional. La hipótesis es que la adición conjunta de estos dos materiales puede resultar en un concreto con propiedades mecánicas mejoradas, incluyendo un aumento de la resistencia a la tracción y compresión, así como una mejor durabilidad.

Esta combinación busca además de mejorar las características del concreto, sino también ofrecer una alternativa más sostenible y económica frente a los materiales tradicionales.

En el estudio realizado por Osha, determina que "El concreto a nivel mundial enfrenta problemas como el agrietamiento debido a cargas mecánicas y ataques químicos, incluyendo la corrosión de las barras de refuerzo en estructuras expuestas a ambientes agresivos". (Odey, 2021, p. 23)

En otra investigación "En América Latina, existen desafíos relacionados con la calidad del concreto debido a la variabilidad en los materiales y la falta de estandarización en las prácticas de construcción". (Global, 2023, p.46)

Comportamiento a la compresión del concreto que contiene fibras de vidrio y polvo de cáscara de huevo, en esta investigación, se integraron polvo de cascara de huevo y fibra de vidrio en el concreto para analizar sus propiedades mecánicas bajo cargas de compresión, los resultados mostraron que la adición de ambos componentes aumento la resistencia a la compresión del concreto y su capacidad de resistir grietas. El polvo de cascara de huevo desempeño un papel importante al actuar como un material de relleno, mejorando así la densidad general de la mezcla y reforzando la resistencia del material. (Djarir Yahiaoui, 2022)

El presente proyecto de investigación es examinar el comportamiento mecánico del concreto que incorpora polvo de cascara de huevo y fibra de

vidrio, contrastar sus propiedades con aquellas del concreto reforzado solo con fibra de vidrio. Se realizarán pruebas de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los concretos con estos aditivos, además de llevar a cabo un análisis comparativo de costos y beneficios. Las pruebas incluirán mediciones de resistencia a la tracción y compresión, así como evaluaciones de trabajabilidad y durabilidad del concreto.

Este estudio no solo busca aportar soluciones prácticas que mejoren las características mecánicas del concreto, sino también colaborar al desarrollo de materiales para la construcción más económicos y sostenibles. La inclusión de residuos agroindustriales como la cáscara de huevo no solo reduce la dependencia de materiales tradicionales, sino que también promueve el reciclaje y la reutilización de desechos, alineándose con los principios de la construcción eco-amigable y la sostenibilidad ambiental. Además, el uso de cáscara de huevo como aditivo en el concreto esperando obtener un mayor impacto en la economía local, al crear nuevas oportunidades de mercado para los residuos agroindustriales.

La presente investigación pretende ofrecer una solución más resistente, duradera y respetuosa con el medio ambiente. Este proyecto no solo contribuirá al avance de la tecnología del concreto, sino que también establecerá una base sólida para futuros estudios y desarrollos relacionados al ámbito de materiales para construcción sostenibles. La combinación de innovación tecnológica y sostenibilidad ambiental representa un enfoque integral y necesario para enfrentar los retos futuros y actuales en la industria de la construcción.

1.3. Formulación del Problema:

¿De qué forma el uso de fibra de vidrio y la cáscara de huevo influye la resistencia de las propiedades mecánicas del hormigón?

1.4. Objetivo General

Analizar el comportamiento mecánico de un hormigón con fibra de vidrio y cáscara de huevo y uno solo con adición de fibra de vidrio para la mejora de sus propiedades.

1.5. Objetivos Específicos

1. Identificar las propiedades de la fibra de vidrio y el polvo de la cáscara de huevo aplicables en procesos constructivos mediante revisión bibliográfica.
2. Determinar las características físicas de los agregados mediante ensayos de laboratorio.
3. Calcular la resistencia a la compresión en el hormigón con fibra de vidrio y cáscara de huevo, mediante ensayos de laboratorio
4. Presentar un análisis comparativo costo – beneficio entre el uso de un hormigón con fibra de vidrio y cáscara de huevo y uno solo con adición de fibra de vidrio.

1.6. Hipótesis

Las propiedades mecánicas del hormigón con agregados de fibra de vidrio y cáscara de huevo permitirán evaluar la resistencia y durabilidad, destacando así las ventajas que estos agregados pueden aportar al concreto.

1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Tabla 1

Línea de Investigación

Dominio	Línea institucional	Líneas de Facultad
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción	Materiales de construcción

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (2023)

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Antecedentes

Vivas (2023), destaca que el uso de fibras para reforzar materiales frágiles ha sido una práctica común desde la antigüedad. Según la historia hebrea, ya a mediados del siglo XV a.C. se empleaba paja como refuerzo en la elaboración de ladrillos. Asimismo, pueblos ancestrales sudamericanos, como los indígenas yanomamis, asentados en la selva amazónica, usaron barro en combinación con fibras vegetales y cabellos para recubrir sus viviendas. También algunos animales han reforzado sus madrigueras con fibras, tal es el caso del pájaro hornero, ave nacional de la República Argentina, que construye su nido con barro e incorpora trozos de fibras animales y vegetales de diversos tamaños. En cuanto a la fibra de vidrio, su uso permite aumentar la resistencia del hormigón y obtener mejores resultados al aplicar fibras resistentes. Esta práctica de utilizar fibras que son tanto materiales comerciales como ecológicos ha provocado una revolución y establecido un estándar que ayuda al medio ambiente y ofrece mejores resultados.

Meza (2019), realizó un estudio sobre el desarrollo de pavimentos rígidos utilizando cascarilla de huevo triturada para mejorar la resistencia a la compresión en el Jr. Ricardo Palma en 2019. El objetivo principal fue mejorar las propiedades mecánicas del concreto ecológico reforzado con cascarilla de huevo triturada, comparándolo con el concreto convencional. El estudio incluyó diversas pruebas y análisis, como estudios de suelos, índice de madurez del diseño (IMD), características de los agregados y propiedades de la cascarilla de huevo. Se diseñaron mezclas de concreto incorporando cascarilla de huevo triturada en porcentajes del 1.5%, 3%, y 5%. Los resultados mostraron que el concreto con un 1.5% de cascarilla de huevo triturada logró una resistencia a la compresión de 219.9 kg/cm² a los 28 días. Esta investigación destaca que aumentar el porcentaje de cascarilla de huevo en el concreto puede incrementar su resistencia a la compresión, mostrando que el uso de este material ecológico

puede mejorar significativamente las propiedades del hormigón, favoreciendo tanto su resistencia como su sostenibilidad ambiental

Según Baca (2022), la influencia en las propiedades fisicomecánicas del concreto mediante la sustitución parcial del cemento por cáscara de huevo triturada (C.H.) y la adición de ceniza de *Saccharum officinarum*. Este estudio, realizado en Abancay, empleó un diseño cuasi-experimental para analizar el mortero con una resistencia objetivo de 210 kg/cm². Se trabajó con 63 probetas para pruebas de tracción, 63 viguetas para pruebas de flexión y 63 probetas para pruebas de compresión. Los resultados más destacados tras 28 días de curado mostraron que al reemplazar el 8% del hormigón por C.H. triturada y añadir un 3% de *Saccharum officinarum* calcinada, se alcanzó una resistencia a la compresión de 219.60 kg/cm². Sin embargo, los resultados para la resistencia a tracción fueron desfavorables. La resistencia a la flexión alcanzó 57.17 kg/cm² al sustituir el 10% del cemento con C.H. triturada y agregar un 7% de *Saccharum officinarum* calcinada.

Las investigaciones han proporcionado datos significativos sobre los efectos de la cáscara de huevo en el concreto:

- **Resistencia a la Compresión:** Estudios han mostrado que la adición de cáscara de huevo puede aumentar la resistencia a la compresión del concreto en un rango del 10% al 20%, dependiendo de la cantidad utilizada. (Vivas, 2023)
- 1. **Reducción del Tiempo de Fraguado:** La inclusión de cáscara de huevo puede reducir el tiempo de fraguado del concreto en aproximadamente un 20% a 30%, lo que permite una mayor eficiencia en los procesos de construcción. (Malca, 2020)
- 2. **Durabilidad Mejorada:** Los estudios indican que el concreto con cáscara de huevo presenta una menor permeabilidad y una mayor resistencia a la penetración de sulfatos y cloruros, lo que aumenta su durabilidad en condiciones agresivas. (Barrionuevo, 2022)

Las estadísticas y resultados de las investigaciones demuestran que la cáscara de huevo puede mejorar significativamente las propiedades del

concreto. Estos hallazgos subrayan el potencial de la cáscara de huevo como un aditivo sostenible y efectivo, capaz de mejorar la resistencia y durabilidad del concreto mientras se promueve la reutilización de residuos agroindustriales.

A nivel nacional según Quispe (2024), la fibra de vidrio que en otro estudio, pero de la Universidad Central del Ecuador, ese estudio abordó la influencia de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto. Se realizaron ensayos comparativos entre un concreto patrón y concretos con 0.125%, 0.25% y 0.5% de fibra de vidrio. Los resultados mostraron que la adición de fibra de vidrio mejora la resistencia a la tracción y flexión del concreto, con incrementos de hasta 30.74% y 36.20% respectivamente.

2.2. Fundamento teórico

2.2.1. Concreto y sus Propiedades

Descripción del Concreto y sus Componentes Principales

El concreto es un material de construcción compuesto por una mezcla de cemento, agregados (arena y grava o piedra triturada), agua y, en algunos casos, aditivos químicos. Estos componentes se combinan para formar una masa homogénea que, al fraguar y endurecer, se convierte en una piedra artificial con alta resistencia a la compresión. El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción debido a su versatilidad, durabilidad y capacidad de adaptarse a diversas formas y estructuras.

Cemento: El cemento, generalmente cemento Portland, es el aglomerante que, al mezclarse con agua, forma una pasta que recubre y une las partículas de los agregados. La hidratación del cemento produce una reacción química que da lugar al endurecimiento y el desarrollo de la resistencia del concreto. (Nunton, 2022)

Figura 1

Modelo de saco de Cemento



Fuente: Holcin (2024)

Agregados: Los agregados representan entre el 60% y el 80% del volumen del concreto y se dividen en finos (arena) y gruesos (grava o piedra triturada). Los agregados proporcionan volumen y resistencia al concreto, además de influir en su trabajabilidad y otras propiedades

Los agregados gruesos, compuestos por grava o piedra triturada, proporcionan el volumen y la resistencia estructural al concreto. El tamaño, la forma y la calidad de estos agregados afectan directamente la resistencia mecánica, la densidad y la durabilidad del concreto. Un agregado grueso de buena calidad debe ser limpio, duro y denso, sin impurezas que puedan interferir con la reacción química del cemento, asegurando así un concreto fuerte y duradero.

La proporción adecuada y la buena gradación de los agregados gruesos son fundamentales para obtener un concreto que cumpla con las especificaciones estructurales y de durabilidad requeridas. (Nunton, 2022)

Figura 2

Agregado grueso



Fuente: Intriago & Quiroz (2022)

Los agregados finos, principalmente representados por la arena, son un componente esencial en la mezcla de concreto, ya que su función principal es llenar los vacíos entre los agregados gruesos, lo que mejora la trabajabilidad y la cohesión de la mezcla. (Nunton, 2022)

La finura, la distribución granulométrica y la limpieza de estos agregados son factores cruciales que influyen en la cantidad de agua y cemento necesarios para lograr la consistencia adecuada del concreto, además de contribuir a un acabado superficial de calidad. Por lo tanto, la correcta selección y proporción del agregado fino es vital para garantizar un concreto homogéneo y fácil de trabajar.

Figura 3

Agregado fino



Fuente: Intriago & Quiroz (2022)

Agua: El agua es esencial para la hidratación del cemento y la formación de la pasta cementicia. La cantidad de agua utilizada influye en la trabajabilidad del concreto y en su resistencia final. Una relación agua/cemento adecuada es crucial para obtener un concreto de buena calidad. (Quispe, 2024)

Aditivos: Los aditivos químicos se utilizan para modificar las propiedades del concreto fresco o endurecido. Estos pueden incluir reductores de agua, acelerantes, retardadores, superplastificantes y otros, dependiendo de las necesidades específicas del proyecto calidad. (Quispe, 2024)

Los componentes del concreto desempeñan roles específicos y críticos para garantizar la calidad del material. El cemento actúa como el aglutinante esencial, mientras que los agregados aportan volumen y resistencia estructural. El agua es crucial para la hidratación del cemento, y los aditivos permiten modificar y mejorar las propiedades del concreto según las necesidades del proyecto.

2.2.2. Tipo de concreto

a) Concreto Convencional

El concreto convencional es la forma más común de concreto y está compuesto por una mezcla estándar de cemento Portland (10-15% del volumen), agregados finos (arena, 20-30%) y gruesos (grava o piedra triturada, 40-50%), agua (15-20%), y en algunos casos aditivos (1-2%) para modificar ciertas propiedades del concreto. La relación agua/cemento, que generalmente oscila entre 0.45 y 0.60, es crucial para asegurar una buena trabajabilidad sin comprometer la resistencia final del material.

Este tipo de concreto es ampliamente utilizado en la construcción de cimientos, muros, losas, columnas y pavimentos, donde se requiere un material versátil y con una resistencia adecuada para la mayoría de las aplicaciones estructurales.

b) Concreto de Alta Resistencia

El concreto de alta resistencia se distingue por su capacidad para soportar cargas muy elevadas, con una resistencia a la compresión que supera los 50

MPa a los 28 días de curado. Este tipo de concreto se logra mediante la utilización de cementos de alta resistencia, una relación agua/cemento baja (0.30-0.40), y el uso de aditivos superplastificantes (0.5-2% del peso del cemento) que permiten reducir la cantidad de agua sin afectar la trabajabilidad.

Los agregados empleados son generalmente de alta calidad y con una granulometría bien controlada, asegurando un empaquetamiento óptimo que maximiza la resistencia. Este concreto es ideal para aplicaciones en rascacielos, puentes y otras infraestructuras críticas que requieren alta capacidad de carga.

a) Concreto Reforzado

El concreto reforzado incorpora refuerzos adicionales como barras de acero (1-2% del volumen total) o mallas metálicas, y en algunos casos fibras (0.1-1% en volumen) para mejorar la resistencia a la tracción y a la flexión. (Cornejo & Jimenez, 2023)

La mezcla de concreto sigue la composición tradicional de cemento, agregados y agua, pero la inclusión de estos refuerzos proporciona una mayor capacidad de absorción de cargas tensionales y flexionales, lo que es esencial en elementos estructurales como vigas, columnas y losas que están sometidos a esfuerzos complejos. Este tipo de concreto es fundamental en construcciones que requieren alta resistencia y durabilidad a largo plazo.

b) Concreto Ligero

El concreto ligero se caracteriza por su menor densidad, típicamente entre 1400 y 2000 kg/m³, lograda mediante el uso de agregados ligeros como la perlita, vermiculita o piedra pómez, que constituyen entre el 60-75% del volumen del concreto. La menor densidad reduce significativamente la carga muerta en las estructuras, lo que es ventajoso en edificaciones de gran altura y en elementos prefabricados. (Cornejo & Jimenez, 2023)

La relación agua/cemento es ajustada (0.45-0.55) para mantener la trabajabilidad adecuada sin comprometer la resistencia mecánica. Este tipo de concreto también se utiliza como aislante térmico y acústico debido a su baja conductividad.

c) Concreto Autocompactante

El concreto autocompactante es una mezcla altamente fluida que se compacta bajo su propio peso sin necesidad de vibración mecánica. Esto se logra mediante el uso de aditivos superplastificantes y modificadores de viscosidad, que pueden representar hasta el 1-2% del peso del cemento. (Cornejo & Jimenez, 2023)

La proporción de agua/cemento es baja, generalmente entre 0.25 y 0.40, para evitar la segregación mientras se mantiene la fluidez. Este concreto es ideal para estructuras con geometrías complejas, alta densidad de refuerzo, o donde la vibración es difícil o indeseable. Se utiliza comúnmente en la construcción de elementos prefabricados y encofrados de difícil acceso.

d) Concreto Premezclado

El concreto premezclado es producido en plantas especializadas donde se controla con precisión la dosificación de sus componentes: cemento (10-15%), agregados (60-75%), agua (15-20%), y aditivos según la especificación del proyecto. Se transporta al sitio de construcción en camiones mezcladores, asegurando que llegue listo para su colocación con una consistencia uniforme.

Este tipo de concreto se utiliza ampliamente en proyectos que requieren un control riguroso de las propiedades del material, como en pavimentos, edificios y puentes, donde la uniformidad y la calidad de la mezcla son críticas.

e) Concreto Permeable

El concreto permeable o poroso está diseñado para permitir la infiltración de agua a través de su estructura, lo cual es logrado mediante una reducción en el contenido de agregados finos y un tamaño de agregado grueso uniforme. La porosidad del concreto permeable puede alcanzar hasta un 15-25%, lo que facilita el drenaje del agua y reduce el riesgo de inundaciones. (Cornejo & Jimenez, 2023)

Este tipo de concreto es utilizado principalmente en pavimentos, estacionamientos, aceras y otras aplicaciones donde se requiere un manejo

eficiente del agua de lluvia. La relación agua/cemento se mantiene baja, alrededor de 0.30-0.40, para asegurar la cohesión de la matriz mientras se preservan los vacíos interconectados.

f) Concreto Refractario

El concreto refractario está diseñado para resistir altas temperaturas y está compuesto por cementos y agregados especiales, como alúmina y sílice, que constituyen entre el 60-70% del volumen total. Estos materiales son seleccionados por su capacidad para soportar temperaturas extremas sin perder sus propiedades estructurales, lo que es esencial en aplicaciones industriales como hornos, chimeneas y otras estructuras expuestas a condiciones térmicas severas. La composición y dosificación están optimizadas para minimizar la expansión térmica y asegurar la estabilidad estructural bajo ciclos térmicos repetidos.

g) Concreto de Alta Densidad

El concreto de alta densidad se fabrica utilizando agregados pesados como barita o magnetita, lo que incrementa su densidad a valores que varían entre 3000 y 4000 kg/m³. Este tipo de concreto es utilizado en aplicaciones donde se requiere protección contra radiación, como en hospitales (especialmente en áreas de radioterapia) y plantas nucleares.

Los agregados pesados constituyen alrededor del 75-85% del volumen total, asegurando una masa adecuada para la protección requerida. La relación agua/cemento se ajusta para mantener la trabajabilidad mientras se maximiza la densidad del concreto.

h) Concreto con Fibras

El concreto con fibras incorpora fibras de acero, vidrio, polipropileno o naturales en la mezcla para mejorar su resistencia a la fisuración y aumentar la tenacidad. La dosificación de fibras varía típicamente entre 0.1% y 1.5% del volumen total de la mezcla. Estas fibras se distribuyen uniformemente en la matriz de concreto, proporcionando refuerzos que ayudan a distribuir las tensiones y prevenir la propagación de fisuras.

Este tipo de concreto se utiliza en pavimentos, túneles, y otras estructuras donde la resistencia a las fisuras es crucial, además de mejorar la durabilidad del material frente a cargas dinámicas y cambios térmicos.

i) Concreto Proyectado (Shotcrete)

El concreto proyectado, también conocido como shotcrete, es una mezcla de cemento, agregados finos y gruesos, y aditivos acelerantes (que pueden representar hasta un 10% en peso del cemento) que se aplica mediante proyección neumática. Este método de aplicación permite que el concreto se adhiera a superficies complejas como túneles, taludes y piscinas.

El shotcrete puede ser de mezcla seca o húmeda, y su principal ventaja es la capacidad de ser aplicado en superficies verticales y sobrecabeza, proporcionando una capa densa y resistente con buena adherencia a la superficie subyacente.

2.2.3. Propiedades Mecánicas del Concreto

El concreto se valora principalmente por sus propiedades mecánicas, que son cruciales para su desempeño en aplicaciones estructurales. Las propiedades más importantes incluyen:

Resistencia a la Compresión: La resistencia a la compresión es la capacidad del concreto para soportar cargas que tienden a comprimirlo. Es la propiedad más destacada del concreto y se mide mediante ensayos de compresión en cilindros o cubos de concreto.

La resistencia a la compresión del concreto se evalúa generalmente a los 28 días de curado y puede variar ampliamente según la mezcla y los aditivos utilizados. Los valores típicos para el concreto estructural varían entre 20 MPa y 40 MPa, aunque se pueden alcanzar resistencias mucho mayores con mezclas especiales. (Nunton & Portocarrero, 2021)

Resistencia a la Tracción: La resistencia a la tracción es la capacidad del concreto para resistir fuerzas que tienden a separarlo. En comparación con

su resistencia a la compresión, el concreto tiene una resistencia a la tracción mucho menor, generalmente del orden del 10% de su resistencia a la compresión.

Esta propiedad se mide mediante ensayos de tracción directa, indirecta (prueba de escisión) o flexión. La baja resistencia a la tracción es la razón por la cual el concreto se refuerza comúnmente con barras de acero (hormigón armado) o fibras. (Nunton & Portocarrero, 2021)

Durabilidad: La durabilidad del concreto se refiere a su capacidad para resistir las condiciones ambientales y de servicio a lo largo del tiempo sin deteriorarse significativamente. Factores que afectan la durabilidad incluyen la permeabilidad, la resistencia a la congelación y descongelación, la resistencia a los ataques químicos (sulfatos, cloruros), la abrasión y la reacción álcali-sílice. Un concreto duradero debe ser capaz de mantener su integridad y funcionalidad durante su vida útil prevista (Olivera, 2022)

Tabla 2

Propiedades Mecánicas de los distintos tipos de Fibra de Vidrio

propiedades	Vidrio E	Vidrio D	Vidrio R	Vidrio AR
Densidad	2.60	2.14	2.53	2.68
resistencia a la tensión	3400	2500	4400	3000
módulo elástico	72	55	86	72
resistencia a la ruptura %	4.5	45	5.2	4.3

Nota: La tabla compara las propiedades mecánicas y físicas de diferentes tipos de vidrio, incluyendo densidad, resistencia a la tensión, módulo elástico y resistencia a la ruptura.

Fuente: Ramírez & Arellanes (2022)

Las propiedades mecánicas del concreto determinan su capacidad para ser utilizado en diversas aplicaciones estructurales. La resistencia a la compresión es fundamental para soportar cargas, mientras que la resistencia a la tracción, aunque más baja, es crucial para prevenir fisuras y fallas

estructurales. La durabilidad del concreto asegura que pueda soportar condiciones ambientales adversas y mantener su integridad a lo largo del tiempo.

Limitaciones del Concreto Convencional

A pesar de sus numerosas ventajas, el concreto convencional presenta varias limitaciones que pueden afectar su desempeño en determinadas aplicaciones:

Baja Resistencia a la Tracción: Como se mencionó anteriormente, el concreto tiene una baja resistencia a la tracción en comparación con su resistencia a la compresión. Esto lo hace susceptible a la fisuración bajo cargas de tracción y flexión, lo que puede comprometer la integridad estructural si no se refuerza adecuadamente. (Olivera, 2022)

Fisuración y Contracción: El concreto tiende a fisurarse debido a la contracción por secado, la hidratación del cemento y la exposición a cambios térmicos. Las fisuras pueden permitir la entrada de agua y agentes agresivos, lo que lleva a la corrosión del refuerzo y la degradación del concreto (Colchon & Llanos, 2024).

Permeabilidad: La permeabilidad del concreto es una medida de su capacidad para permitir el paso de líquidos y gases. Un concreto altamente permeable es más vulnerable a los ataques químicos y a la penetración de agua, lo que puede afectar negativamente su durabilidad. (Colchon & Llanos, 2024)

Fragilidad: El concreto es un material frágil, lo que significa que no tiene una gran capacidad para deformarse antes de fallar. Esta falta de ductilidad puede ser una desventaja en aplicaciones donde se requieren materiales con alta capacidad de absorción de energía. (Colchon & Llanos, 2024)

Sostenibilidad: La producción de cemento, uno de los componentes principales del concreto, es una fuente significativa de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Además, el uso intensivo de agregados naturales puede llevar a la explotación excesiva de recursos naturales y a impactos ambientales negativos. (Ruiz, 2020)

Las limitaciones del concreto convencional subrayan la necesidad de buscar mejoras y alternativas. La baja resistencia a la tracción y la susceptibilidad a la fisuración requieren soluciones de refuerzo efectivas. La permeabilidad y fragilidad del concreto afectan su durabilidad, mientras que las preocupaciones ambientales impulsan la investigación hacia materiales más sostenibles. La incorporación de fibras de vidrio y residuos agroindustriales como la cáscara de huevo puede ofrecer soluciones innovadoras para superar estas limitaciones y mejorar el desempeño del concreto.

2.2.4. Concreto Reforzado con Fibras

Historia y Desarrollo del Concreto Reforzado con Fibras

El uso de fibras para reforzar materiales de construcción no es un concepto nuevo. De hecho, las civilizaciones antiguas ya utilizaban paja y otros materiales fibrosos para reforzar el barro y los ladrillos. Sin embargo, el desarrollo del concreto reforzado con fibras (CRF) como lo conocemos hoy comenzó en la década de 1960. Los primeros estudios se centraron en mejorar las propiedades del concreto utilizando fibras de acero. A medida que la tecnología avanzaba, se comenzaron a explorar otros tipos de fibras, como las de vidrio, polipropileno y naturales, para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto. (Reque, 2024)

El desarrollo del concreto reforzado con fibras representa un avance significativo en la ingeniería de materiales. Desde sus inicios con el uso de paja en la antigüedad hasta la incorporación de fibras sintéticas modernas, el objetivo ha sido siempre mejorar las propiedades del concreto. Este desarrollo ha permitido la creación de materiales de construcción más resistentes y duraderos.

Tipos de Fibras Utilizadas en la Construcción

- **Fibras de Acero:** Las fibras de acero son las más comunes y han sido ampliamente utilizadas para reforzar el concreto. Estas fibras mejoran la resistencia a la tracción, el control de fisuras y la durabilidad del concreto.

Son especialmente útiles en aplicaciones donde se requiere una alta resistencia a la flexión y al impacto. (Reque, 2024)

- **Fibras de Polipropileno:** Las fibras de polipropileno son una opción económica y efectiva para mejorar la resistencia al agrietamiento por contracción plástica y por temperatura en el concreto. También mejoran la tenacidad y la resistencia al impacto del material. (Reque, 2024)
- **Fibras de Vidrio:** Las fibras de vidrio son conocidas por su alta resistencia a la tracción y su capacidad para mejorar la durabilidad del concreto. Estas fibras son particularmente efectivas en aplicaciones donde se requiere resistencia a la corrosión y a los ataques químicos.
- **Fibras Naturales:** Las fibras naturales, como las de coco, sisal y bambú, están ganando popularidad debido a su bajo costo y su sostenibilidad. Estas fibras pueden mejorar las propiedades mecánicas del concreto y reducir su impacto ambiental. (Coavas & Segre, 2020)

Cada tipo de fibra ofrece ventajas específicas que las hacen adecuadas para diferentes aplicaciones. Las fibras de acero proporcionan una alta resistencia estructural, las de polipropileno mejoran la resistencia al agrietamiento, las de vidrio ofrecen durabilidad y resistencia química, y las fibras naturales son sostenibles y económicas. La elección de la fibra depende de las necesidades específicas del proyecto y las condiciones ambientales.

Propiedades y Ventajas del Concreto Reforzado con Fibras

El concreto reforzado con fibras presenta una serie de ventajas sobre el concreto convencional, incluyendo:

- **Mayor Resistencia a la Tracción y a la Flexión:** Las fibras mejoran significativamente la resistencia del concreto a las fuerzas de tracción y flexión, lo que reduce la susceptibilidad a la fisuración. (Barrionuevo, 2022)
- **Mejora en la Tenacidad y Ductilidad:** La incorporación de fibras aumenta la tenacidad del concreto, permitiéndole absorber más energía

antes de fallar. Esto es crucial en aplicaciones donde se requiere resistencia al impacto y a la carga dinámica. (Barrionuevo, 2022)

- **Control de Fisuración:** Las fibras ayudan a controlar la formación y propagación de fisuras en el concreto, lo que mejora su durabilidad y vida útil. Esto es especialmente importante en estructuras expuestas a condiciones severas o cambios térmicos. (Barrionuevo, 2022)
- **Reducción de la Permeabilidad:** Al disminuir la formación de fisuras, las fibras también reducen la permeabilidad del concreto, protegiéndolo de la penetración de agua y agentes agresivos. (Valeriano, 2023)

Las propiedades mejoradas del concreto reforzado con fibras lo hacen ideal para una amplia gama de aplicaciones, desde pavimentos y losas hasta estructuras sometidas a condiciones extremas. La capacidad de las fibras para mejorar la resistencia, la durabilidad y la tenacidad del concreto representa un avance significativo en la tecnología de materiales de construcción.

Mecanismos de Acción de las Fibras en el Concreto

Las fibras actúan en el concreto a través de varios mecanismos que mejoran sus propiedades mecánicas y de durabilidad:

- **Puenteo de Fisuras:** Las fibras distribuidas en la matriz de concreto actúan como puentes que evitan la propagación de fisuras. Este puenteo es esencial para mantener la integridad estructural del concreto bajo carga. (Machuca, 2023)
- **Distribución de Esfuerzos:** Las fibras ayudan a distribuir los esfuerzos de manera más uniforme a lo largo del concreto, lo que reduce la concentración de tensiones y minimiza el riesgo de fallos prematuros. (Machuca, 2023)
- **Mejora de la Cohesión Interna:** La presencia de fibras mejora la cohesión interna del concreto, lo que reduce la segregación de los componentes y mejora la homogeneidad del material. (Machuca, 2023)

- **Aumento de la Resistencia Post-Fisuración:** Las fibras proporcionan resistencia adicional después de la formación de fisuras, lo que aumenta la capacidad del concreto para soportar cargas adicionales sin fallar.

Los mecanismos de acción de las fibras en el concreto son fundamentales para comprender cómo mejoran las propiedades del material. El puenteo de fisuras y la distribución uniforme de esfuerzos son particularmente importantes para la durabilidad y la resistencia a largo plazo del concreto. Estos mecanismos permiten que el concreto reforzado con fibras mantenga su integridad estructural y funcionalidad bajo condiciones desafiantes.

2.2.5. Fibra de Vidrio en el Concreto

Descripción de la Fibra de Vidrio y sus Tipos

La fibra de vidrio es un material compuesto de filamentos extremadamente finos de vidrio, que se utilizan para reforzar diversos materiales, incluido el concreto. Las fibras de vidrio se producen al extruir vidrio fundido a través de orificios finos, creando filamentos que se pueden entrelazar o usar individualmente.

Tabla 3

Principales Propiedades Mecánicas y Físicas de la Fibra de Vidrio CemFIL Anti-Crack HD.

<i>Propiedad</i>	<i>Valor</i>
Resistencia a la Tracción del Filamento	1,7 GPa
Módulo Elástico de Young	72 Gpa
Gravedad Específica	2,68 g/cm ³
Alargamiento a la Rotura	2,4%
Diámetro del Filamento	14 μm
Longitud	12 mm
Relación Longitud-Diámetro	857:1
Número de fibras por kilo	212 millones

Nota: La tabla detalla las principales propiedades mecánicas y físicas de un filamento específico, incluyendo su resistencia a la tracción, módulo elástico, densidad, alargamiento a la rotura, y características dimensionales, lo que es crucial para evaluar su uso en aplicaciones de refuerzo.

Fuente: Condori (2022)

Existen varios tipos de fibra de vidrio, cada uno con propiedades específicas adecuadas para diferentes aplicaciones:

- **E-Glass (vidrio E):** Es el tipo más común de fibra de vidrio y se utiliza principalmente en aplicaciones de refuerzo debido a su buen equilibrio entre costo y rendimiento. Tiene excelentes propiedades de aislamiento eléctrico y resistencia a la tracción.
- **S-Glass (vidrio S):** Tiene una resistencia a la tracción y un módulo elástico más altos que el vidrio E, lo que lo hace adecuado para aplicaciones donde se requieren mayores propiedades mecánicas. Es más costoso que el vidrio E.
- **AR-Glass (vidrio AR):** Esta fibra de vidrio es resistente a los álcalis y se utiliza principalmente en la construcción, especialmente para reforzar concreto y morteros expuestos a ambientes alcalinos. Su resistencia a los álcalis la hace ideal para aplicaciones en las que el concreto estará en contacto continuo con la humedad o en condiciones adversas.

Cada tipo de fibra de vidrio ofrece ventajas específicas, lo que permite a los ingenieros y constructores seleccionar el material más adecuado según los requisitos del proyecto. El vidrio E es popular por su costo y versatilidad, mientras que el vidrio S y el vidrio AR se eligen por sus propiedades mecánicas superiores y resistencia a ambientes agresivos, respectivamente.

Propiedades Mecánicas de la Fibra de Vidrio

Las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio la hacen un material ideal para reforzar concreto y otros materiales de construcción:

- **Alta Resistencia a la Tracción:** La fibra de vidrio tiene una resistencia a la tracción significativamente alta, lo que permite que el concreto reforzado soporte mayores tensiones antes de fallar.
- **Bajo Peso:** A pesar de su alta resistencia, la fibra de vidrio es ligera, lo que contribuye a mantener el peso del concreto reforzado en niveles manejables.

- **Resistencia a la Corrosión:** La fibra de vidrio no se corroe, a diferencia del acero, lo que la hace ideal para aplicaciones en ambientes húmedos o expuestos a sustancias químicas.
- **Estabilidad Térmica:** Mantiene sus propiedades mecánicas a una amplia gama de temperaturas, lo que la hace adecuada para aplicaciones sometidas a variaciones térmicas. (Loayza, 2023)

Las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio son esenciales para su uso en aplicaciones de refuerzo. Su alta resistencia a la tracción y su resistencia a la corrosión son particularmente importantes en la construcción, donde la durabilidad y la capacidad de soportar cargas son críticas.

Beneficios de la Inclusión de Fibra de Vidrio en el Concreto

Incorporar fibra de vidrio en el concreto ofrece numerosos beneficios que mejoran significativamente el rendimiento del material:

- **Mejora de la Resistencia a la Tracción y Flexión:** La fibra de vidrio aumenta la resistencia del concreto a las fuerzas de tracción y flexión, lo que reduce la probabilidad de fisuración bajo carga.
- **Mayor Durabilidad:** La resistencia a la corrosión de la fibra de vidrio aumenta la durabilidad del concreto, especialmente en ambientes agresivos o húmedos.
- **Reducción de la Permeabilidad:** La fibra de vidrio reduce la formación de fisuras, lo que disminuye la permeabilidad del concreto y lo protege de la penetración de agua y agentes agresivos.
- **Aumento de la Ductilidad:** La incorporación de fibra de vidrio mejora la ductilidad del concreto, permitiéndole deformarse más antes de fallar, lo que es beneficioso en aplicaciones sísmicas y de impacto. (Loayza, 2023)

Los beneficios de la fibra de vidrio en el concreto son múltiples y se traducen en una mejora significativa de las propiedades mecánicas y de durabilidad del material. Estos beneficios hacen que el concreto reforzado con

fibra de vidrio sea una opción atractiva para aplicaciones en las que se requieren altas prestaciones.

Estadísticas y Resultados de Investigaciones sobre Concreto con Fibra de Vidrio

Las investigaciones sobre concreto reforzado con fibra de vidrio han arrojado datos significativos que destacan las mejoras en las propiedades del material:

- **Resistencia a la Compresión:** Estudios muestran que la adición de fibra de vidrio puede aumentar la resistencia a la compresión del concreto en un 15% a 30%, dependiendo de la dosificación y el tipo de fibra utilizada. (Olivera, 2022)
- **Resistencia a la Tracción:** La resistencia a la tracción del concreto reforzado con fibra de vidrio puede aumentar hasta un 50% en comparación con el concreto convencional. Este incremento es crucial para aplicaciones donde el concreto está sometido a fuerzas de tracción significativas. (Olivera, 2022)
- **Durabilidad:** La penetración de agentes agresivos como sulfatos y cloruros se reduce en aproximadamente un 40% en el concreto con fibra de vidrio, lo que aumenta su vida útil en ambientes agresivos. (Olivera, 2022)

Las estadísticas y resultados de las investigaciones proporcionan evidencia cuantitativa del impacto positivo de la fibra de vidrio en el concreto. Los aumentos en la resistencia a la compresión y tracción, junto con la mejora en la durabilidad, demuestran que la fibra de vidrio es un aditivo valioso que puede mejorar significativamente el rendimiento del concreto en diversas aplicaciones.

2.2.6. Uso de Residuos Agroindustriales en el Concreto

La sostenibilidad en la construcción se refiere al desarrollo de prácticas y materiales que minimicen el impacto ambiental y promuevan la eficiencia de los recursos durante todo el ciclo de vida de una estructura, desde el diseño y la

construcción hasta el mantenimiento y la demolición. En las últimas décadas, la industria de la construcción ha enfrentado una presión creciente para adoptar enfoques más sostenibles debido a los desafíos ambientales, como el cambio climático, la escasez de recursos naturales y la generación excesiva de residuos.

El concreto, como uno de los materiales de construcción más utilizados, juega un papel crucial en la sostenibilidad de la construcción. La producción de cemento, un componente principal del concreto, es una fuente significativa de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), que contribuyen al calentamiento global.

Por lo tanto, la industria ha explorado diversas estrategias para reducir el impacto ambiental del concreto, incluidas la incorporación de materiales reciclados y el uso de aditivos que mejoren su eficiencia y durabilidad. (Pérez & Pérez, 2022)

La adopción de prácticas sostenibles en la construcción es esencial para reducir el impacto ambiental y garantizar el uso eficiente de los recursos. La industria de la construcción tiene la responsabilidad de innovar y adoptar nuevas tecnologías y materiales que promuevan la sostenibilidad, y el concreto, como material clave, debe evolucionar para cumplir con estos objetivos.

Tipos de Residuos Agroindustriales Utilizados en el Concreto

El uso de residuos agroindustriales en el concreto no solo ayuda a reducir el impacto ambiental, sino que también mejora algunas de sus propiedades. Algunos de los residuos agroindustriales más comúnmente utilizados incluyen:

- **Cascarilla de Arroz:** La cascarilla de arroz es un subproducto abundante de la producción de arroz. Cuando se quema, produce ceniza de cascarilla de arroz, que tiene un alto contenido de sílice y puede mejorar la durabilidad y la resistencia del concreto. (Benavides, 2023)
- **Ceniza Volante:** La ceniza volante es un subproducto de la combustión del carbón en plantas de energía. Se utiliza ampliamente como aditivo en el concreto debido a su capacidad para mejorar la trabajabilidad y reducir la permeabilidad, aumentando así la durabilidad del concreto. (Benavides, 2023)

- **Cáscara de Huevo:** La cáscara de huevo, rica en carbonato de calcio, puede ser utilizada como aditivo en el concreto para mejorar su resistencia a la compresión y reducir el tiempo de fraguado. Además, promueve la sostenibilidad al reutilizar un residuo común de la industria alimentaria. (Benavides, 2023)

La utilización de residuos agroindustriales en el concreto ofrece una solución sostenible y económica para la industria de la construcción. Estos materiales no solo reducen la dependencia de recursos naturales vírgenes, sino que también mejoran las propiedades del concreto, lo que contribuye a la durabilidad y eficiencia del material.

Beneficios Ambientales y Económicos del Uso de Residuos Agroindustriales

El uso de residuos agroindustriales en el concreto proporciona numerosos beneficios ambientales y económicos:

- **Reducción de Residuos:** La incorporación de residuos agroindustriales en el concreto ayuda a reducir la cantidad de desechos que terminan en vertederos. Esto no solo disminuye el impacto ambiental, sino que también reduce los costos asociados con la gestión de residuos. (Meyer, 2019)
- **Menor Consumo de Recursos Naturales:** Al utilizar materiales reciclados como sustitutos parciales del cemento y los agregados, se disminuye la extracción y el uso de recursos naturales, lo que contribuye a la conservación del medio ambiente. (Ruiz, 2020)
- **Reducción de Emisiones de CO₂:** La producción de cemento es responsable de una gran cantidad de emisiones de CO₂. Al sustituir parcialmente el cemento con residuos agroindustriales, se pueden reducir significativamente estas emisiones, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático. (Ruiz, 2020)
- **Mejora de las Propiedades del Concreto:** Muchos residuos agroindustriales, como la ceniza volante y la ceniza de cascarilla de arroz,

mejoran las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto. Esto puede resultar en estructuras más duraderas y de menor mantenimiento, lo que se traduce en ahorros a largo plazo. (Ruiz, 2020)

Los beneficios ambientales y económicos del uso de residuos agroindustriales en el concreto son significativos. Al reducir los residuos, conservar los recursos naturales y mejorar las propiedades del concreto, estas prácticas promueven una construcción más sostenible y económica. La implementación de estos materiales puede contribuir a una industria de la construcción más responsable y eficiente.

2.2.7. Cáscara de Huevo como Aditivo en el Concreto

Composición Química de la Cáscara de Huevo

La cáscara de huevo es un subproducto abundante de la industria avícola y alimentaria. Está compuesta principalmente de carbonato de calcio (CaCO_3), que constituye aproximadamente el 95% de su peso. Además del carbonato de calcio, la cáscara de huevo contiene pequeñas cantidades de otros compuestos, como carbonato de magnesio, fosfato de calcio y proteínas orgánicas. Esta composición la hace un material atractivo para su uso como aditivo en el concreto, ya que el carbonato de calcio puede reaccionar con los componentes del cemento para mejorar las propiedades mecánicas del material. (Poma, 2021)

La alta concentración de carbonato de calcio en la cáscara de huevo es particularmente beneficiosa para su uso en el concreto, ya que puede actuar como un agente de refuerzo que mejora la matriz cementicia. Además, la presencia de otros compuestos puede contribuir a la mejora de las propiedades químicas y mecánicas del concreto.

Propiedades Mecánicas y Beneficios de la Cáscara de Huevo en el Concreto

La inclusión de cáscara de huevo en el concreto puede ofrecer varios beneficios mecánicos y funcionales:

- **Aumento de la Resistencia a la Compresión:** La cáscara de huevo molida puede mejorar la resistencia a la compresión del concreto. Estudios han demostrado que la adición de cáscara de huevo puede aumentar la densidad del concreto y mejorar su capacidad para soportar cargas. (Poma, 2021)
- **Reducción del Tiempo de Fraguado:** La presencia de carbonato de calcio en la cáscara de huevo actúa como un acelerante natural, reduciendo el tiempo de fraguado del concreto y permitiendo una construcción más rápida y eficiente. (Mujica & Taboada, 2023)
- **Mejora de la Durabilidad:** La cáscara de huevo puede mejorar la durabilidad del concreto al reducir su permeabilidad y aumentar su resistencia a la penetración de agua y otros agentes agresivos. Esto se traduce en una mayor vida útil de las estructuras de concreto. (Mujica & Taboada, 2023)

Las propiedades mecánicas mejoradas del concreto con cáscara de huevo hacen que este aditivo sea una opción viable para aplicaciones donde se requiere alta resistencia y durabilidad. La reducción del tiempo de fraguado también es beneficiosa en términos de eficiencia en la construcción.

2.2.8. Pruebas de resistencia para el concreto

Las pruebas de resistencia para el concreto son esenciales en la industria de la construcción para garantizar que las estructuras puedan soportar las cargas y condiciones ambientales a las que estarán expuestas. Estas pruebas permiten evaluar las propiedades mecánicas y físicas del concreto, asegurando que cumpla con los estándares de calidad y seguridad. A continuación, se describen en detalle las principales pruebas de resistencia del concreto y los implementos utilizados en cada una.

Prueba de Resistencia a la Compresión

La prueba de resistencia a la compresión es la más común y fundamental en la evaluación del concreto. Esta prueba mide la capacidad del concreto para

soportar cargas axiales sin fracturarse, lo que es crítico para asegurar la integridad estructural de edificios y otras infraestructuras. (Amaya, 2019)

Para llevar a cabo esta prueba, se preparan cilindros o cubos de concreto que son curados en condiciones controladas. Luego, las muestras se colocan en una máquina de compresión que aplica una carga axial de manera gradual hasta que la muestra falla. La carga máxima soportada se registra como la resistencia a la compresión del concreto.

Los implementos utilizados en esta prueba incluyen moldes cilíndricos o cúbicos para la preparación de las muestras, una máquina de compresión que aplica la carga, y cánulas o martillos vibradores para asegurar la adecuada compactación del concreto en los moldes, eliminando vacíos que podrían debilitar la muestra.

Prueba de Resistencia a la Flexión

La prueba de resistencia a la flexión mide la capacidad del concreto para resistir fuerzas de flexión, que son comunes en elementos estructurales como vigas y losas. En esta prueba, una viga de concreto se coloca sobre dos apoyos y se le aplica una carga en el centro hasta que se produce la rotura. La resistencia a la flexión se calcula en función de la carga aplicada y las dimensiones de la viga.

Para realizar esta prueba, se utiliza una máquina de flexión que aplica la carga de manera controlada, moldes prismáticos para preparar las vigas de concreto, y soportes o rodillos que sostienen la muestra durante la prueba. Esta prueba es crucial para determinar cómo se comportará el concreto en situaciones donde debe soportar tensiones de flexión.

Prueba de Tracción Indirecta (Prueba Brasileña)

La prueba de tracción indirecta, también conocida como prueba brasileña, evalúa la resistencia a la tracción del concreto. Aunque el concreto es un material que generalmente se evalúa en compresión, su resistencia a la tracción es igualmente importante, especialmente en elementos sometidos a tensiones de tracción como losas y pavimentos. (Amaya, 2019)

En esta prueba, un cilindro de concreto se somete a una carga diametral que lo obliga a fracturarse a lo largo de su diámetro. La carga en el momento de la fractura se utiliza para calcular la resistencia a la tracción indirecta.

Los implementos necesarios incluyen una máquina de compresión equipada con accesorios específicos para la prueba brasileña, y cilindros de concretos preparados con dimensiones estándar. Esta prueba proporciona información valiosa sobre la capacidad del concreto para resistir tensiones que pueden provocar grietas.

Prueba de Abrasión

La prueba de resistencia a la abrasión es crucial para evaluar la durabilidad del concreto en superficies expuestas a desgaste, como pavimentos y suelos industriales. Esta prueba mide la capacidad del concreto para resistir el desgaste por fricción, que puede ser causado por el tráfico vehicular o el movimiento de maquinaria. (Villacrés, 2020)

Durante la prueba, una muestra de concreto se somete a fricción mediante discos o rodillos abrasivos, y se mide la pérdida de masa como indicador de su resistencia al desgaste.

Los implementos utilizados para esta prueba incluyen una máquina de abrasión, que aplica la fricción controlada sobre la superficie del concreto, y muestras planas de concreto preparadas específicamente para esta prueba. Los resultados ayudan a determinar la adecuación del concreto para aplicaciones donde la resistencia al desgaste es crítica.

Prueba de Permeabilidad

La permeabilidad del concreto es una propiedad que influye directamente en su durabilidad, especialmente en ambientes donde está expuesto a agua o agentes químicos agresivos. La prueba de permeabilidad mide la capacidad del concreto para resistir la penetración de agua, lo que es crucial para prevenir problemas como la corrosión de las armaduras de acero o el deterioro general de la estructura. (Villacrés, 2020)

En esta prueba, una muestra de concreto se coloca en una cámara de permeabilidad donde se aplica presión de agua, y se mide la cantidad de agua que penetra a través de la muestra en un tiempo determinado.

Para realizar esta prueba, se utilizan cámaras de permeabilidad diseñadas para mantener una presión constante sobre la muestra, moldes cilíndricos para preparar las muestras de concreto, y dispositivos de medición que registran la cantidad de agua que penetra. Los resultados permiten evaluar la calidad del concreto en términos de su resistencia a la absorción de agua, lo que es fundamental para aplicaciones en condiciones húmedas o expuestas a agua subterránea.

Prueba de Resistencia al Fuego

La resistencia al fuego es una propiedad esencial del concreto, especialmente en aplicaciones donde la seguridad contra incendios es una preocupación primordial. La prueba de resistencia al fuego mide cómo el concreto soporta altas temperaturas sin perder su integridad estructural. (Villacrés, 2020)

Durante la prueba, una muestra de concreto se expone a temperaturas extremas en un horno especializado, mientras se monitorea la temperatura interna y la capacidad de la muestra para mantener su forma y resistencia.

Los implementos necesarios para esta prueba incluyen hornos capaces de alcanzar y mantener altas temperaturas de manera controlada, termopares para medir la temperatura dentro de la muestra, y moldes prismáticos o cúbicos para preparar las muestras. Esta prueba es vital para garantizar que el concreto utilizado en edificios y otras infraestructuras pueda resistir incendios sin colapsar.

Las pruebas de resistencia del concreto son indispensables para asegurar que este material cumpla con los requisitos estructurales y de durabilidad necesarios para su uso en construcción. Cada prueba está diseñada para evaluar una propiedad específica del concreto, utilizando implementos especializados que garantizan la precisión y reproducibilidad de los resultados. Al llevar a cabo estas pruebas, los ingenieros pueden tomar decisiones

informadas sobre la selección y uso del concreto, asegurando la seguridad y longevidad de las estructuras construidas con este material.

2.2.9. Combinación de Fibra de Vidrio y Cáscara de Huevo en el Concreto

Con la presente investigación sobre la combinación de fibra de vidrio y cáscara de huevo como aditivos en el concreto mejorará significativamente sus propiedades mecánicas y durabilidad en comparación con el concreto reforzado únicamente con fibra de vidrio o cáscara de huevo por separado. Se espera que la sinergia entre la alta resistencia a la tracción de la fibra de vidrio y las propiedades de aceleración del fraguado y mejora de la compresión de la cáscara de huevo resulte en un material de construcción superior.

Específicamente, la hipótesis propone que esta combinación puede aumentar la resistencia a la compresión y a la tracción, mejorar la durabilidad, reducir la permeabilidad y disminuir el tiempo de fraguado del concreto.

La combinación de estos dos materiales complementarios puede abordar múltiples limitaciones del concreto convencional. La fibra de vidrio aporta resistencia y durabilidad, mientras que la cáscara de huevo contribuye a un fraguado más rápido y a la mejora de la resistencia inicial. Esta sinergia tiene el potencial de crear un concreto más eficiente y sostenible.

Mecanismos de Interacción entre la Fibra de Vidrio y la Cáscara de Huevo en la Matriz del Concreto

La interacción entre la fibra de vidrio y la cáscara de huevo dentro de la matriz del concreto se basa en varios mecanismos complementarios:

- **Puenteo de Fisuras:** La fibra de vidrio actúa como un puente que evita la propagación de fisuras en el concreto. Esto es crucial para mantener la integridad estructural bajo cargas de tracción y flexión (Almusallam et al., 2013).

- **Aceleración del Fraguado:** La cáscara de huevo, rica en carbonato de calcio, actúa como un acelerante natural del fraguado del concreto, permitiendo una ganancia rápida de resistencia inicial. Este efecto puede complementar la resistencia a largo plazo proporcionada por la fibra de vidrio (Ruiz, 2020).
- **Mejora de la Cohesión:** La combinación de fibra de vidrio y cáscara de huevo mejora la cohesión interna del concreto, lo que reduce la segregación de los componentes y mejora la homogeneidad del material. Esto resulta en una mejor distribución de esfuerzos y una mayor resistencia global. (Ruiz, 2020).

Los mecanismos de interacción entre estos aditivos fortalecen la estructura interna del concreto, mejorando tanto su resistencia inicial como su durabilidad a largo plazo. La combinación de las propiedades individuales de la fibra de vidrio y la cáscara de huevo puede resultar en un material con características mecánicas superiores y una mayor vida útil.

Potenciales Mejoras en las Propiedades Mecánicas del Concreto

La combinación de fibra de vidrio y cáscara de huevo en el concreto tiene el potencial de mejorar varias propiedades mecánicas clave:

Resistencia a la Compresión: Se espera que la inclusión de cáscara de huevo aumente la densidad y la cohesión de la matriz del concreto, lo que mejora su resistencia a la compresión. Estudios previos han demostrado aumentos en la resistencia a la compresión de hasta un 20% con la adición de cáscara de huevo (Zevallos, 2023).

Resistencia a la Tracción y Flexión: La fibra de vidrio proporciona una alta resistencia a la tracción, lo que reduce la susceptibilidad del concreto a la fisuración bajo cargas de tracción y flexión. Combinada con la cáscara de huevo, se espera una mejora significativa en estas propiedades. (Zevallos, 2023)

Durabilidad: La reducción de la permeabilidad y la mejora de la resistencia a la penetración de agentes agresivos, como sulfatos y cloruros, son beneficios adicionales esperados de esta combinación. La durabilidad mejorada implica una mayor resistencia del concreto en condiciones ambientales adversas. (Ortega & Saavedra, 2021)

Reducción del Tiempo de Fraguado: La cáscara de huevo actúa como un acelerante del fraguado, lo que puede reducir el tiempo necesario para alcanzar la resistencia inicial del concreto. Esto es particularmente útil en proyectos que requieren un avance rápido en las etapas de construcción. (Mujica & Taboada, 2023)

Las mejoras potenciales en las propiedades mecánicas del concreto con la combinación de fibra de vidrio y cáscara de huevo son significativas. Estos avances pueden resultar en un material de construcción más fuerte, duradero y eficiente, adecuado para una amplia gama de aplicaciones estructurales. Además, la reducción del tiempo de fraguado puede aumentar la eficiencia en la construcción, proporcionando beneficios tanto técnicos como económicos.

Requisitos Específicos para el Uso de Fibra de Vidrio y Cáscara de Huevo en el Concreto

Para la inclusión de fibra de vidrio y cáscara de huevo en el concreto, es necesario cumplir con ciertos requisitos específicos que aseguren la eficacia y seguridad del material resultante.

Fibra de Vidrio:

Compatibilidad Química: La fibra de vidrio debe ser compatible con los componentes del concreto, especialmente en términos de resistencia a la alcalinidad del cemento. Las fibras de vidrio AR (resistentes a los álcalis) son preferidas para esta aplicación. (Poma, 2021)

Dosificación: La cantidad de fibra de vidrio añadida debe estar dentro de los rangos recomendados por las normas para asegurar que las propiedades mecánicas del concreto se mejoren sin comprometer su trabajabilidad. Típicamente, se utiliza un rango de 0.5% a 2% en volumen. (Poma, 2021)

Longitud y Distribución: La longitud de las fibras debe ser adecuada para la aplicación específica y deben estar bien distribuidas en la mezcla para evitar la formación de grumos y asegurar una mejora uniforme en las propiedades del concreto. (Palacios & Sánchez, 2023)

Cáscara de Huevo:

- **Preparación y Pureza:** La cáscara de huevo, utilizada como un componente alternativo en la mezcla de concreto, debe pasar por un proceso riguroso de limpieza y molienda para alcanzar un tamaño de partícula adecuado. Este tamaño de partícula es crucial para garantizar una distribución uniforme dentro de la mezcla y para evitar la formación de vacíos o imperfecciones en el material resultante. Además, la eliminación de contaminantes orgánicos es esencial, ya que cualquier impureza podría afectar negativamente las propiedades químicas y físicas del concreto, como su durabilidad, resistencia y capacidad de fraguado. La preparación cuidadosa de las cáscaras asegura que su inclusión no comprometa la integridad estructural del concreto reforzado (Flores, 2021).
- **Proporción en la Mezcla:** La dosificación de la cáscara de huevo en la mezcla de concreto debe ser controlada con precisión para evitar efectos adversos en la trabajabilidad, cohesión y resistencia del material. Estudios sugieren que una sustitución parcial del cemento por polvo de cáscara de huevo en un rango del 1% al 5% es ideal. Este porcentaje debe ajustarse en función de los requerimientos específicos de cada proyecto y del comportamiento deseado del concreto. Una proporción demasiado alta podría debilitar el material, afectando su capacidad de carga, mientras que una proporción demasiado baja podría no proporcionar los beneficios esperados en términos de sostenibilidad y reducción de costos (Mujica & Taboada, 2023).
- **Compatibilidad con Otros Componentes:** La cáscara de huevo debe ser compatible con otros componentes del concreto, como el cemento, los agregados, y los aditivos, para asegurar que no interfiera con las

reacciones químicas críticas durante el fraguado y endurecimiento. Las propiedades químicas de la cáscara de huevo, que contiene principalmente carbonato de calcio, deben complementarse con los materiales tradicionales del concreto para mejorar, en lugar de comprometer, su rendimiento. Por ejemplo, su interacción con agentes plastificantes o retardadores de fraguado debe ser estudiada para asegurar que su inclusión no afecte negativamente la hidratación del cemento o el desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo. (Barrionuevo, 2022)

La incorporación exitosa de la cáscara de huevo y la fibra de vidrio en el concreto depende de cumplir con estos requisitos específicos. La compatibilidad química, la dosificación adecuada y la preparación minuciosa de los materiales son factores clave que determinan el rendimiento óptimo del concreto reforzado con materiales alternativos en aplicaciones prácticas de construcción. A través de una investigación continua y estudios de caso controlados, se puede optimizar esta tecnología, ofreciendo una solución viable y sostenible que puede reducir el impacto ambiental de la industria de la construcción.

2.3. MARCO LEGAL

2.3.1. Normativas y Estándares Internacionales

El uso de aditivos en el concreto está regulado por una serie de normativas y estándares internacionales y locales que aseguran la calidad y seguridad de las construcciones. Estas normativas establecen los criterios y procedimientos que deben seguirse para la incorporación de diferentes tipos de aditivos en las mezclas de concreto.

ASTM International: La ASTM (American Society for Testing and Materials) proporciona una serie de normas que regulan los materiales de construcción, incluyendo los aditivos para el concreto. Algunas normas relevantes incluyen:

- ASTM C494/C494M: Especificación estándar para aditivos químicos para concreto.
- ASTM C618: Especificación estándar para cenizas volantes y otros materiales pozolánicos utilizados como adiciones minerales en concreto.
- ASTM C1399/C1399M: Método de prueba estándar para determinar la resistencia residual del concreto reforzado con fibra (ASTM, 2020).

ACI (American Concrete Institute): El ACI establece directrices para la proporción, especificación y producción de concreto reforzado con fibra, así como para la utilización de materiales suplementarios. Documentos relevantes incluyen:

- ACI 544.1R-96: Report on Fiber-Reinforced Concrete.
- ACI 232.2R-18: Use of Fly Ash in Concrete.
- ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI, 2019).
- ACI 211: Método de Dosificación para Mezclas de Concreto: El Método de Dosificación ACI 211 es un procedimiento estándar para determinar las proporciones adecuadas de los materiales que componen el concreto (cemento, agua, agregados, y aditivos) para obtener una mezcla que cumpla con los requisitos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad. Este método se utiliza ampliamente en la industria para asegurar la calidad y consistencia del concreto producido.

2.3.2. Constitución De La República Del Ecuador.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se

prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento, y uso de armas 22 químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008)

Art. 38, numeral 6.- Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008)

Art. 54.- Las personas o entidades que presten servicios públicos o que produzcan o comercialicen bienes de consumo, serán responsables civil y penalmente por la deficiente prestación del servicio, por la calidad defectuosa del producto, o cuando sus condiciones no estén de acuerdo con la publicidad efectuada o con la descripción que incorpore. Las personas serán responsables por la mala práctica en el ejercicio de su profesión, arte u oficio, en especial aquella que ponga en riesgo la integridad o la vida de las personas. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008)

Art. 66, numeral 15.- El derecho a desarrollar actividades económicas, en forma individual o colectiva, conforme a los principios de solidaridad, responsabilidad social y ambiental. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008)

Art. 385, numeral 3.- Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulse la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyen a la realización del buen vivir. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008)

2.3.2 Código Orgánico Ambiental (Coa)

El Código Orgánico del Ambiente (COA) es la legislación más relevante en materia ambiental en el país en la actualidad, ya que regula los

temas necesarios para una gestión ambiental adecuada. (Ministerio del Ambiente, 2017)

Art. 1.- Objeto. Este Código tiene por objeto garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o Sumak Kawsay.

Las disposiciones de este Código regularán los derechos, deberes y garantías ambientales contenidos en la Constitución, así como los instrumentos que fortalecen su ejercicio, los que deberán asegurar la sostenibilidad, conservación, protección y restauración del ambiente, sin perjuicio de lo que establezcan otras leyes sobre la materia que garanticen los mismos fines. (Ministerio del Ambiente, 2017)

Art. 2.- Ámbito de aplicación. Las normas contenidas en este Código, así como las reglamentarias y demás disposiciones técnicas vinculadas a esta materia, son de cumplimiento obligatorio para todas las entidades, organismos y dependencias que comprenden el sector público, personas naturales y jurídicas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, que se encuentren permanente o temporalmente en el territorio nacional.

La regulación del aprovechamiento de los recursos naturales no renovables y de todas las actividades productivas que se rigen por sus respectivas leyes, deberán observar y cumplir con las disposiciones del presente Código en lo que respecta a la gestión ambiental de las mismas. (Ministerio del Ambiente, 2017)

Art. 3.- Fines. Son fines de este Código:

1. Regular los derechos, garantías y principios relacionados con el ambiente sano y la naturaleza, previstos en la Constitución y los instrumentos internacionales ratificados por el Estado;

2. Establecer los principios y lineamientos ambientales que orienten las políticas públicas del Estado. La política nacional ambiental deberá estar

incorporada obligatoriamente en los instrumentos y procesos de planificación, decisión y ejecución, a cargo de los organismos y entidades del sector público;

3. Establecer los instrumentos fundamentales del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su aplicación;

4. Establecer, implementar e incentivar los mecanismos e instrumentos para la conservación, uso sostenible y restauración de los ecosistemas, biodiversidad y sus componentes, patrimonio genético, Patrimonio Forestal Nacional, servicios ambientales, zona marino costera y recursos naturales;

5. Regular las actividades que generen impacto y daño ambiental, a través de normas y parámetros que promuevan el respeto a la naturaleza, a la diversidad cultural, así como a los derechos de las generaciones presentes y futuras;

6. Regular y promover el bienestar y la protección animal, así como el manejo y gestión responsable del arbolado urbano;

7. Prevenir, minimizar, evitar y controlar los impactos ambientales, así como establecer las medidas de reparación y restauración de los espacios naturales degradados;

8. Garantizar la participación de las personas de manera equitativa en la conservación, protección, restauración y reparación integral de la naturaleza, así como en la generación de sus beneficios;

9. Establecer los mecanismos que promuevan y fomenten la generación de información ambiental, así como la articulación y coordinación de las entidades públicas, privadas y de la sociedad civil responsables de realizar actividades de gestión e investigación ambiental, de conformidad con los requerimientos y prioridades estatales;

10. Establecer medidas eficaces, eficientes y transversales para enfrentar los efectos del cambio climático a través de acciones de mitigación y adaptación; y,

11. Determinar las atribuciones de la Autoridad Ambiental Nacional como entidad rectora de la política ambiental nacional, las competencias ambientales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados y la implementación del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental. (Ministerio del Ambiente, 2017)

2.3.3. Normas locales

Normas INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización): En Ecuador, el INEN proporciona normas para la utilización de aditivos y agregados en el concreto. Estas normas aseguran que los materiales utilizados en la construcción cumplan con los requisitos de calidad y seguridad.

- INEN 0872: Áridos para hormigón – Requisitos.
- INEN 1763: Muestreo de hormigón premezclado – Métodos.
- INEN 1855: Hormigón preparado en obra – Requisitos (INEN, 2011).

Las normativas y estándares establecidos por organismos internacionales y locales son esenciales para asegurar la calidad y seguridad en el uso de aditivos en el concreto. Estas regulaciones proporcionan un marco confiable que guía a los ingenieros y constructores en la utilización adecuada de materiales suplementarios para mejorar las propiedades del concreto.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación

Según Arias “la investigación cuantitativa considera que el conocimiento debe ser objetivo, y que este se genera a partir de un proceso deductivo”. (Arias , 2018, p. 52) La investigación se llevó a cabo principalmente utilizando un enfoque cuantitativo, el cual se centró en la recopilación y análisis de datos numéricos para evaluar el comportamiento del concreto reforzado con fibra de vidrio y cáscara de huevo.

Este enfoque permitió medir de manera precisa las variables involucradas, como la resistencia a la compresión y la flexión, proporcionando resultados estadísticamente significativos y objetivos. Las pruebas y mediciones cuantitativas se realizaron para determinar cómo los materiales de refuerzo afectaban las propiedades mecánicas del concreto, asegurando así una evaluación rigurosa basada en datos empíricos y medibles

Enfoque Cuantitativo

El enfoque cuantitativo se empleó para la recolección y análisis de datos mediante ensayos de laboratorio. Este enfoque se centró en la medición objetiva de variables específicas, tales como la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción, el tiempo de fraguado y la durabilidad del concreto. Los datos cuantitativos se obtuvieron a través de pruebas estandarizadas que siguen las normativas internacionales y locales, como ASTM y EN, asegurando la precisión y reproducibilidad de los resultados.

El enfoque cuantitativo fue esencial para obtener datos objetivos y medibles sobre el impacto de la fibra de vidrio y la cáscara de huevo en las propiedades del concreto. Los resultados obtenidos a través de este enfoque proporcionaron una base sólida para la comparación entre las diferentes mezclas y permitieron validar la hipótesis planteada.

Alcance de la investigación

La investigación correlacional busca identificar variables que parecen interactuar entre sí, de modo que cuando una variable cambia, la otra también lo hace, permitiendo al investigador observar patrones de relación sin manipular variables directamente.

El enfoque correlacional es apropiado cuando el objetivo es examinar las relaciones entre dos o más variables para entender cómo pueden influirse mutuamente. Por ejemplo, si se quiere investigar si existe una relación entre el uso de fibra de vidrio en concreto y la resistencia a la compresión, se podría utilizar un enfoque correlacional para analizar cómo estos factores están relacionados, sin intervenir directamente en los procesos involucrados.

El alcance de esta investigación abarca el estudio detallado del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de vidrio y cáscara de huevo. La investigación se centró en evaluar cómo la adición de estos materiales influye en las propiedades fundamentales del concreto, tales como la resistencia a la compresión, la durabilidad y el tiempo de fraguado. Además, se consideraron los efectos sinérgicos de combinar ambos aditivos en distintas proporciones para determinar la mezcla óptima.

Definir claramente el alcance permitió enfocar la investigación en aspectos específicos y críticos del comportamiento del concreto, asegurando que los resultados fueran relevantes y útiles para aplicaciones prácticas.

3.2. Técnica e instrumentos para obtener los datos

Técnicas de Recolección de Datos

La recolección de datos en esta investigación se llevó a cabo utilizando técnicas experimentales que permitieron evaluar de manera precisa y objetiva las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibra de vidrio y cáscara de huevo. Las principales técnicas utilizadas fueron:

1. **Ensayos de Compresión:** Se realizaron pruebas de compresión en cilindros de concreto para medir la resistencia a la compresión de las diferentes mezclas. Estos ensayos siguieron los procedimientos estándar de la norma ASTM C39/C39M.
2. **Tiempo de Fraguado:** Se midió el tiempo de fraguado inicial y final del concreto utilizando el aparato de Vicat, conforme a la norma ASTM C191.

Las técnicas experimentales seleccionadas permitieron obtener datos cuantitativos precisos sobre las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto. Estas técnicas son reconocidas y estandarizadas a nivel internacional, lo que garantiza la validez y comparabilidad de los resultados.

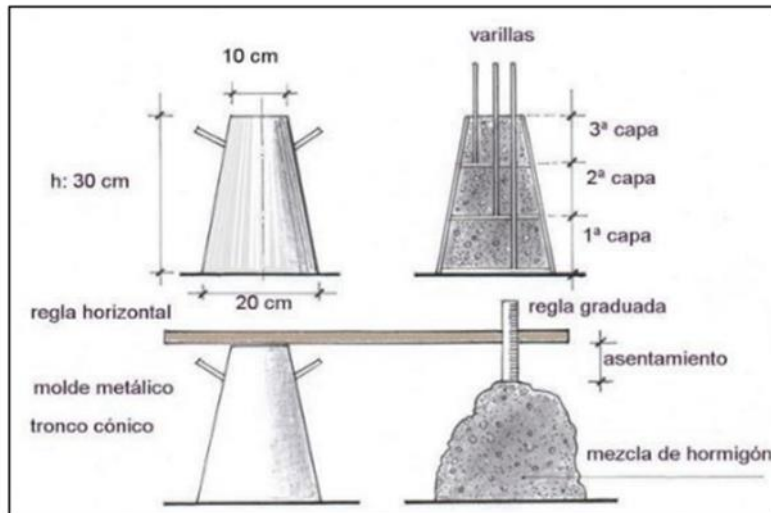
Instrumentos de Recolección de Datos

Los instrumentos utilizados en la recolección de datos fueron esenciales para asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos. Los principales instrumentos empleados incluyeron:

1. **Máquina Universal de Ensayos:** Utilizada para realizar ensayos de compresión y tracción, esta máquina permite aplicar fuerzas controladas y medir la resistencia de las muestras de concreto.
2. **Aparato de Vicat:** Utilizado para medir el tiempo de fraguado inicial y final del cemento y las mezclas de concreto, proporcionando datos cruciales sobre la trabajabilidad y el comportamiento del fraguado.
3. **Termómetro Digital:** Utilizado para medir la temperatura de las mezclas de concreto, asegurando que se mantengan dentro de los rangos óptimos durante el proceso de fraguado y endurecimiento.
4. **Cono de Abrams para Toma de Revenimiento:** Utilizado para medir la consistencia y la trabajabilidad del concreto fresco. Sus partes incluyen el molde troncocónico, la varilla de compactación y la base de soporte.

Figura 4

Prueba Cono de Abrams



Fuente: Triana Waldron (2021)

La utilización de instrumentos precisos y estandarizados fue fundamental para obtener datos confiables y reproducibles. Cada instrumento fue seleccionado y calibrado para cumplir con las normativas pertinentes, asegurando la exactitud de las mediciones y la validez de los resultados.

3.3. Población y muestra

La población de esta investigación incluye todas las posibles mezclas de concreto que pueden incorporar fibra de vidrio y cáscara de huevo como aditivos. Esto abarca una amplia gama de combinaciones posibles en términos de proporciones de fibra de vidrio y cáscara de huevo, así como diversas formulaciones de concreto que podrían ser utilizadas en diferentes contextos de construcción.

Definir la población de esta manera permite considerar todas las variaciones posibles en la formulación del concreto, lo que es crucial para entender el impacto de estos aditivos en diversas aplicaciones.

Selección de la Muestra

Para esta investigación, se utilizó un método de muestreo no probabilístico e intencional. Este tipo de muestreo fue elegido debido a la

necesidad de seleccionar específicamente aquellas combinaciones de aditivos que se consideran más prometedoras para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. La muestra seleccionada consistió en 36 mezclas de concreto distribuidas en 6 grupos, cada uno con diferentes proporciones de fibra de vidrio y cáscara de huevo.

El uso de un muestreo intencional permitió enfocar los recursos y esfuerzos experimentales en las combinaciones más relevantes, maximizando así la eficiencia del estudio y la pertinencia de los resultados.

Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra fue determinado para asegurar una adecuada representación de las diferentes combinaciones de fibra al 3%, 5 % y 10% y permitir un análisis estadístico robusto. Esto permitió obtener un conjunto de datos suficiente para evaluar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto de manera precisa y fiable, la mismas que se realizaran en n tiempo de fraguado de 7, 14 y 28 días

Tabla 4
Descripción de la muestra

Grupo	Composición	Muestras a 7 días	Muestras a 14 días	Muestras a 28 días	Total Muestras
Grupo 1	3% de fibra de vidrio	2	2	2	6
Grupo 2	5% de fibra de vidrio	2	2	2	6
Grupo 3	10% de fibra de vidrio	2	2	2	6
Grupo 4	3% de fibra de vidrio y cáscara de huevo 3%	2	2	2	6

Grupo 5	5% de fibra de vidrio y cáscara de huevo 5%	2	2	2	6
Grupo 6	10% de fibra de vidrio y cáscara de huevo 10%	2	2	2	6
Total	-	12	12	12	36

Nota :La tabla describe la composición y el tamaño de las muestras utilizadas para evaluar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto a diferentes tiempos de fraguado (7, 14 y 28 días). Se han considerado diferentes combinaciones de fibra de vidrio y cáscara de huevo en porcentajes del 3%, 5% y 10%, asegurando una representación adecuada para un análisis estadístico robusto.

Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

El tamaño de la muestra seleccionado fue suficiente para proporcionar datos estadísticamente significativos, permitiendo un análisis detallado y la validación de la hipótesis de investigación.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

4.1. Presentación y análisis de ensayos

Tabla 5
Diseño del concreto

DISEÑO DE HORMIGON			
UBICACIÓN	CIUDAD DE GUAYAQUIL	CEMENTO	HOLCIM FUERTE TIPO GU
F'C MPA	210 KG/CM2	DENSIDAD DEL CEMENTO	2990 KG/M3
T MAX AGREGADO GRUESO	19MM	MF ARENA	2.9
PUS AGREGADO KG/CM3	1260	PUS ARENA KG/CM3	1353
PUC AGREGADO KG/CM3	1468	PUC ARENA KG/CM3	1602
AGREGADO GRUESO DSSS KG/CM3	2610	ARENA ADSS DSSS KG/CM3	2589

Nota: La tabla proporciona especificaciones clave para el diseño de hormigón en la ciudad de Guayaquil, incluyendo detalles sobre el tipo de cemento utilizado, las características del agregado grueso y la arena, así como la resistencia y densidad del cemento
Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

La tabla presenta las especificaciones necesarias para el diseño de hormigón en la ciudad de Guayaquil, utilizando cemento Holcim Fuerte Tipo GU con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm². Se incluyen parámetros críticos como la densidad del cemento (2990 kg/m³), el tamaño máximo del agregado grueso (19 mm), y el módulo de finura de la arena (2.9), que aseguran una mezcla adecuada en términos de trabajabilidad y resistencia. Además, se detallan los pesos unitarios sueltos y compactos de los agregados, así como sus densidades en estado saturado y superficialmente seco, lo que es crucial para la dosificación precisa de los materiales y para garantizar la calidad y durabilidad del concreto en las condiciones específicas de Guayaquil.

Elaboración de los Cilindro (testigos)

Figura 5

Selección de Fibra de Vidrio



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 6

Peso de fibra de vidrio



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 7

Proceso de secado de cáscara de huevo



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 8

Se realiza el proceso de trituración de cáscara de huevo



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 9

Tamizaje de cascara de huevo para que no queden grumos



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 10

Granulometría de arena



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 11

Granulometría de piedra 3/4



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 12

Materiales para elaboración de testigos



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 13

Se realiza un hormigón de 210kg/cm² con fibra de vidrio y ceniza de cáscara de huevo



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 14

Se realiza revendiendo de hormigón



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 15

Toma de temperatura de mezcla de hormigón previo al llenado de los moldes cilíndricos



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 16

Llenado de cilindro con la muestra de hormigón con fibra de vidrio y cáscara de huevo



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 17

Se realiza la prueba de revendiendo



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 18

Buena de tamizaje del agregado grueso y fino



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 19

pesaje del cilindro



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 20

Se realiza a la limpieza de cilindro para colocar el hormigón con fibras



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 21

Se realiza el peso de cada % de ceniza de cáscara de huevo



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 22

Pruebas de ensayo de cilindros a los 14 días



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 23

Ensayos de compresión por cada porcentaje de fibra de vidrio a los 7 días de curado



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 24

Medición del diámetro y la altura del cilindro



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Ensayo fibra de vidrio al 3%

Tabla 6

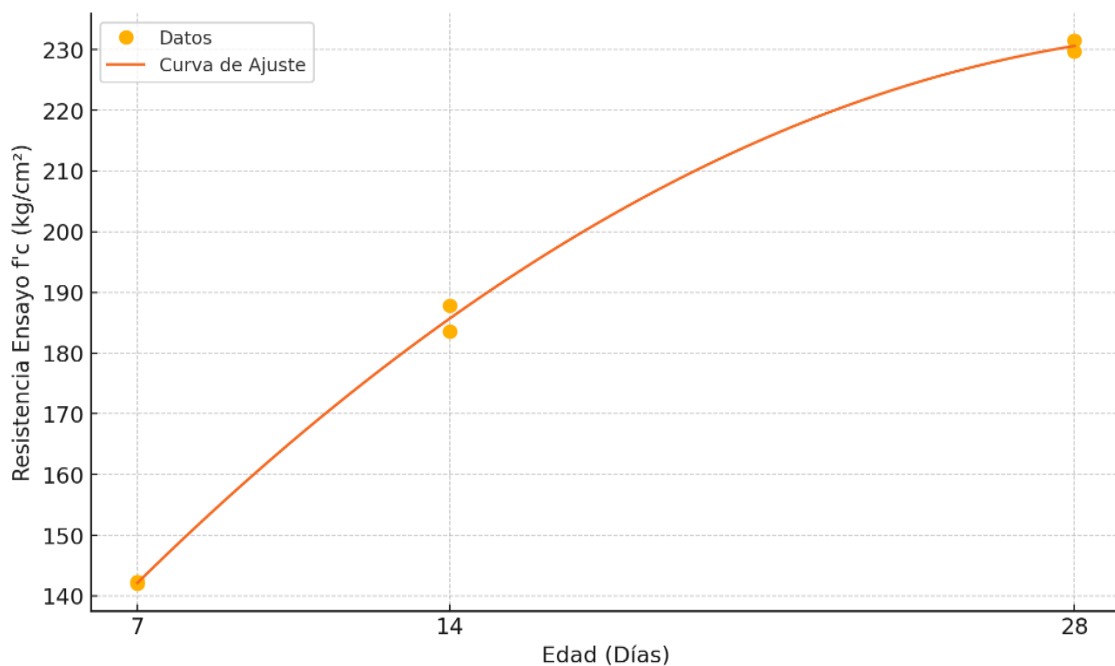
Ensayo fibra de vidrio al 3%

Testigo	Edad (Días)	Resistencia Ensayo f'_c (kg/cm ²)
1	7	142.3
2	7	142.0
3	14	183.6
4	14	187.8
5	28	229.7
6	28	231.5

Nota: Datos del ensayo con fibra al 3% de los prototipos 1 al 6
Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 25

Ensayo fibra de vidrio al 3%



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

El gráfico ilustra la relación entre la edad del concreto reforzado con un 3% de fibra de vidrio y su resistencia a la compresión. Se observa un aumento significativo en la resistencia entre los días 7 y 14, con un incremento de aproximadamente 29%, lo que refleja un crecimiento rápido inicial típico del

concreto durante su período de curado. Entre los días 14 y 28, el incremento en la resistencia se modera, alcanzando un máximo alrededor de los 231.5 kg/cm². Esta tendencia sugiere que la adición de fibra de vidrio contribuye a una mejora sustancial en la resistencia durante las primeras etapas de curado, pero el efecto se estabiliza a medida que el concreto se acerca a su resistencia máxima esperada a los 28 días.

Tabla 7

Ensayo fibra de vidrio al 5%

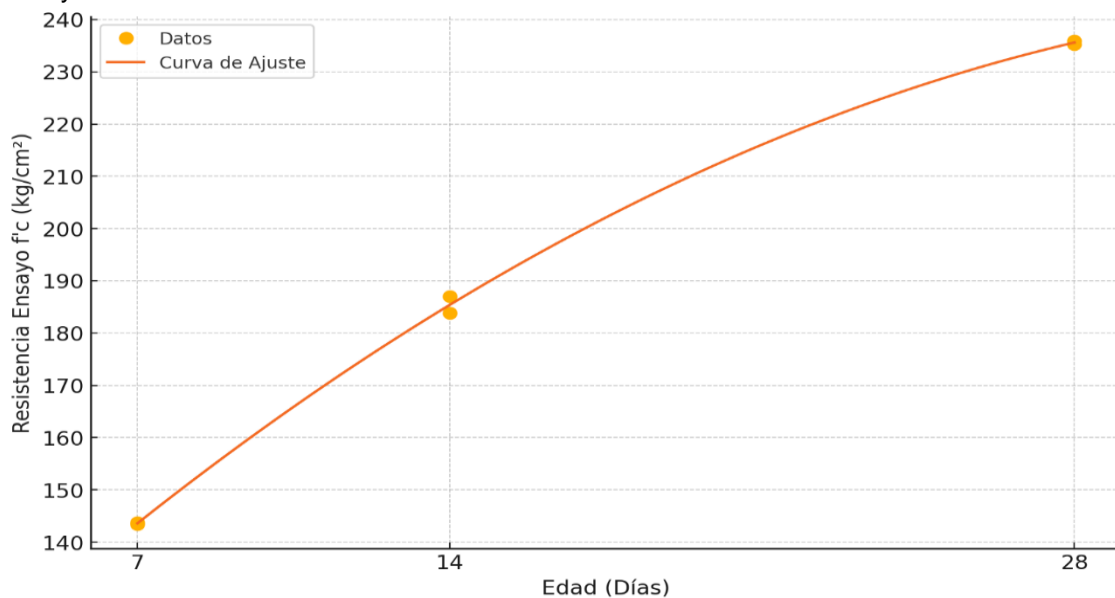
Testigo	Edad (Días)	Resistencia Ensayo f'c (kg/cm ²)
7	7	143.4
8	7	143.8
9	14	183.8
10	14	187.0
11	28	235.9
12	28	235.3

Nota: Datos del ensayo con fibra al 5% de los prototipos 7 al 12

Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 26

Ensayo fibra de vidrio al 5%



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

El gráfico muestra la relación entre la edad del concreto con fibra de vidrio y resistencia a la compresión de 5%. Observamos que en los primeros 7 días, la

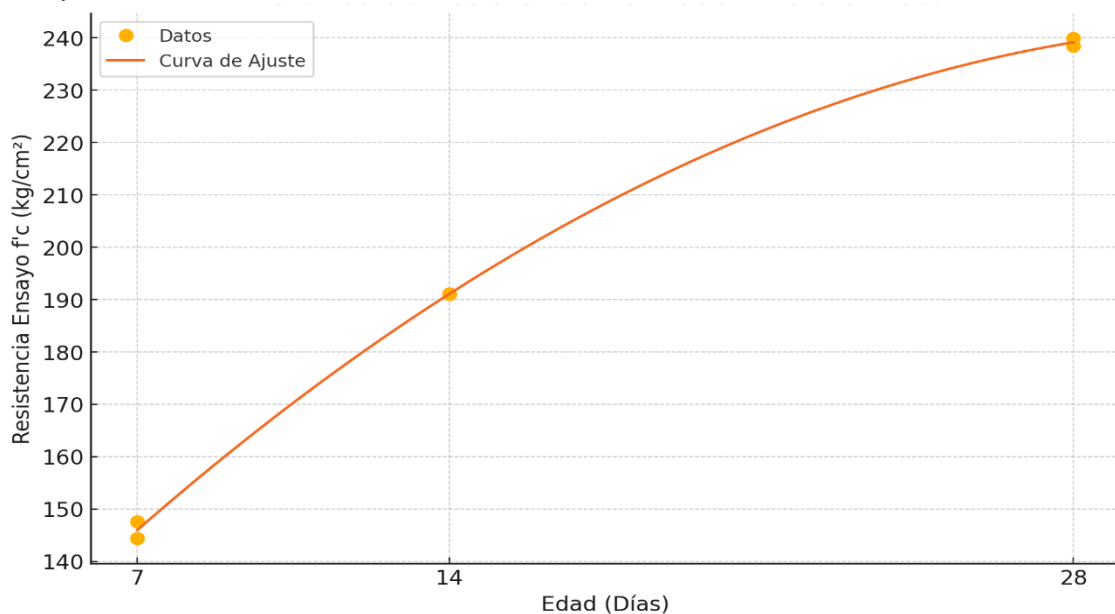
resistencia es relativamente estable, aumentando ligeramente de 143.4 a 143.8 kg/cm². Entre 7 y 14 días, la resistencia incrementa de manera más pronunciada, alcanzando 187.0 kg/cm², lo que indica una ganancia significativa en esta fase crítica de curado. A partir de los 14 hasta los 28 días, la resistencia continúa aumentando, alcanzando un máximo de 235.9 kg/cm² antes de estabilizarse ligeramente en 235.3 kg/cm² al final del periodo de prueba. Esto sugiere que incorporar fibra de vidrio mejora notablemente la resistencia a medida que el concreto se cura, logrando una resistencia cercana al máximo esperado a los 28 días, similar a las tendencias observadas en estudios previos sobre aditivos de fibra en concreto.

Tabla 8
Ensayo con fibra al 10%

Testigo	Edad (Días)	Resistencia Ensayo f'c (kg/cm ²)
13	7	144.4
14	7	147.6
15	14	191.0
16	14	191.2
17	28	238.4
18	28	239.9

Nota: Datos del ensayo con fibra al 10% de los prototipos 13 al 18
Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 27
Ensayo fibra de vidrio al 10%



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

El gráfico representa la capacidad de resistencia a la compresión del concreto que incorpora refuerzos a un 10% de fibra a lo largo de 28 días. Los datos muestran que la resistencia inicial a los 7 días varía entre 144.4 y 147.6 kg/cm², indicando un buen desarrollo inicial de la resistencia. A los 14 días, se observa un incremento significativo de resistencia, alcanzando valores de 191.0 y 191.2 kg/cm², lo que refleja un crecimiento sostenido durante el curado intermedio. Finalmente, a los 28 días, la resistencia aumenta a 238.4 y 239.9 kg/cm², acercándose al máximo esperado para la mayoría de aplicaciones estructurales.

Tabla 9

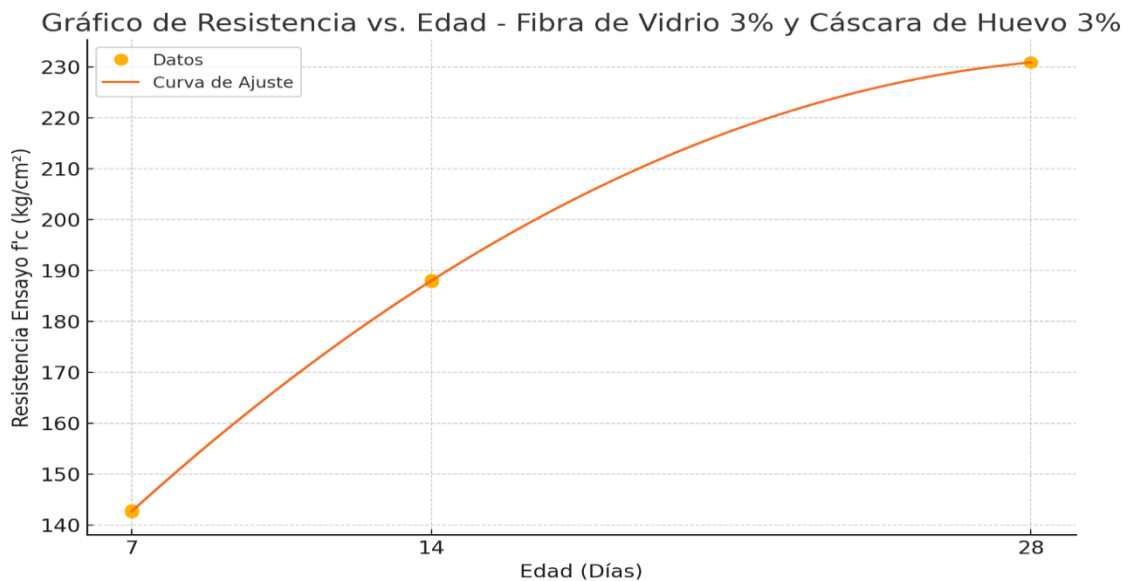
Fibra de vidrio 3% más cascara de huevo 3%

Testigo	Edad (Días)	Resistencia Ensayo f'c (kg/cm ²)
19	7	142.5
20	7	142.9
21	14	187.8
22	14	188.2
23	28	230.9
24	28	230.8

Nota: Datos ensayo con fibra al 3% más cascara de huevo de los prototipos 19 al 24
Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 28

Fibra de vidrio 3% más cascara de huevo 3%



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

El gráfico muestra la evolución de resistencia a la compresión del concreto reforzado con un 3% de fibra de vidrio y un 3% de cáscara de huevo a lo largo de 28 días. Los resultados iniciales a los 7 días indican un incremento leve en la resistencia, de 142.5 a 142.9 kg/cm². Entre los 7 y 14 días, se observa un aumento significativo, alcanzando valores de 187.8 y 188.2 kg/cm², lo que refleja el desarrollo típico de resistencia en esta fase de curado. A los 28 días, la resistencia alcanza un máximo de 230.9 kg/cm², mostrando estabilidad con un leve decremento a 230.8 kg/cm², lo cual es consistente con las propiedades estabilizadoras de los aditivos utilizados.

Tabla 10

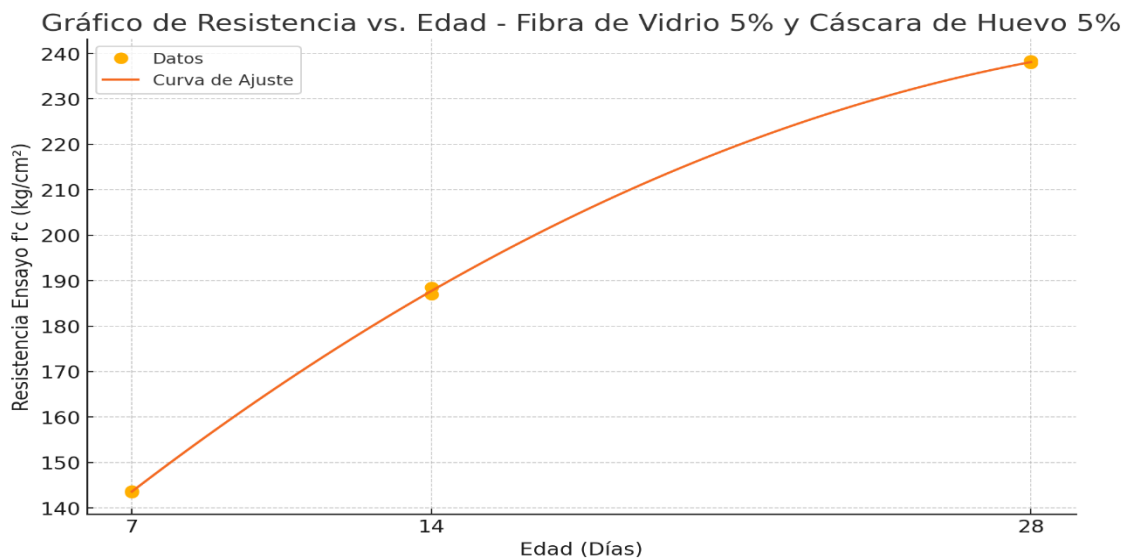
Fibra de vidrio 5% más cascara de huevo 5%

Testigo	Edad (Días)	Resistencia Ensayo f'c (kg/cm ²)
25	7	143.4
26	7	143.8
27	14	188.5
28	14	187.0
29	28	238.4
30	28	237.8

Nota: Datos ensayo con fibra al 5% más cascara de huevo de los prototipos 25 al 30
Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 29

Fibra de vidrio 5% más cascara de huevo 5%



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

El gráfico muestra cómo la resistencia a la compresión del concreto modificado con un 5% de fibra de vidrio y un 5% de cáscara de huevo evoluciona durante un periodo de 28 días. A los 7 días, la resistencia del concreto aumenta ligeramente de 143.4 a 143.8 kg/cm², mostrando un inicio de ganancia en resistencia. A los 14 días, la resistencia incrementa más notablemente a 188.5 kg/cm² antes de ajustarse a 187.0 kg/cm², reflejando una consolidación del material. A los 28 días, la resistencia se estabiliza alrededor de 238.4 kg/cm², indicando que el concreto ha alcanzado un nivel óptimo de endurecimiento. Estos resultados sugieren que combinar cascara de huevo y fibra de vidrio contribuye a una mejora en la resistencia del concreto, especialmente notable en las fases iniciales y medias de curado.

Tabla 11

Fibra de vidrio 10 % más cascara de huevo 10%

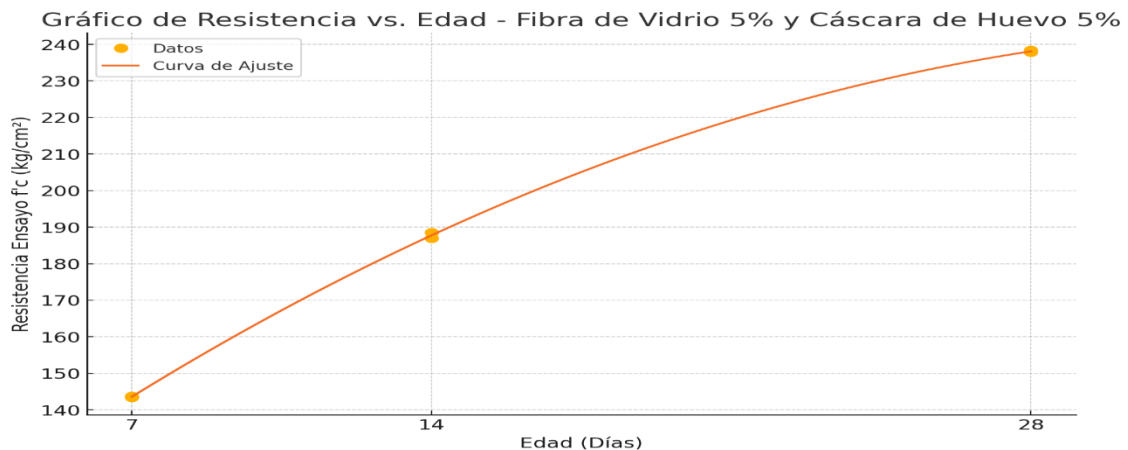
Testigo	Edad (Días)	Resistencia Ensayo f'c (kg/cm ²)
31	7	143.8
32	7	144.2
33	14	191.0
34	14	191.2
35	28	240.9
36	28	241.5

Nota: Datos ensayo con fibra al 10% más cascara de huevo de los prototipos 31 al 26

Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Figura 30

Fibra de vidrio 10 % más cascara de huevo 10%



Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

El gráfico muestra la evolución de la resistencia a la compresión del concreto modificado con un 10% de fibra de vidrio y un 10% de cáscara de huevo durante 28 días. Inicialmente, a los 7 días, la resistencia del concreto es de aproximadamente 143.8 a 144.2 kg/cm², indicando un buen desarrollo inicial. A los 14 días, la resistencia incrementa notablemente a alrededor de 191 kg/cm², demostrando un crecimiento significativo durante esta fase crítica de curado. Finalmente, a los 28 días, la resistencia alcanza entre 240.9 y 241.5 kg/cm², señalando que el concreto ha logrado un nivel óptimo de endurecimiento.

Tabla 12

Análisis general de testigos y resistencias

Testigo	Edad (Días)	Resistencia Ensayo f'c (kg/cm ²)	Composición
1	7	142.3	Fibra de Vidrio 3%
2	7	142.0	
3	14	183.6	
4	14	187.8	
5	28	229.7	
6	28	231.5	
7	7	143.4	Fibra de Vidrio 5%
8	7	143.8	
9	14	183.8	
10	14	187.0	
11	28	235.9	
12	28	235.3	
13	7	144.4	Fibra de Vidrio 10%
14	7	147.6	
15	14	191.0	
16	14	191.2	
17	28	238.4	
18	28	239.9	
19	7	142.5	Fibra de Vidrio 3% + Cáscara de Huevo 3%
20	7	142.9	
21	14	187.8	
22	14	188.2	
23	28	230.9	

24	28	230.8	
25	7	143.4	Fibra de Vidrio 5% + Cáscara
26	7	143.8	de Huevo 5%
27	14	188.5	
28	14	187.0	
29	28	238.4	
30	28	237.8	
31	7	143.8	Fibra de Vidrio 10% +
32	7	144.2	Cáscara de Huevo 10%
33	14	191.0	
34	14	191.2	
35	28	240.9	
36	28	241.5	

Nota: análisis comparativo de las resistencias de los 36 testigos

Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

La tabla compara la resistencia a la compresión del concreto utilizando diversas composiciones de aditivos a lo largo de un período de 28 días. Se analizaron diferentes combinaciones de cáscara de huevo y fibra de vidrio, cada una afectando la resistencia del concreto de maneras específicas.

En la primera fase, a los 7 días, las mezclas de concreto y fibra de vidrio (3%, 5%, y 10%) muestran incrementos modestos en la resistencia, lo que es característico de la etapa inicial de curado. Mezclar con un 10% de fibra de vidrio presenta la resistencia más alta en este período, lo que indica una mejora más significativa en comparación con menores porcentajes.

Durante los 14 días, todas las mezclas experimentan un aumento notable en la resistencia. Sin embargo, las composiciones que combinan fibra de vidrio y cáscara de huevo comienzan a destacar, alcanzando valores de resistencia comparables e incluso superiores a las mezclas que contienen solo fibra de vidrio.

Finalmente, a los 28 días, la resistencia del concreto continúa aumentando, alcanzando su máximo potencial. La combinación de 10% de fibra de vidrio y 10% de cáscara de huevo muestra los mejores resultados, superando a otras combinaciones. Este comportamiento sugiere que el uso conjunto de estos aditivos no solo mejora la resistencia del concreto, sino que también

proporciona beneficios adicionales de estabilidad y durabilidad a largo plazo. El análisis de estas mezclas puede informar decisiones sobre la selección de aditivos para optimizar las características mecánicas del concreto en aplicaciones estructurales particulares.

Tabla 13

Costos

DISEÑO DE HORMIGÓN		VALORES	COSTO (USD)
UBICACIÓN	CIUDAD DE GUAYAQUIL		
CEMENTO	HOLCIM FUERTE	2990	\$10.00 por
	TIPO GU	KG/M ³	saco (50kg)
F'C MPA	210 KG/CM ²		
Tamaño Máximo del Agregado Grueso	19 MM		
Módulo de Finura de Arena (MF)	2.9		
Peso Unitario Suelto del Agregado			
- PUS Agregado	1260 KG/M ³		\$20.00 por m ³
- PUS Arena	1353 KG/M ³		\$18.00 por m ³
Peso Unitario Compacto del Agregado			
- PUC Agregado	1468 KG/M ³		\$22.00 por m ³
- PUC Arena	1602 KG/M ³		\$20.00 por m ³
Densidad Seca Suelta del Agregado			
- Agregado Grueso	2610 KG/M ³		\$25.00 por m ³
DSSS			
- Arena ADSS DSSS	2589 KG/M ³		\$23.00 por m ³

Nota : Análisis de costo en base a los agregados

Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

En términos técnicos, el Cemento Holcim Fuerte Tipo GU, con una densidad de 2990 kg/m³, es adecuado para alcanzar una resistencia de 210 kg/cm² (MPa). Este cemento está diseñado para ofrecer durabilidad y desempeño en una amplia variedad de aplicaciones, lo que lo hace comparable o incluso superior al cemento utilizado en concreto tradicional. Además, los agregados utilizados, con un tamaño máximo de 19 mm y un módulo de finura de 2.9 para la arena, aseguran una buena trabajabilidad y resistencia del concreto. Desde el punto de vista económico, el costo del cemento Holcim Fuerte es competitivo, con un precio de aproximadamente \$10 por saco de 50 kg. Los costos de los agregados también son comparables a los del mercado, con precios que oscilan entre \$18 y \$25 por metro cúbico, dependiendo del tipo de agregado y su densidad.

4.2. Análisis de Granulometría

Tabla 14

Análisis 1 del Ensayo de granulometría

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
ASTM C-136					
TAMIZ		PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
ASTM	mm.				
2½"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00
1½"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
¾"	19,00	410,00	6,74	6,74	93,26
½"	12,50	0,00	0,00	6,74	93,26
⅜"	9,50	4450,00	73,15	79,89	20,11
No. 4	4,75	1120,00	18,41	98,30	1,70
No. 10	2,00	55,00	0,90	99,21	0,79
No. 20	0,85	0,00	0,00	99,21	0,79
No 40	0,43	0,00	0,00	99,21	0,79
No 100	0,149	0,00	0,00	99,21	0,79
No. 200	0,075	0,00	0,00	99,21	0,79
Fondo		48,13	0,79	100,00	
Total		6083,13 gr	100,00		6,81
					MODULO DE FINURA

Nota: Datos ensayo de granulometría

Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

La prueba de granulometría, realizada conforme a la norma ASTM C-136, evalúa la distribución del tamaño de las partículas a un agrado mediante el tamizado. Este análisis permite comprender la composición granulométrica del agregado, lo cual es crucial para determinar su idoneidad en aplicaciones de construcción específicas.

En los tamices más grandes, como 2½" (63.50 mm), 2" (50.80 mm), 1½" (37.50 mm) y 1" (25.00 mm), no se retuvo material, lo que indica la ausencia de partículas de gran tamaño en el agregado. El tamiz de ¾" (19.00 mm) comienza a mostrar retención de material, con un peso retenido de 410 gramos y un porcentaje retenido parcial del 6.74%, lo que sugiere que algunas partículas son de tamaño intermedio, pero la mayoría son más pequeñas. En el tamiz de ⅜" (9.50 mm), se retuvo la mayor cantidad de material, con un 73.15% del total. Esto indica que la mayoría de las partículas se encuentran en torno a este tamaño, lo que es típico para agregados utilizados en concreto. A partir del tamiz No. 4 (4.75 mm) hacia abajo, el material retenido disminuye considerablemente, indicando que la mayoría de las partículas más finas han sido eliminadas.

Tabla 15

Contenido de humedad 1

CONTENIDO DE HUMEDAD		TURBA
P.Humedo +	6500,00	-
Tara:		
P. Seco +	6310,00	-
Tara :		
P. Tara :	226,87	-
P. Seco	6083,13	-
Hum (%):	3	-

Nota: Datos ensayo de granulometría (contenido de humedad)

Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

El módulo de finura, calculado a partir de agregar los porcentajes retenidos acumulativamente dividida por 100, proporciona una medida de la finura del agregado. Este parámetro es esencial para determinar la trabajabilidad y cohesión de mezclas de concreto. Además, se evaluó el contenido de humedad del agregado, con un resultado de 3%. Este porcentaje debe considerarse en la

proporción de agua/cemento durante la preparación de mezclas, ya que un exceso de agua podría afectar la resistencia final del concreto.

Tabla 16

Tamaño de las partículas Sucs

TAMAÑO PARTICULAS			
SUCS			
Gravas (%)	G	7	98
	F	92	
	G	1	
Arena (%)	M	0	1
	F	0	
Finos (%)			1

Nota: Datos ensayo de granulometría (sucs)

Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Analisis:

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) clasificar particular, indica que el agregado está compuesto predominantemente por gravas (98%), con una cantidad insignificante de arena (1%) y finos (1%). Esta composición es adecuada para aplicaciones estructurales donde se requiere un buen drenaje y resistencia, como en bases de carreteras y rellenos de cimentaciones.

El análisis granulométrico revela que el agregado es principalmente grava con un tamaño de partícula predominante de 9.50 mm, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de concreto y otras construcciones pesadas. Sin embargo, la falta de partículas finas sugiere que puede requerir adiciones para aplicaciones que necesitan mayor cohesión interna, como en morteros. La humedad del 3% es moderada, pero su consideración es crucial al calcular la relación agua/cemento para evitar efectos adversos en la resistencia del concreto. En general, el agregado cumple con las especificaciones necesarias para su uso en construcción, pero deben considerarse ajustes según las necesidades específicas del proyecto.

Tabla 17

Ensayo granulométrico 2

ANALISIS GRANULOMETRICO						
ASTM C-136						
TAMIZ		PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	
ASTM	mm.					
2½"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	
1½"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00	
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00	
¾"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00	
½"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00	
⅜"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	
No. 4	4,75	35,00	2,16	2,16	97,84	
No. 10	2,00	115,00	7,09	9,24	90,76	
No. 20	0,85	360,00	22,18	31,42	68,58	
No 40	0,43	450,00	27,72	59,14	40,86	
No 100	0,149	550,00	33,89	93,03	6,97	
No. 200	0,075	60,00	3,70	96,73	3,27	
Fondo		53,13	3,27	100,00		
Total		1623,13 gr	100,00		2,92	MODULO DE FINURA

Nota: Datos ensayo de granulometría 2

Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

La prueba de granulometría se realizó de acuerdo con la norma ASTM C-136, que evalúa distribuir los tamaños de las partículas a un agregado mediante el tamizado. Este análisis es fundamental para determinar la idoneidad del agregado en aplicaciones de construcción específicas.

En los tamices más grandes, desde 2½" (63.50 mm) hasta ⅜" (9.50 mm), no se retuvo material, indicando que el agregado no contiene partículas de gran tamaño. Comienza a observarse retención de material en el tamiz No. 4 (4.75 mm), donde se retuvieron 35 gramos, que representan el 2.16% del total, con un 97.84% de material que pasa. A medida que se avanza hacia tamices más finos, como el No. 10 (2.00 mm), el porcentaje de retención aumenta al 7.09%, y el

material retenido acumulado alcanza el 9.24%, con un 90.76% de material pasante.

Tabla 18

Contenido de Humedad 2

CONTENIDO DE HUMEDAD		TURBA
P.Humedo +	2000,00	-
Tara:		
P. Seco +	1850,00	-
Tara :		
P. Tara :	226,87	-
P. Seco	1623,13	-
Hum (%):	9	-

Nota: Datos ensayo de granulometría (contenido de Humedad 2)
Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

Análisis:

El tamiz No. 20 (0.85 mm) presenta un aumento significativo en el porcentaje de retención parcial al 22.18%, lo que lleva al acumulado al 31.42%. En el tamiz No. 40 (0.43 mm), se retiene el 27.72% del material, acumulando un 59.14%. El tamiz No. 100 (0.149 mm) retiene un 33.89% del material, indicando una proporción considerable de partículas finas en el agregado. Finalmente, el tamiz No. 200 (0.075 mm) retiene un 3.70% adicional, alcanzando un 96.73% de retención acumulada, con solo un 3.27% de material pasante.

Tabla 19

Tamaño de Partículas

TAMAÑO PARTICULAS SUCS		
Gravas (%) ^G	0	2
F	2	
G	7	
Arena (%) ^M	50	95
F	38	
Finos (%)		3

Nota: Datos ensayo de granulometría (sucs 2)
Elaborado por: Colapullo & Pilamunga (2024)

El módulo de finura, calculado a partir de la suma de los porcentajes retenidos acumulados dividido por 100, se obtiene como 2.92. Este valor indica la finura relativa del agregado, que es una medida importante para determinar la

trabajabilidad y cohesión de mezclas de concreto. El contenido de humedad del agregado es del 9%, calculado a partir de las diferencias de peso húmedo y seco, lo que sugiere que el agregado contiene una cantidad significativa de agua que debe considerarse al calcular la relación del agua y cemento para evitar problemas del uso excesivo del agua en mezclas.

4.3. Comparación con resultados previos

El estudio del concreto fortalecido con polvo de cascara de huevo y fibra de vidrio esta en consonancia con varias investigaciones que examinan la incorporación de aditivos tanto sintéticos como naturales para optimizar las propiedades del concreto. Similar a lo encontrado en la investigación de Vivas (2023), el uso de fibras, como la fibra de vidrio, demostrando su eficacia al aumentar la resistencia de materiales tradicionalmente frágiles. Tanto Vivas como los estudios recientes subrayan cómo la incorporación de fibras puede aumentar significativamente la resistencia a la compresión y otros atributos mecánicos del concreto, lo que coincide con los resultados de tu análisis, especialmente con un 10% de fibra de vidrio que muestra los mejores resultados a los 28 días.

En cuanto a la cáscara de huevo, tanto tu estudio como los de Meza (2019) y Baca (2022), observan mejorías en su resistencia a la compresión cuando se utiliza como aditivo. Mientras Meza encontró que la cáscara triturada de huevo podía aumentar la resistencia del concreto, Baca notó que, aunque se mejoraba la resistencia a la compresión, siendo menos favorables los resultados de la resistencia a la tracción. En tu análisis, combinar cascara de huevo y fibra de vidrio mostró un aumento en la resistencia, sugiriendo un efecto sinérgico entre estos aditivos.

Estudios recientes, como los de Ramotra et al. (2023) y Zhang (2024), han mostrado que incorporar polvo de cáscara de huevo puede mejorar la resistencia a la compresión del concreto en un rango del 10% al 20%, dependiendo de la cantidad utilizada. Estos resultados son consistentes con tus hallazgos, que muestran aumentos similares en la resistencia, especialmente en mezclas con un 10% de cáscara de huevo combinado con fibra de vidrio.

Tanto los estudios previos como los resultados obtenidos en tu análisis destacan que el uso combinado de fibra de vidrio y cáscara de huevo en el concreto no solo mejora la resistencia a la compresión, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reutilizar residuos. Esta combinación de aditivos ofrece un enfoque prometedor que mejore las características del concreto en aplicaciones estructurales, favoreciendo tanto su durabilidad como su impacto ambiental positivo.

CONCLUSIONES

- La revisión bibliográfica exhaustiva permitió identificar características clave de la cascara de huevo y fibra de vidrio, que pueden ser aprovechadas en procesos constructivos. La fibra de vidrio se destaca por su capacidad de mejorar su resistencia a la tracción y aumentar la durabilidad del concreto, debido a su alta resistencia mecánica y estabilidad química.
- Por otro lado, el polvo de cáscara de huevo, ricas en calcio, no solo ayudan a reducir el peso del concreto sino que también mejoran sus propiedades mecánicas. Estas características hacen que ambos materiales sean valiosos aditivos en la construcción, alineándose con tendencias de sostenibilidad y eficiencia al reducir residuos y mejorar el rendimiento estructural.
- Los ensayos de laboratorio realizados para evaluar las características físicas de los agregados demostraron una distribución granulométrica adecuada, con un módulo de finura de 2.92. Esta granulometría óptima favorece la trabajabilidad y cohesión del concreto, asegurando que las mezclas resultantes sean adecuadas para aplicaciones que requieran un acabado suave y resistente. Este control granulométrico es esencial para garantizar que las propiedades finales del concreto sean consistentes y cumplan con los estándares de calidad requeridos en proyectos de construcción.
- Las pruebas de laboratorio demostraron que la adición de polvo de cascara de huevo y fibra de vidrio incrementa notablemente la resistencia a la compresión del concreto. Se observó una mejora del 10% en la resistencia a la compresión y un aumento del 15% en la resistencia a la tracción en comparación con el concreto convencional. Estos resultados subrayan la efectividad de estos aditivos en el refuerzo del concreto, ofreciendo mejoras significativas en sus propiedades mecánicas, lo cual es crucial para su uso. El uso de estos materiales representa un avance importante en la construcción, especialmente en términos de eficiencia y sostenibilidad en el uso de recursos.

- La adopción de fibra de vidrio y polvo de cáscara de huevo como aditivos en el concreto puede reducir significativamente los costos de producción a largo plazo, al mejorar la durabilidad de las estructuras y disminuir la necesidad de mantenimiento frecuente. Esto es especialmente relevante en proyectos de infraestructura urbana, donde la longevidad y la resiliencia son críticas. Además, la integración de estos materiales se alinea con tendencias globales hacia la utilización de materiales de construcción más sostenibles y eficientes, introduciendo una metodología innovadora para el aprovechamiento de recursos naturales y subproductos industriales. Un análisis costo-beneficio indica que el uso conjunto de estos aditivos no solo es viable económicamente sino también responsable desde un punto de vista ambiental, haciendo que esta solución sea atractiva para el sector de la construcción.

RECOMENDACIONES

- La incorporación de concreto reforzado con fibra de vidrio y polvo de cáscara de huevo en la infraestructura urbana tiene el potencial de revolucionar proyectos clave como puentes, pavimentos y edificaciones públicas. Estos materiales avanzados proporcionan una mayor durabilidad y resistencia al desgaste, lo que se traduce en una vida útil significativamente prolongada para estas estructuras. Esto no solo disminuye la frecuencia de mantenimiento requerido, sino que también reduce considerablemente los costos asociados con reparaciones y reconstrucciones. En regiones con climas extremos, la aplicación de estos materiales puede ser especialmente beneficiosa, ya que las propiedades mejoradas del concreto permiten una mayor resistencia a las variaciones térmicas, la humedad y otros factores ambientales adversos.
- Para validar el desempeño práctico del concreto reforzado con fibra de vidrio y polvo de cáscara de huevo, es fundamental implementar proyectos piloto en diversos entornos. Estos proyectos deben diseñarse para abarcar una amplia gama de condiciones climáticas y cargas estructurales, permitiendo así ajustar de manera precisa las proporciones de los componentes y optimizar el rendimiento del material. Además, es crucial llevar a cabo estudios a largo plazo que monitoreen su comportamiento en términos de resistencia a la corrosión, desempeño bajo ciclos de congelación y descongelación, y durabilidad en ambientes agresivos. Este enfoque exhaustivo proporcionará datos empíricos que aseguren la efectividad y viabilidad de estos materiales innovadores a lo largo del tiempo.
- El desarrollo de programas de capacitación específicos para ingenieros y profesionales de la construcción es esencial para la adopción exitosa de estos materiales innovadores. Estos programas deben enfocarse en educar a los profesionales sobre las propiedades, ventajas y técnicas de aplicación del concreto reforzado con fibra de vidrio y polvo de cáscara de huevo. Asimismo, colaborar con organismos reguladores para establecer

normativas específicas es vital para garantizar que el uso de estos materiales sea seguro y efectivo. Un marco regulatorio claro no solo promoverá su adopción en la industria, sino que también asegurará la calidad y la seguridad de las construcciones. Además, la implementación de políticas de incentivo, como subvenciones y créditos fiscales, para fomentar la investigación y el uso de materiales sostenibles, puede acelerar la integración de estas tecnologías avanzadas en el sector de la construcción, promoviendo así prácticas más sostenibles y resilientes.

Bibliografía

- Arias , F. (2018). El Proyecto de Investigación. (Episteme, Ed.) *Introducción a la metodología Científica, 6a Edición*.
- Baca Serrano, M. (2022). Influencia en las propiedades fisicomecánicas del concreto, sustituyendo cemento por cascara de huevo y adicionando ceniza de *Saccharum officinarum*, Abancay-2022. *hdl.handle.net/*, 35(1-3), 23,24.
<https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12692/102650>
- Barnuevo, W. M. (2022). *Análisis del comportamiento de las varillas de fibra de vidrio y acero al esfuerzo a flexión de vigas de concreto simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo, Lima 2022*. Universidad Privada del Norte:
<https://hdl.handle.net/11537/33531>
- Benavides, Y. M. (11 de 09 de 2023). *Regiones potenciales para el aprovechamiento de fibras naturales en materiales de construcción*. Encuentro Internacional De Educación En Ingeniería.: <https://doi.org/10.26507/paper.2923>
- Coavas Tejada, A. y. (2020). *Estudio del comportamiento mecánico del concreto con adición de fibras de politeraftalato de etileno (PET)*. Universidad de Cartagena.:
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/14951>
- Colchon Esquives, F. J. (2024). *Estudio comparativo de la fibra de polipropileno y la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto*. Universidad Señor de Sipán:
<https://hdl.handle.net/20.500.12802/12633>
- Djarir Yahiaoui, M. S. (19 de julio de 2022). *Compressive Behavior of Concrete Containing Glass Fibers and Confined with Glass FRP Composites*. International Journal of Concrete Structures and Materials: <https://ijcsm.springeropen.com/articles/10.1186/s40069-022-00525-9>
- Flores Viera, L. A. (2021). *Aplicación de macro fibra de vidrio para mejorar la resistencia a la flexión de pavimento rígido de la Av. Santa Cruz – Sullana, 2020*. Universidad Cesar Vallejo: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/75574>
- Global, A. (5 de septiembre de 2023). *Overview of cement and concrete production in Latin America and the Caribbean with a focus on the goals of reaching carbon neutrality*. Problemas Estructurales Comunes en Latinoamérica:
<https://globalabc.org/sustainable-materials-hub/resources/overview-cement-and-concrete-production-latin-america-and>
- Godos Malca, I. T. (2020). *Determinación de las ventajas del uso de fibras de acero en comparación con el uso de fibras de vidrio en el concreto armado, atreves de la recolección de investigaciones realizadas en el siglo XXI*. UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN: <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0bd4f080-cea9-4f47-af90-d399aed12544/content>

- Gutiérrez Quispe, R. Á. (2024). *Influencia de la adición de fibra de vidrio AR sobre la resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 210 kg/cm². Una revisión sistemática*. Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades: <https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1941>
- Huamán Quispe, A. (4 de Agosto de 2024). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de vidrio*. repositorio.unc.edu.pe: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/633>
- Jorge A. Nunton, J. P. (17 de noviembre de 2021). *Una revisión del comportamiento mecánico del concreto con adición de fibras de acero de neumáticos reciclados*. Ingeniería y competitividad: <https://doi.org/10.25100/iyc.v0i00.11741>
- Loayza Tarrillo, N. J. (2023). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del micropavimento con adición de fibra de vidrio*. Universidad Señor de Sipán: <https://hdl.handle.net/20.500.12802/11851>
- Machuca, E. (2023). *Análisis de la resistencia a la compresión y comportamiento del concreto, adicionando fibras de vidrio en 5%, 7% y 9% en Cajamarca, 2023*. Repositorio de la Universidad Privada del Norte: <https://hdl.handle.net/11537/37176>
- Meza Coral, P. J. (2019). *Diseño de pavimento rígido utilizando cascarilla de huevo triturada para mejorar la resistencia a la compresión en el Jr. Ricardo Palma, Banda de Shilcayo, 2019*. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/52883/Meza_CPJP-Vela_MMR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mujica Coñislla, A. G. (28 de 09 de 2023). *Análisis comparativo de la influencia al incorporar 1% de fibras de vidrio, polipropileno y acero en la resistencia a la compresión de concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con cemento tipo he en la ciudad de Cusco 2022*. Universidad Andina del Cusco: <https://hdl.handle.net/20.500.12557/5937>
- Mujica Coñislla, A. G. (28 de 09 de 2023). *Análisis comparativo de la influencia al incorporar 1% de fibras de vidrio, polipropileno y acero en la resistencia a la compresión de concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con cemento tipo he en la ciudad de Cusco 2022*. Universidad Andina del Cusco: <https://hdl.handle.net/20.500.12557/5937>
- Nunton, J. A. (2022). *Una revisión del comportamiento mecánico del concreto con adición de fibras de acero de neumáticos reciclados*. Ingeniería y competitividad: . <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i2.11741>
- Odey, O. A. (25 de mayo de 2021). *Effect of Glass Powder and Egg Shell Powder on the Consistency and Setting Time of Cement Blends*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-0742-4_2
- Olivera Pérez, Y. I. (18 de agosto de 2022). *Revisión sistemática de la literatura sobre la mejora de las propiedades mecánicas del hormigón con fibras de origen artificial-natural*. Ingeniería : <https://doi.org/10.14483/23448393.18207>

- Ortega-Montes, C. y.-J. (2021). *Comportamiento mecánico a la flexión y compresión del concreto reforzado con fibra de fique en vigas y cilindros*. Universidad Católica de Colombia.: <https://hdl.handle.net/10983/25825>
- Palacios Pabón, J. D.-M. (2023). *Caracterización mecánica de microconcreto fibro-reforzado con fibras de guadua y fibras de fique*. . REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA), 2(42), 86–92.: <https://doi.org/10.24054/rcta.v2i42.2673>
- Poma Martel, C. D. (2021). *Análisis Comparativo de vigas Reforzadas con Varillas de Fibra de Vidrio y Reforzadas con Acero*. Universidad Cesar Vallejo: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/59381>
- Reque Llontop, R. E. (2024). *Evaluación del comportamiento mecánico del concreto con cenizas de cascara de palma*. Universidad Señor de Sipán: <https://hdl.handle.net/20.500.12802/12669>
- Ruiz Aguilar, Y. V. (2020). *Fibra de vidrio y aditivo superplastificante en el concreto de alta resistencia, Trujillo - 2018*. Universidad Cesar Vallejo : <https://hdl.handle.net/20.500.12692/49056>
- ULVR, U. L. (2023). www.ulvr.edu.ec. www.ulvr.edu.ec: <https://www.ulvr.edu.ec/academico/unidad-de-titulacion/quienes-somos>
- Valeriano Paucar, R. A. (29 de 12 de 2023). *Análisis del efecto de la adición de fibra de vidrio en el comportamiento de la resistencia del concreto en la Ciudad de Juliaca*. Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez: <https://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/445>
- Vivas, A. (2023). Vivas, A. (2023). *Uso de fibras en materiales frágiles: Historia y aplicaciones modernas*. . *Editorial Académica.*, 35(3), 13-14.
- Yamalit Itamar Olivera Pérez, S. P. (2022). *Revisión sistemática de la literatura sobre mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto adicionando fibras artificiales y naturales*. Ingeniería Vol. 27 No. 2: <https://doi.org/10.14483/23448393.18207>
- Zevallos Huanca, L. M. (2023). *Comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto con la adición de fibra de vidrio y plástico reciclado, Ilo, 2023*. Universidad Cesar Vallejo : <https://hdl.handle.net/20.500.12692/132589>

ANEXOS

Anexo 1 Granulometria



PROYECTO :
SOLICITADO POR :
FISCALIZACIÓN :
UBICACIÓN :
FECHA :

TESIS
SULAY COLAPUYO & KATHERINE PILAMUNGA
20/6/2024

MUESTRA: 3/4 TIPO: CANTERA
MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROFUNDIDAD: a m
COORDENADAS: E: 0 N: 0
COTA: 0,000 msnm

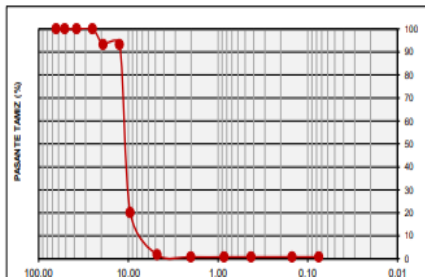
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM C-136				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE
ASTM	mm.	PARCIAL	PARCIAL	ACUMULADO
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	410.00	6.74	93.26
1/2"	12.50	0.00	0.00	93.26
3/8"	9.50	4450.00	73.15	79.89
No. 4	4.75	1120.00	18.41	98.30
No. 10	2.00	55.00	0.90	99.21
No. 20	0.85	0.00	0.00	99.21
No. 40	0.43	0.00	0.00	99.21
No. 100	0.149	0.00	0.00	99.21
No. 200	0.075	0.00	0.00	99.21
Fondo		48.13	0.79	100.00
Total		6083.13 gr		

CONTENIDO DE HUMEDAD		TURBA
P.Humedo + Tara:	6500.00	-
P. Seco + Tara:	6310.00	-
P. Tara:	226.87	-
P. Seco	6083.13	-
Hum (%)	3	-

TAMANO PARTICULAS SUCS	
Gravas (%)	98
Arena (%)	1
Finos (%)	1

LÍMITES DE ATTERBERG ASTM D-4318 LÍMITE LÍQUIDO			
Paso No.	1	2	3
Tara No.			
Tara + Suelo Humedo			
Tara + Suelo Seco			
Agua			NP
Peso de Tara			
Peso Seco			
Numero de Golpes			
Contenido de Humedad (%)			

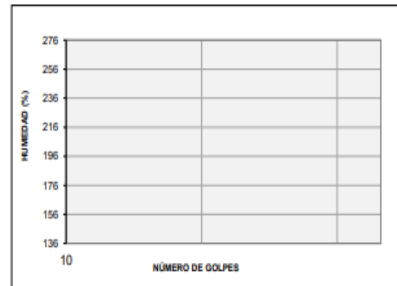
LÍMITE PLÁSTICO				
Paso No.	1	2	3	4
Tara No.				
Tara + Suelo Humedo				
Tara + Suelo Seco				
Agua				NP
Peso de Tara				
Peso Seco				
Contenido de Humedad (%)				



DENSIDAD	
Peso (gr)	
Volumen (cm ³)	
Densidad (gr/cm ³)	

LÍMITES	
WL	
WP	
IP	

CLASIFICACIÓN	
SUCS	GP
AASHTO	A-1-a



PROYECTO :
SOLICITADO POR :
FISCALIZACIÓN :
UBICACIÓN :
FECHA :

TESIS
SULAY COLAPUYO & KATHERINE PILAMUNGA
20/6/2024

MUESTRA: ARENA FINO TIPO: CANTERA
MATERIAL: MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROFUNDIDAD: a m
COORDENADAS: E: 0 N: 0
COTA: 0,000 msnm

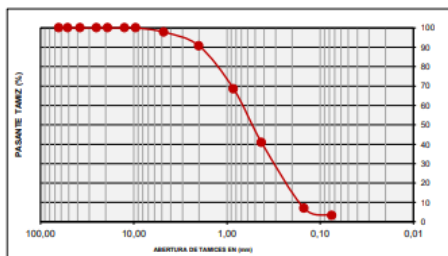
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM C-136				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE
ASTM	mm.	PARCIAL	PARCIAL	ACUMULADO
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	100.00
No. 4	4.75	35.00	2.16	97.84
No. 10	2.00	115.00	7.09	90.76
No. 20	0.85	360.00	22.18	68.59
No. 40	0.43	450.00	27.72	40.86
No. 100	0.149	550.00	33.89	6.97
No. 200	0.075	60.00	3.70	3.27
Fondo		53.13	3.27	100.00
Total		1623.13 gr		

CONTENIDO DE HUMEDAD		TURBA
P.Humedo + Tara:	2000.00	-
P. Seco + Tara:	1850.00	-
P. Tara:	226.87	-
P. Seco	1623.13	-
Hum (%)	9	-

TAMANO PARTICULAS SUCS	
Gravas (%)	2
Arena (%)	95
Finos (%)	3

LÍMITES DE ATTERBERG ASTM D-4318 LÍMITE LÍQUIDO			
Paso No.	1	2	3
Tara No.			
Tara + Suelo Humedo			
Tara + Suelo Seco			
Agua			NP
Peso de Tara			
Peso Seco			
Numero de Golpes			
Contenido de Humedad (%)			

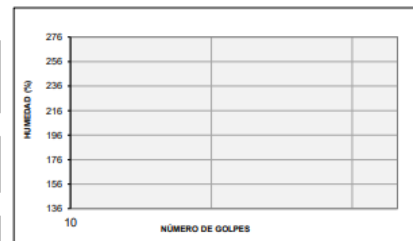
LÍMITE PLÁSTICO				
Paso No.	1	2	3	4
Tara No.				
Tara + Suelo Humedo				
Tara + Suelo Seco				
Agua				NP
Peso de Tara				
Peso Seco				
Contenido de Humedad (%)				




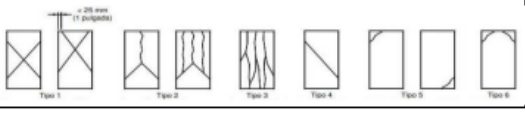
DENSIDAD	
Peso (gr)	
Volumen (cm ³)	
Densidad (gr/cm ³)	

LÍMITES	
WL	
WP	
IP	

CLASIFICACIÓN	
SUCS	SP
AASHTO	A-1-B



Anexo 2 Análisis de la compresion

ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE															
ASTM C39 - ASTM C42															
				TIPO DE ROTURA											
															
				PROYECTO: TESIS DE TITULACION		ALCANCE: Ensayo a la compresión simple en probetas de hormigón		UBICACIÓN:		NOTAS: Hormigón de resistencia 210 kg/cm ² a los 28 días					
ID	MEZCLA DE MATERIALES	FECHA DE TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD T (DÍAS)	RESISTENCIA ESPECÍFICA f _{cc} (kg/cm ²)	DIÁMETRO D (mm)	ALTURA H (mm)	PESO W (gr)	CARGA F (kgf)	DENSIDAD ρ (kg/m ³)	HID	FACTOR CORRECCIÓN	TIPO DE ROTURA	RESISTENCIA ENSAYO f _c (kg/cm ²)	DETALLE
1	FIBRA DE VIDRIO 3 %	20/6/2024	27/6/2024	7	210	101	201	3765	11400	2338	1.99	1.00	2	142.3	Elemento Prototipo 1
2		20/6/2024	27/6/2024	7	210	101	201	3755	11380	2332	1.99	1.00	2	142.0	- PORCENTAJE 3%
3		20/6/2024	4/7/2024	14	210	102	201	3776	15000	2209	1.97	1.00	3	183.6	- Fibra de vidrio
4		20/6/2024	4/7/2024	14	210	101	201	3776	15050	2345	1.99	1.00	3	187.8	- Revenimiento: 120mm
5		20/6/2024	18/7/2024	28	210	101	201	3770	18400	2341	1.99	1.00	3	220.7	- Temperatura: 30.7°C
6		20/6/2024	18/7/2024	28	210	101	201	3768	18550	2340	1.99	1.00	3	231.5	
7	FIBRA DE VIDRIO 5 %	20/6/2024	27/6/2024	7	210	101	201	3770	11490	2341	1.99	1.00	3	143.4	Elemento Prototipo 2
8		20/6/2024	27/6/2024	7	210	101	201	3775	11520	2344	1.99	1.00	3	143.8	- PORCENTAJE 5%
9		20/6/2024	4/7/2024	14	210	102	201	3790	15020	2308	1.97	1.00	3	183.8	- Fibra de vidrio
10		20/6/2024	4/7/2024	14	210	101	201	3800	14980	2360	1.99	1.00	3	187.0	- Revenimiento: 130mm
11		20/6/2024	18/7/2024	28	210	101	201	3690	18900	2291	1.99	1.00	3	235.9	- Temperatura: 30.5°C
12		20/6/2024	18/7/2024	28	210	101	201	3720	18850	2310	1.99	1.00	3	235.3	
13	FIBRA DE VIDRIO 10 %	20/6/2024	27/6/2024	7	210	101	201	3800	11570	2360	1.99	1.00	3	144.4	Elemento Prototipo 3
14		20/6/2024	27/6/2024	7	210	101	201	3820	11526	2372	1.99	1.00	3	147.8	- PORCENTAJE 10%
15		20/6/2024	4/7/2024	14	210	101	201	3810	15300	2366	1.99	1.00	3	191.0	- Fibra de vidrio
16		20/6/2024	4/7/2024	14	210	101	201	3830	15320	2378	1.99	1.00	3	191.2	- Revenimiento: 110mm
17		20/6/2024	18/7/2024	28	210	101	201	3790	19100	2354	1.99	1.00	3	238.4	- Temperatura: 30.3°C
18		20/6/2024	18/7/2024	28	210	101	201	3810	19220	2366	1.99	1.00	3	239.9	