



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“ESTUDIO COMPARATIVO DE RESISTENCIA A TENSIÓN DE $f_r = 35 \text{ KG/CM}^2$
DE UN HORMIGÓN CON FIBRAS DE CAÑA APLICANDO ACI 544.4 R”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

CADENA ZAMBRANO MICHAEL ALEXANDER

TUTOR:

ING. VILLAO VERA RAÚL ANDRÉS, MSc

LA LIBERTAD, ECUADOR

2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

“ESTUDIO COMPARATIVO DE RESISTENCIA A TENSIÓN
DE $f_r = 35 \text{ KG/CM}^2$ DE UN HORMIGÓN CON FIBRAS DE
CAÑA APLICANDO ACI 544.4 R”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

CADENA ZAMBRANO MICHAEL ALEXANDER

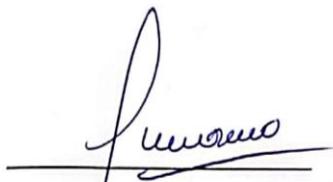
TUTOR:

ING. VILLOA VERA RAÚL ANDRÉS, MSc

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



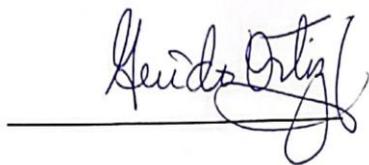
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, PhD.

DIRECTORA DE CARRERA



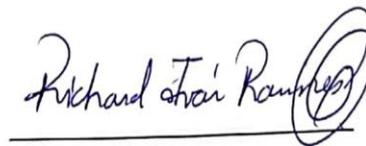
Ing. Raúl Andrés Villao Vera, MSc.

DOCENTE TUTOR



Ing. Guido Moisés Ortiz Safadi, MSc.

DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Richard Ramírez Palma, MSc.

DOCENTE UIC

DEDICATORIA

Dedicatoria

A Dios, mi origen de fuerza y sabiduría, por guiarme en cada paso y otorgarme la paciencia y la determinación necesarias para vencer cada obstáculo. Gracias por iluminar mi camino y darme la oportunidad de alcanzar este logro. Sin tu amor y tus bendiciones, nada de esto habría sido posible. Dedico este trabajo a ti, con un profundo sentimiento de gratitud.

A mi querido padre, quien, aunque ya no está físicamente conmigo, sigue siendo mi mayor fuente de inspiración. Tu amor, sabiduría y enseñanzas han sido la base de todo lo que soy y todo lo que he logrado. Te llevo siempre en mi corazón, y cada paso que doy es, en parte, gracias a ti. Te dedico este logro con todo mi amor y gratitud.

A mi madre, mi pilar y fuente de inspiración por enseñarme a perseverar y luchar por mis sueños. Este logro es tan tuyo como mío, ya que tu apoyo y confianza han sido fundamentales en cada paso que he dado. Te dedico este trabajo con todo mi corazón, porque eres la razón de lo que soy.

A mis familiares y amigos, por su continuo apoyo, amor y compañía a lo largo de todo este proceso. Gracias por estar a mi lado tanto en los momentos de alegría como en los de dificultad, por darme fuerzas cuando más lo necesitaba y por acompañarme en este camino.

Michael Alexander Cadena Zambrano

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

ID del documento: 66d1efb4d80d3761bd37551e34dce21efd3e3156

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**ESTUDIO COMPARATIVO DE RESISTENCIA A TENSION DE FR= 35 KG/CM2 DE UN HORMIGÓN CON FIBRAS DE CAÑA APLICANDO ACI 544.4 R**” elaborado por el estudiante **CADENA ZAMBRANO MICHAEL ALEXANDER** , egresado de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena ,previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 1 % de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe. Adjunto Informe de Análisis Copilatio.

Cordialmente.

f. 

Ing. Raúl Andrés Villao Vera, MSc

C.I.: 0924204290

DOCENTE TUTOR



Compilatio- Michael_Cadena

1%
Textos
sospechosos



< 1% **Similitudes**
< 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
< 1% **Idiomas no reconocidos**
23% **Textos potencialmente generados por la IA**
(ignorado)

Nombre del documento: Compilatio-Michael_Cadena.docx
ID del documento: 66d1efb4d80d3761bd37551e34dce21efd3e3156
Tamaño del documento original: 224.92 kB
Autores: []

Depositante: RAUL ANDRES VILLAO VERA
Fecha de depósito: 20/11/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 20/11/2024

Número de palabras: 11.397
Número de caracteres: 72.050

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuente principal detectada

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dspace.ups.edu.ec http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25263/1/TT51334.pdf 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.mendeley.com Mechanical properties of mortar a... preview & related info ... https://www.mendeley.com/catalogue/b1ed8512-0e6d-3473-b97a-21cb645c6c91/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)
2	Documento de otro usuario #21658e El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
3	Documento de otro usuario #c88a99 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
4	Tesis_Christopher_Chavez_-_Mildred_Panchana.docx Tesis_Christopher_C... #e5fc0f El documento proviene de mi biblioteca de referencias	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
5	Documento de otro usuario #d24123 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Cadena Zambrano Michael Alexander, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“ESTUDIO COMPARATIVO DE RESISTENCIA A TENSIÓN DE FR= 35 KG/CM2 DE UN HORMIGÓN CON FIBRAS DE CAÑA APLICANDO ACI 544.4 R”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



Cadena Zambrano Michael Alexander

C.I. 2400252892

AUTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Raúl Andrés Villao Vera MSc.

TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “ESTUDIO COMPARATIVO DE RESISTENCIA A TENSION DE FR= 35 KG/CM2 DE UN HORMIGÓN CON FIBRAS DE CAÑA APLICANDO ACI 544.4 R” previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por el Sr MICHAEL ALEXANDER CADENA ZAMBRANO, egresado de la carrera de INGENIERÍA CIVIL , Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

Atentamente.

f. 

Ing. Raúl Andrés Villao Vera, MSc

C.I.: 0924204290

DOCENTE TUTOR

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA.

La Libertad, 21 de noviembre del 2024

CERTIFICADO

MÓNICA TOMALÁ CHAVARRÍA, Licenciada en Lengua y Literatura Española, Docente en la Carrera de Educación Inicial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, certifico que:

He leído, revisado y corregido la redacción en la concordancia, la morfología, la sintaxis y la ortografía del contenido del Trabajo de Integración Curricular **"ESTUDIO COMPARATIVO DE RESISTENCIA A TENSIÓN DE FR-35 KG/CM² DE UN HORMIGÓN CON FIBRAS DE CAÑA APLICANDO ACI 544.4 R"**. Elaborado por el Autor MICHAEL ALEXANDER CADENA ZAMBRANO, previo a la obtención del TÍTULO DE INGENIERO CIVIL, CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL de la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA de la UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA.

Debo indicar, además, que es de exclusiva responsabilidad que el Autor cumpla con las sugerencias y recomendaciones dadas en la corrección de la documentación impresa.

Es todo lo que puedo afirmar en honor a la verdad.

Atentamente,



LICENCIADA MÓNICA TOMALÁ CHAVARRÍA, Mag.
DOCENTE
SENESCYT REGISTRO No 1031-1386042144

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a Dios, por brindarme la fortaleza y la sabiduría necesarias para completar esta etapa tan significativa de mi formación académica ya que, sin su apoyo bondad habría sido posible lograrlo.

A mi querido padre del corazón, agradezco profundamente su apoyo incondicional, comprensión y dedicación durante todo este proceso. Tus palabras, consejos y presencia han sido clave en mi crecimiento personal y académico. Estoy eternamente, agradecido por todo lo que ha hecho por mí y por nuestra familia. A mi madre, el pilar de mi vida, agradezco su amor incondicional, paciencia y apoyo constante. Su fortaleza, sacrificios y dedicación me han enseñado a seguir mis sueños y no rendirme. Este logro también es tuyo, pues sin tu apoyo y ejemplo no hubiera sido posible. Gracias por estar siempre a mi lado y por ser mi fuente de inspiración. A mis hermanos, quienes me han acompañado a lo largo de este proceso, brindándome su tiempo, paciencia y amor. Su apoyo emocional ha sido clave para que pudiera continuar y culminar este proyecto con éxito.

Agradezco al Ing. Raúl Villao Vera por su orientación, compromiso y por compartir su conocimiento y experiencia. Gracias por su paciencia, por motivarme a dar lo mejor en cada etapa de este trabajo y por su tiempo. También valoro sus recomendaciones, que me ayudaron a mejorar.

A mi familia, por su amor, apoyo constante y comprensión durante todo este proceso. Gracias por estar siempre a mi lado, darme fortaleza en los momentos difíciles y ser mi principal fuente de motivación. Este logro también es fruto de su aliento, paciencia y sacrificio, y me resulta difícil encontrar palabras suficientes para agradecerles todo lo que han hecho por mí. Finalmente agradezco a mis compañeros y amigos por su apoyo, amistad y colaboración a lo largo de estos años. Gracias por acompañarme en los desafíos académicos, momentos de alegría y largas jornadas de estudio. Su ayuda y consejos fueron esenciales. Valoro profundamente la camaradería y el espíritu colaborativo que nos unió, y cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en este camino.

CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	ii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	vi
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	vii
AGRADECIMIENTO	ix
CONTENIDO	x
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABLAS	xvi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2. ANTEDECENTES	2
1.3. HIPÓTESIS	3
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. ALCANCE	4
1.6. VARIABLES.....	5
1.6.1. Variable Independiente.....	5
1.6.2. Variable Dependiente	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6

x

2.1. DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN.....	6
2.1.1. Propiedades del Hormigón	6
2.1.2. Componentes del hormigón.....	7
2.1.3. Dosificación.....	11
2.1.4. Planta de caña brava	12
2.1.5. El hormigón y la Caña Brava sus ventajas y desventajas.....	12
2.1.6. Contribución de la fibra al hormigón	13
2.1.7. Proceso para la obtención de la fibra.....	13
2.1.8. Ensayo de resistencia a la compresión	14
2.1.9. Ensayo de resistencia a la tracción	15
2.1.10. Resistencia del hormigón a la tracción	16
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	21
3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	21
3.1.1 Tipo de investigación.....	21
3.1.2 Nivel de investigación	21
3.2 MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	21
3.2.1 Métodos	21
3.2.2 Enfoque.....	22
3.2.3 Diseño de la Investigación.....	22
3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	22
3.3.1 Población	22
3.3.2. Muestra	22

3.3.3 Muestreo	23
3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	23
3.4.1. Hipótesis	23
3.4.2. Variable independiente	23
3.4.3. Variable dependiente	24
3.4.4. Procesamiento de la información	25
3.5. UBICACIÓN DE LA ZONA DE MATERIALES.....	26
3.5.1. Zona de extracción de materiales agregados	26
3.5.2. Ubicación de la zona de extracción de la fibra de caña brava.....	27
3.6. ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS	27
3.6.1. Ensayo de Peso unitario suelto y compactado.....	28
3.6.2. Densidad, Densidad relativa y Absorción de Agregados	29
3.6.3. Dosificación del hormigón	29
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
4.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS.....	35
4.1.1. Ensayo de granulometría de agregado fino	35
4.1.2. Ensayo de PUS y PUC del árido fino	37
4.1.3. Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino	38
4.1.4. Ensayo de granulometría de agregado grueso	39
4.1.5. Ensayo de PUS y PUC del árido grueso.....	41
4.1.6. Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso	42
4.1.7. Caracterización del cemento.....	43

4.1.8. Caracterización del aditivo	44
4.1.9. Caracterización del agua.....	44
4.1.10. Caracterización de la fibra de caña brava	45
4.1.11. Dosificación del hormigón	45
4.1.12. Ensayos de resistencia a las probetas de hormigón	46
4.1.13. Ensayo de compresión	47
4.1.14. Ensayo de tracción.....	51
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
5.1 CONCLUSIONES	55
5.2 RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXOS	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Muestra de cemento</i>	8
Figura 2 <i>Áridos serie fina y gruesa</i>	9
Figura 3 <i>Ejemplificación de granulometrías para varios tipos de materiales de construcción</i>	10
Figura 4 <i>Fibra de caña brava</i>	13
Figura 5 <i>Proceso de obtención fibra de caña brava</i>	14
Figura 6 <i>Tipos de fallas de especímenes de hormigón ensayados para determinación de la resistencia a la compresión axial</i>	15
Figura 7 <i>Vista general de un dispositivo apropiado para marcar los diámetros en los extremos del cilindro, el cual se emplea para alinear el espécimen en la máquina de ensayo.</i>	16
Figura 8 <i>Diagrama de esfuerzos producidos por flexión para un elemento de sección transversal</i>	16
Figura 9 <i>Ejemplo de ensayo de resistencia a la flexión en tres y cuatro puntos</i>	18
Figura 10 <i>Esquema representativo del ensayo ASTM C78 para esfuerzos generados por flexión en vigas</i>	19
Figura 11 <i>Diagrama de flujo sobre el proceso del proyecto experimental</i>	25
Figura 12 <i>Localización de la cantera Calizas Huayco</i>	26
Figura 13 <i>Localización de la zona de extracción de fibras de caña brava</i>	27
Figura 14 <i>Faja granulométrica serie fina, arena fina</i>	36
Figura 15 <i>Ensayo de granulometría a) Toma de pesos b) colocación de muestra en tamices</i>	37
Figura 16 <i>Faja granulométrica serie gruesa, ripio</i>	40

Figura 17 <i>Ensayo de granulometría a) Toma de pesos b) colocación de muestra en tamices</i>	41
Figura 18 <i>Probetas de hormigón a) etiquetado b) colocación de probetas a ensayar ..</i>	47
Figura 19 <i>Resistencia a la compresión de las probetas a los 7 días</i>	48
Figura 20 <i>Resistencia a la compresión de las probetas a los 14 días</i>	49
Figura 21 <i>Resistencia a la compresión de las probetas a los 28 días</i>	50
Figura 22 <i>Evolución de la resistencia a la compresión para las probetas de hormigón con adición de fibra de caña brava los 7, 14 y 28 días</i>	51
Figura 23 <i>Evolución de la resistencia a la tracción para las vigas de hormigón con adición de fibra de caña brava a los 14 y 28 días</i>	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de la variable independiente</i>	23
Tabla 2 <i>Operacionalización de la variable independiente</i>	24
Tabla 3 <i>Valoraciones de acorde al tipo de operación para el diseño de hormigón</i>	30
Tabla 4 <i>Asentamientos del hormigón a partir del tipo de estructuras</i>	30
Tabla 5 <i>Valores para la estimación del agua mezclada</i>	31
Tabla 6 <i>Valores de la relación agua/cemento</i>	31
Tabla 7 <i>Ensayo de granulometría serie fina, arena fina</i>	35
Tabla 8 <i>PUS del agregado fino</i>	37
Tabla 9 <i>PUC del agregado fino</i>	38
Tabla 10 <i>Gravedad específica del agregado fino</i>	38
Tabla 11 <i>Ensayo de granulometría serie gruesa, ripio</i>	39
Tabla 12 <i>PUS del agregado grueso</i>	41
Tabla 13 <i>PUC del agregado grueso</i>	42
Tabla 14 <i>Gravedad específica del agregado grueso</i>	42
Tabla 15 <i>Ficha técnica del cemento Holcim</i>	43
Tabla 16 <i>Ficha técnica del aditivo hiperplastificante Milenium</i>	44
Tabla 17 <i>Ficha técnica de la fibra de caña brava</i>	45
Tabla 18 <i>Proporción de los agregados para lo dosificación de hormigón</i>	46
Tabla 19 <i>Proporción de adición de fibra de caña brava para lo dosificación de hormigón</i>	46
Tabla 20 <i>Resultados de los ensayos de compresión a los 7 días</i>	47

Tabla 21 <i>Resultados de los ensayos de compresión a los 14 días</i>	48
Tabla 22 <i>Resultados de los ensayos de compresión a los 28 días</i>	49
Tabla 23 <i>Resultados de los ensayos de tracción a los 14 días</i>	52
Tabla 24 <i>Resultados de los ensayos de tracción a los 28 días</i>	52

“ESTUDIO COMPARATIVO DE RESISTENCIA A TENSIÓN DE FR=
35 KG/CM² DE UN HORMIGÓN CON FIBRAS DE CAÑA
APLICANDO ACI 544.4 R”

Autor: Cadena Zambrano Michael Alexander

Tutor: ING. Villao Vera Raúl Andrés

RESUMEN

El estudio realizado aborda la incorporación de fibras de caña brava en el hormigón con el propósito de evaluar su impacto en la resistencia del material; la investigación parte de la problemática de encontrar alternativas sostenibles para la construcción, comparando la resistencia a la compresión y tracción entre el hormigón tradicional y aquel reforzado con fibras de caña al 4% y 8%. Para llevar a cabo este análisis, se realizaron ensayos experimentales en cilindros y vigas de hormigón, siguiendo las normativas ACI y ASTM, para los procesos de caracterización de la mecánica de los agregados y sus pruebas en la prensa para elementos de hormigón, evaluándolos en distintos periodos de curado: 7, 14 y 28 días. Los resultados obtenidos evidenciaron que la inclusión de fibras de caña no mejoró la capacidad de carga y la durabilidad del hormigón, tanto a la compresión como a la tracción, revelaron limitaciones a medida que se aumentaba el porcentaje de filamentos de caña brava, de tal manera, se sugiere buscar otras alternativas con otros aditivos naturales que puedan contribuir al aumento de la resistencia a compresión y tracción.

PALABRAS CLAVE: fibra, hormigón, resistencia, tracción, compresión.

“COMPARATIVE STUDY OF TENSILE STRENGTH OF CONCRETE WITH
FIBERS OF CANE APPLIED ACCORDING TO ACI 544.4 R”

Autor: Cadena Zambrano Michael Alexander

Tutor: ING. Villao Vera Raúl Andrés

ABSTRACT

The conducted study addresses the incorporation of caña brava fibers into concrete to evaluate their impact on the material's strength; this research begins with the issue of finding sustainable alternatives for construction by comparing the compressive and tensile strength between traditional concrete and concrete reinforced with 4% and 8% caña fibers. To carry out this analysis, experimental tests were performed on concrete cylinders and beams, following ACI and ASTM standards for aggregate characterization and testing procedures using concrete testing presses, evaluating them at different curing periods: 7, 14, and 28 days. The results showed that the inclusion of caña fibers did not enhance the load capacity and durability of the concrete in terms of both compression and tension; limitations were revealed as the percentage of caña brava filaments increased. Therefore, it is suggested to explore other natural additives that may contribute to improving compressive and tensile strength, for the future find another solution to improve concrete reinforced.

KEYWORDS: fiber, concrete, strength, tensile, compression

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el mundo industrializado actual, el ritmo de generación de desechos ha incrementado, de forma preocupante en los últimos años, situación que es preocupante no solo por la cantidad de residuos producidos, sino también por la falta de una gestión adecuada y sostenible, así, muchos de estos desechos terminan en vertederos o en los océanos, causando daños graves al medio ambiente y a la biodiversidad (Calderón-Quijije y otros, 2024).

Es desalentador que, a pesar de una mayor conciencia sobre los efectos negativos de la contaminación, no estemos abordando este problema de manera adecuada, las políticas de reciclaje y reducción de residuos son insuficientes y, a menudo, están mal implementadas. Además, la industria sigue utilizando materiales desechables y no renovables debido a su bajo costo, perpetuando un ciclo de consumo insostenible (Osorio & Zapata, 2023).

En un contexto global donde la falta de fuentes renovables se ha transformado en una preocupación creciente, las empresas dedicadas a la construcción afrontan el reto de encontrar materiales sostenibles que puedan sustituir a los tradicionales, cuyo uso intensivo tiene un alto impacto ambiental; el hormigón, parte principal dentro de las edificaciones y de los más utilizados, se produce principalmente a partir de recursos no renovables como el cemento y los agregados minerales; proceso de producción que no solo consume grandes cantidades de energía, sino que también, contribuye significativamente a las liberaciones de dióxido de carbono (CO₂), exacerbando el problema del cambio climático (Malavé & Jativa, 2023). De acuerdo al Banco Mundial, se estima que la producción global de residuos sólidos alcanzará los 3.4 mil millones de toneladas para el 2050; en el mundo de Ingeniería Civil, la fabricación de cemento contribuye alrededor del 8% de las emisiones globales de CO₂, datos que subrayan una urgencia de encontrar soluciones sostenibles para reducir la huella ambiental de la construcción; así empresas como LafargeHolcim están desarrollando cementos bajos en carbono y materiales reciclados, demostrando que es posible combinar sostenibilidad y rentabilidad (Grimmeissen y otros, 2020).

El concreto es una parte esencial de las edificaciones modernas, y la búsqueda de componentes alternativos se justifica por varias razones, como su capacidad para alcanzar altas resistencias, reducir el peso de las estructuras y aumentar su durabilidad. En la actualidad, se utilizan componentes de diversas formas y tamaños, fabricados con plástico, vidrio, acero y materiales naturales.

Actualmente, se emplean componentes o aditivos de diversas configuraciones y dimensiones, producidas con plástico, vidrio, acero, plástico y materiales naturales, en este proyecto, se utiliza fibra de caña guadua, uno de los materiales estructurales importantes dentro de los procedimientos de construcción ecuatorianos.

El propósito para incorporar fibra a partir de la caña en el hormigón es aumentar su resistencia y durabilidad, las fibras de caña funcionan como refuerzos en la matriz de hormigón, distribuyendo las tensiones de manera más uniforme y minimizando la propagación de grietas, esta posible mejora en las propiedades mecánicas del hormigón permitirá que soporte cargas mayores y se comporte, de manera más eficiente, ante impactos y tensiones. Además de incrementar la resistencia, la adición de fibras de caña puede ofrecer otros beneficios importantes, como una mayor flexibilidad y tenacidad, así como una mejor resistencia a la fractura, traduciéndose en una vida útil más prolongada de las estructuras construidas con este tipo de hormigón, disminuyendo la necesidad de reparaciones y mantenimiento; la fibra de caña guadua tiene alta capacidad de resistencia frente a la tracción, comparable con las fibras sintéticas, y una excelente capacidad de adherencia con la matriz de concreto, dichas características proporcionan que los filamentos distribuyan eficazmente las tensiones internas y aumenten la tenacidad del material (Robles De La Cruz, 2022).

Aunque el uso de fibras de caña en el hormigón ofrece numerosos beneficios, también presenta desafíos, como la variabilidad en la calidad de las fibras naturales y la necesidad de adaptar las técnicas de producción y mezcla. Por lo tanto, es crucial abordar estos desafíos mediante investigaciones adicionales y pruebas a gran escala.

Desde una perspectiva medioambiental, el uso de fibras de caña también presenta ventajas significativas, debió a que la caña es un recurso natural y renovable, lo que hace su utilización más sostenible en comparación con fibras sintéticas o metálicas, un enfoque que contribuye a reducir el impacto de carbono del proceso constructivo, fomentando prácticas más ecológicas y sostenibles en la industria. El uso de fibras de caña en el

hormigón se alinea con los principios de la economía circular, que promueve el empleo de materiales sostenibles y la minimización de desechos, al integrar materiales naturales en la construcción, se fomenta un ciclo de vida más sostenible para los recursos, contribuyendo a la disminución del impacto de gases de efecto invernadero y el impacto ambiental (Candelario, 2023).

1.2. ANTEDECENTES

Condori (2020) en “Development of concrete pavements of short slabs with fiber incorporated” realiza una descripción del desarrollo de pavimentos en la fabricación de losas para vías con pequeños componentes integrada en carretera, así, mediante análisis descriptivo de la metodología de construcción con esta técnica de innovación y obteniendo como resultado que estos pavimentos de losa corta con fibra, generan bajos costos en mantenimiento, una vida útil más larga y ahorro en la construcción.

(Khokhar, Roziere, Turcry, Grondin, & Loukili (2010) en “Mix design of concrete with high content of mineral additions: Optimisation to improve early age strength” tiene como finalidad la reducción de dióxido de carbono a través del reemplazo de cemento con la incremento de componentes como: heces fundidos a altas temperaturas, residuos de combustión volantes o piedra caliza, lo que en principio reduce carga admisible del concreto a edades prematuras, por lo que presentaron una metodología que optimice los porcentajes de sustitución.

Benel (2023) en “Analysis and comparison of improved concrete with the addition of different types of materials” desarrolló un investigación sobre revisión de datos para corroborar información y elaborar contrastes entre ellos, referente a la suma de distintos materiales a la composición del concreto, entre los materiales incluían: nano silica, puzolona, restos de ladrillo reciclado, obteniendo mejoras con la resistencia con la adición de un costo reducido.

Hee Son, Hwangbo, Suh, & Il Bae (2022) en “Mechanical properties of mortar and concrete incorporated with concentrated graphene oxide, functionalized carbon nanotube, nano silica hybrid aqueous solution” tiene como propósito desarrollar concreto con mayores ventajas utilizando la combinación de varios nanomateriales, a través de la evaluación y el desempeño mecánico en laboratorio, teniendo como resultados evidentes mejores con limitaciones a escalas industriales.

Arias, Córdova, & Gómez (2021) en “Alternativas de aprovechamiento de residuos de la industria minera de El Bajo Cauca Antioqueño en el sector de la construcción” presenta alternativas para el aprovechamiento de relaves de la minería en la fabricación de mezclas de hormigón y morteros, que reducen los valores de fabricación y al mismo tiempo reducen el impacto ambiental de la minería.

Villao (2022) en “Las nuevas técnicas para el desarrollo y evaluaciones de las estructuras de hormigón” determinó el uso de técnicas en la actualidad referente a la evaluación de las estructuras de hormigón, mediante un diseño bibliográfico y la revisión minuciosa de literatura, identificó los desafíos y factores de riesgos de la construcción.

Vélez y otros (2019) en “Estudio de la resistencia a compresión del hormigón utilizando el vidrio finamente molido en reemplazo parcial del cemento” el objetivo que plantea este trabajo es elaborar una mezcla de hormigón rentable y amigable con el medio ambiente, donde se elaboraron diseños con sustitución de vidrio pulverizado finamente con sustitución de distintos porcentajes de pegamento constructivo , determinando que no es factible su aplicabilidad para la mejora de los porcentajes de resistencias a la compresión.

Cajas & Esquivel (2023) en “Análisis comparativo del hormigón tradicional con hormigón elaborado con fibras de caucho reciclado incorporado a volúmenes de 0.50%, 0.75%, 1.00% y 1.25%, mediante los ensayos a compresión y tracción” presenta incorporación ínfimos volúmenes al agregado fino, usando como referencias las normativas ASTM e INEN; al incorporar fibras de caucho al 1.25% se obtuvo aumentos porcentuales favorables para la capacidad de soportar carga a compresión, por lo tanto, establece para el hormigón con fibras de goma presenta cifras significativas en comparación con el tradicional.

1.3. HIPÓTESIS

El hormigón con fibras de caña, conforme a las directrices establecidas por la ACI 544.4R, presente capacidad admisible comparable o incluso mayor al hormigón tradicional.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Realizar un estudio comparativo de la resistencia a compresión y tracción entre el hormigón patrón de $f'c=350$ kg/cm² y el hormigón de reforzado con fibras de caña,

aplicando las recomendaciones y procedimientos establecidos en la norma ACI 544.42R.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los agregados, componentes aditivos y métodos de los agregados del hormigón tradicional y el extracto de fibra de caña.
- Elaborar probetas de hormigón con la adición de la fibra de caña a 4% y 8%.
- Elaborar vigas de hormigón con la adición de la fibra de caña a 4% y 8%.
- Analizar la capacidad admisible a compresión y tracción con la adición de las fibras de caña y hormigón patrón de las probetas y vigas de hormigón.
- Realizar una evaluación comparativa de la resistencia a compresión y tensión de los cilindros y vigas de hormigón ensayados.

1.5. ALCANCE

La finalidad es llevar a cabo un contraste detallado de la resistencia a compresión entre dos tipos de concretos: patrón y reforzado con fibras de caña brava, por lo cual, el análisis seguirá las directrices establecidas en la norma ACI 544.4R, enfocándose en comprender cómo la inclusión de fibras de caña afecta el potencial del hormigón para soportar fuerzas de compresión; por lo cual, se plantea evaluar la viabilidad y eficacia de este material alternativo en aplicaciones estructurales, lo que podría representar un avance significativo en la búsqueda de opciones más sostenibles en la construcción.

Los hallazgos de esta investigación serán de mucha relevancia en el ámbito de la construcción civil y el diseño estructural, áreas donde concreto es un componente fundamental. Ingenieros, arquitectos, diseñadores y otros profesionales del sector podrán beneficiarse de estos hallazgos, así como empresas e instituciones involucradas en proyectos de infraestructura y edificación; la información generada proporcionará un fundamento firme para la toma de decisiones relacionadas con la selección y diseño de materiales en proyectos constructivos que requieran hormigón reforzado.

La implementación de recomendaciones específicas derivadas de este estudio podría resultar en mejoras significativas en la robustez y longevidad de las construcciones hechas a base de concreto con componentes de caña brava. Además, se espera que estas recomendaciones contribuyan a una reducción del impacto ambiental asociado con la producción de hormigón convencional, promoviendo así prácticas más sostenibles en el sector de obras civiles.

Es significativo señalar, en este estudio se concentrará exclusivamente una comparación a partir de la carga admisible a la compresión, entre los dos especímenes de hormigón mencionados, aspectos adicionales del comportamiento del concreto, como su capacidad para soportar tracción, durabilidad a largo plazo y desempeño frente a diferentes condiciones ambientales, no serán abordados en esta investigación.

Las condiciones específicas de aplicación, como el diseño estructural, la exposición ambiental y los requisitos de carga, pueden variar considerablemente entre diferentes proyectos de construcción; por lo tanto, los resultados y recomendaciones obtenidos de este estudio pueden requerir adaptaciones y consideraciones adicionales para su aplicación efectiva en contextos específicos.

Es necesario reconocer que la viabilidad y efectividad del uso de hormigón reforzado con fibras de caña pueden estar influenciadas por factores locales, como la disponibilidad y calidad de los materiales, así como las prácticas de producción y construcción específicas de cada región; consideraciones locales que no serán exploradas en detalle en esta investigación, aunque se reconocen como elementos cruciales que deben ser evaluados caso por caso en proyectos individuales; así, sobre la viabilidad y efectividad del uso de fibras de caña en hormigón de $f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$, se aportarán recomendaciones para aplicaciones prácticas y futuras investigaciones basadas en los hallazgos del estudio, al mismo tiempo, se identificarán posibles limitaciones del estudio y se sugerirán direcciones para trabajos futuros, aportando de este modo al progreso en el campo del concreto armado con componentes naturales, ante su capacidad para alcanzar resistencias específicas.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variable Independiente

Hormigón tradicional y el hormigón con fibras de caña, según las directrices de la ACI 544.4R

1.6.2. Variable Dependiente

Resistencia a compresión y tracción del hormigón

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN

El hormigón es un material con características de adaptarse a diversas circunstancias, esfuerzos y escenarios de acuerdo con los requisitos establecidos para su uso final, así, en el mundo de la industria de la ingeniería civil se pueden hallar distintos ejemplares de concreto, como el concreto básico, el concreto ciclópeo, el concreto reforzado con acero, entre otros (Garcia, 2024).

En cuanto a la definición del concreto existen numerosas publicaciones técnicas que ofrecen diversas interpretaciones sobre el concepto de concreto, algunas más profundas que otras. Sin embargo, la definición que se presenta a continuación adopta un enfoque literario, sin adentrarse en excesivos tecnicismos, pero con el propósito de revelar la esencia del concreto y lo que representa, el hormigón no se limita a formar vigas lineales ni a ser utilizado exclusivamente en paneles planos, en ocasiones se curva con elegancia para crear arcos, mientras que en otras ocasiones se despliega en tres dimensiones, ajustando su grosor para envolver los volúmenes que el proyectista desea contener; su capacidad para adoptar diversas formas ha generado nuevas soluciones a problemas antiguos, donde la técnica y la sensibilidad artística se fusionan para desarrollar un estilo único en la construcción, por lo tanto, no ha sido su apariencia grisácea y poco atractiva lo que ha impulsado su éxito, sino su versatilidad, la cual ha sido clave en su triunfo (Nistal et al., 2012).

2.1.1. Propiedades del Hormigón

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), expresa que, las características del hormigón son: trabajabilidad, cohesión, resistencia y durabilidad. (IMCYC, 2004). Es importante señalar que las normas INEN recomiendan basarse en el documento "Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials" para aplicar criterios relacionados con los atributos del hormigón. (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2011).

Bajo su punto de vista, (Merrit, 1992) describe estas propiedades bajo las siguientes conceptualizaciones:

Trabajabilidad: Característica clave en distintos usos del hormigón, que hace referencia a la sencillez como se pueden mezclar los ingredientes y manejar la mezcla resultante. Esto incluye su capacidad para ser transportada y colocada sin perder uniformidad.

Durabilidad: Un hormigón se estima que tenga la capacidad de soportar las condiciones ambientales, la influencia de sustancias químicas y el deterioro al que quedará expuesto durante su uso.

Impermeabilidad: Característica importante con indicios de mejorar A menudo disminuyendo la cantidad de agua en la mezcla, permitiendo al concreto resistir la penetración de líquidos.

Resistencia: Esta es una de las propiedades más relevantes del concreto y se suele medir debido a la capacidad de una muestra para resistir la compresión. Dado que el hormigón incrementa su capacidad de resistencia con el tiempo, llega a soportar valores a la compresión a los 28 días de acuerdo con el parámetro solicitado, el hormigón 210 kg/cm² más comúnmente empleado para evaluar esta característica.

2.1.2. Componentes del hormigón

Como menciona la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) el mortero, un elemento formado por la combinación, en fracciones adecuadas de pegamento portland, agregados y agua, además, se incluye variedades de sustancias e ingredientes de mejora adicionales; por otro lado, el concreto armado se consigue al incorporar varillas de acero dentro de la mezcla del concreto (EHE-08, 2018).

Así mismo (EHE-08, 2018) presenta la descripción de estos componentes y se aprecian en las figuras 1 – 3 ilustraciones que representan estos materiales:

Cemento: Este pegamento forma parte de los aglutinantes hidráulicos mayormente utilizados en nuestra actualidad. Se denomina aglutinante de fraguado hidráulico, al combinarse con agua, se solidifica y consolida, ya sea estando en contacto con el aire o sumergido en agua.

Figura 1

Muestra de cemento



Nota: Cemento almacenado en condiciones secas y frescas para mantener su integridad y rendimiento óptimos. Tomado de Pedro Landin (Landín, 2013)

También (EHE-08, 2018), expresa sobre los componentes de los cementos, además detalla las conceptualizaciones de los áridos finos y gruesos:

Los componentes del cemento, que al dosificarse en diferentes proporciones y molerse conjuntamente, generan los distintos tipos de cemento, son:

- Clinker portland. - Producto compuesto en su mayoría por silicato de calcio, obtenido mediante la cocción hasta una fusión parcial de una mezcla homogénea y definida de materiales que contienen principalmente. CaO , SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 .
- Clinker de aluminato de calcio.
- Adiciones:
 - - Escoria de alto horno: subproducto de la producción de hierro en un alto horno.
 - - Humo de sílice: subproducto generado en la fabricación de aleaciones de ferro-silicio en hornos de arco eléctrico.
 - - Puzolanas: provienen de rocas volcánicas y magmáticas.
 - - Cenizas volantes: subproducto de la combustión del carbón en plantas térmicas.
 - - Esquistos calcinados.
 - - Caliza: roca que actúa como material de relleno en la pasta o mortero.
- Reguladores de fraguado (sulfato de calcio).
- Aditivos de los cementos.

De todos estos componentes, lo importante es el clínker Portland, este se obtiene cuando se calienta hasta su unión fraccionada, composiciones altamente homogéneas de piedras calcáreas y arcillas, preparadas de manera artificial, para conseguir una composición casi completa de sus elementos.

Áridos: Se pueden emplear como áridos materiales naturales o sintéticos que cuenten con capacidad necesaria para no comprometer el soporte ni la constancia del concreto; por lo tanto, deben estar exentos de contaminantes (como limo y arcilla) y de sustancias perjudiciales (como cloruros, sulfatos y sulfuros).

Figura 2

Áridos serie fina y gruesa



Nota: Áridos de serie fina y gruesa utilizados en la preparación de mezclas de concreto. Tomado de Instrucción Española del Hormigón Estructural.

Por lo general, se usan arenas y gravas naturales, basaltos triturados o residuos de la industria siderúrgica adecuadas, al no disponer de información previa o en caso de duda, es necesario verificar que estos materiales cumplan con las condiciones de uso.

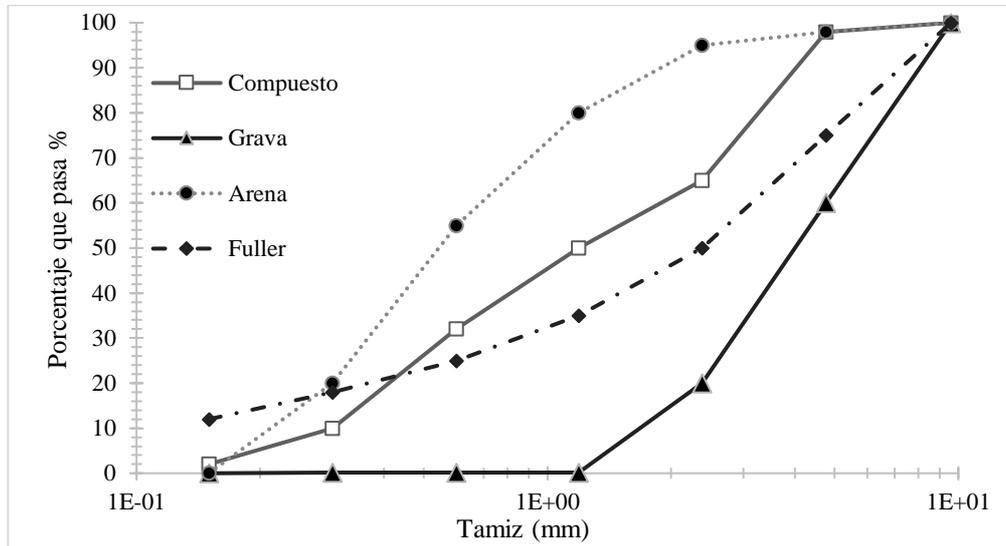
La arena, o árido fino, se refiere a la porción de árido que atraviesa por un tamiz de 4 mm de abertura; en cambio, basalto triturado o ripio, es aquel que permanece retenido en dicho tamiz; el término árido total, o simplemente árido, se refiere a la mezcla de piedra triturada y grano fino de areniscas en las proporciones adecuadas para la fabricación del hormigón en una situación específica.

La granulometría de un árido se define como la distribución de los diferentes tamaños de árido en términos de porcentaje. Esto se determina mediante un cribado en una serie de tamices normalizados, y su representación habitual es a través de una curva en un sistema cartesiano, donde el eje horizontal (abscisa) corresponde al tamaño de la abertura del tamiz (en escala logarítmica) y el eje

vertical (ordenada) muestra el porcentaje en peso de árido que ha pasado a través de ese tamiz.

Figura 3

Ejemplificación de granulometrías para varios tipos de materiales de construcción



Nota: Áridos de serie fina y gruesa utilizados en la preparación de mezclas de concreto. Tomado de Instrucción Española del Hormigón Estructural.

La Instrucción de Hormigón Estructural, 2018, detalla la constitución de los áridos como:

Los áridos compuestos, principalmente, por granos gruesos generan un mayor volumen de espacios vacíos en comparación con aquellos integrados por arena, y estos espacios tienen que ser rellenados con cemento; en cambio, las series finas que consisten mayormente en granos finos ofrecen una superficie más amplia para ser cubierta con cemento; de tal manera, se concluye que un árido de calidad debe minimizar el volumen de espacios vacíos posibles, mientras que su área total sea lo más pequeña posible, así, se establecen proporciones específicas en las dimensiones de los granos (granulometría) de modo que los de menor tamaño entren en los espacios que, por su forma, dejan más grandes, aumentando así la compacidad.

Agua: El agua de amasado es la porción de agua que se incorpora a la mezcla seca de cemento y series finas y gruesas; cantidad debe ser mayor que la necesaria para el fraguado por los motivos siguientes:

- Durante el amasado, el transporte y la colocación del concreto, así como por evaporación, se producen pérdidas de agua.

- Una parte del agua de amasada es absorbida por las series finas y gruesas, siendo esta cantidad mayor en los granos más pequeños.
- El agua otorga fluidez a la mezcla de concreto, lo que facilita su colocación en el sitio de la obra.

Aditivos: Se agregan al concreto antes o durante el proceso de amasado (o en un amasado posterior), en proporciones que no superan el 5% del peso del cemento, con el fin de provocar cambios específicos en la composición del fraguado o endurecido del concreto, alterando algunas de sus rasgos, atributos o conducta habitual.

Los aditivos más comunes hoy en día son:

- Aceleradores: Debe acelerar el fraguado y el endurecimiento del concreto, generalmente cumple las dos funciones.
- Retardadores: Tiene como propósito retrasar la solidificación del concreto, normalmente, las cargas admisibles de presión en los primeros días (1 a 3 días) son de bajas resistencias, pero las de 28 o 90 días pueden ser incluso superiores a las del hormigón sin adiciones de aditivos.
- Plastificantes: La función es aumentar la plasticidad y la trabajabilidad del concreto, facilitando el uso de composiciones que serían difíciles para colocar, o permitiendo reducir la cantidad de agua de amasado para mejorar la resistencia o la dosificación del cemento.
- Aireantes: Su función es introducir numerosas burbujas de aire de manera uniforme en la masa del hormigón, las mismas interrumpen el tejido capilar del concreto fraguado, lo que mejora su soporte al congelamiento y a los agentes agresores.
- Plastificantes-aireantes: Combinan las propiedades de ambos tipos de aditivos, lo que permite obtener hormigones más manejables y de mayor resistencia mecánica y química en comparación con los hormigones ordinarios.

2.1.3. Dosificación

En la actualidad, las dosificaciones para hormigones se establecen con un margen de seguridad que supera las resistencias requeridas. Esto se debe a que en los trabajos de

campo a menudo se desperdician materiales, por lo que se llevan a cabo este tipo de cálculos preventivos. (Orbe, 2013).

Las normas de diseño, de acuerdo con la *American Concrete Institute*. 211.1 (ACI 211.1), basada en la normativa *American Society for Testing and Materials C33* (ASTM C33), estas reglamentaciones sugieren observar las especificaciones para los diferentes tipos de series

(Romero & Hernández, 2014) Indican que las dosificaciones para el diseño de hormigón deben seguir un proceso de pruebas para los diferentes materiales. En la mezcla, se debe pesar cada componente o, en su defecto, medir su volumen.

También, presentan parámetros a considerar para el diseño de la mezcla, tales como asentamientos, tamaño máximo nominal (TMN), contenido de aire, cantidad de agua, relación agua-cemento y el cálculo del contenido de cemento.

2.1.4. Planta de caña brava

La caña brava, cuyo nombre científico es *Arundo donax*, es una planta herbácea perenne que se caracteriza por su rápido crecimiento y alta resistencia, en el sector de la construcción, se utiliza como material de refuerzo en la producción de paneles compuestos, gracias a sus propiedades mecánicas favorables como la resistencia y la rigidez (Monsalve y otros, 2018).

Este material se presenta como una opción viable para la construcción sostenible, ya que, siendo una planta invasiva, puede cultivarse y cosecharse de manera eficiente, lo que contribuye a reducir residuos y fomentar el uso de recursos renovables; además, su aplicación en la fabricación de paneles compuestos puede mejorar la estabilidad dimensional y las propiedades físicas de los materiales, lo que la convierte en una alternativa interesante frente a otros refuerzos como el bambú o las fibras de coco (Ghoreishi, 2011).

2.1.5. El hormigón y la Caña Brava sus ventajas y desventajas

El uso de guadua caña brava embutida en hormigón introduce una innovadora técnica constructiva que funciona como encofrado permanente, a diferencia de las losas tradicionales de hormigón, que requieren un tiempo de curado mínimo de 28 días, esta solución permite el desencofrado en tan solo 24 horas, optimizando significativamente los tiempos de construcción; la caña brava, al ser un recurso local y renovable, representa un material altamente sostenible para la construcción, su empleo reduce costos, aprovecha

recursos regionales y minimiza el impacto ambiental, alineándose con los principios modernos de construcción responsable y respetuosa con el medio ambiente. Pese a las destacadas propiedades físico-mecánicas de la guadua, uno de los principales desafíos en su integración con el hormigón es la adherencia entre ambos materiales, sin embargo, se han desarrollado técnicas específicas para mejorar esta interacción, asegurando la efectividad estructural del sistema constructivo propuesto (González & Vásconez, 2023).

2.1.6. Contribución de la fibra al hormigón

La fibra presenta características como alta resistencia, un brillo atractivo, ligereza y una alta higroscopicidad, lo que la hace difícil de degradar. Esta fibra es adecuada para la producción textil en Ecuador y también se puede emplear en manualidades, muebles, cortinas y más. Gracias a su alto brillo y excelentes propiedades higroscópicas, resulta apropiada para la hilatura y otras aplicaciones. (Abad y otros, 2012). La agregación de fibra de caña brava en el hormigón tiene como objetivo mejorar su resistencia (figura 4); la fibra de caña es comparable a la fibra natural de bambú o bagazo, y se distingue debido a su textura suave, su dureza y su habilidad para retener humedad, siendo superior ante otras fibras debido a su resistencia y ligereza. (Perez & Palomino, 2019).

Figura 4

Fibra de caña brava



Nota: Esta imagen muestra la fibra de caña brava, un material sostenible y de origen natural. Fuente y elaboración: Propia.

2.1.7. Proceso para la obtención de la fibra

En la urgente búsqueda de materiales que ayuden a mejorar las características mecánicas del concreto, se contempló el uso de la fibra de caña brava en la región costera de Ecuador y Colombia; este enfoque ambiental y el proceso involucrado se describen en la investigación de (Romero & Vega, 2019) que apreciamos a continuación:

1. La caña brava, suele cosecharse entre los 3 y 5 años posteriores a su siembra, este período, que varía según las condiciones de crecimiento y el propósito de su uso, permite que la planta alcance las dimensiones y la resistencia necesarias para su aplicación en la construcción.
2. Se extraen las fibras y se someten a un proceso de secado alrededor de 14 días, o cuando su composición esté completamente seca; por lo tanto, estos filamentos pueden ser verdes o maduros al momento de la recolección.
3. La protección de la caña brava frente a plagas y hongos se logra mediante tratamientos químicos, entre los cuales el bórax es uno de los más utilizados para inmunizar la guadua, este compuesto previene la descomposición y el ataque de insectos, incrementando la durabilidad del material en la construcción.
4. Después, se lavan las fibras secas para garantizar su limpieza total y obtener un material listo para el procesamiento.
5. A continuación, se cortan las fibras a una longitud aproximada de una pulgada, o según lo que se requiera para su uso, como se muestra en la figura 5.
6. La mezcla final estará compuesta por agregados finos y gruesos, fibra, cemento y un aditivo superplastificante.

Figura 5

Proceso de obtención fibra de caña brava



a)

b)

c)

Nota: a) Curado de la caña brava con químicos b) Extracción de la fibra de caña brava c) Recolección de los filamentos de la caña brava (Bambú, 2022).

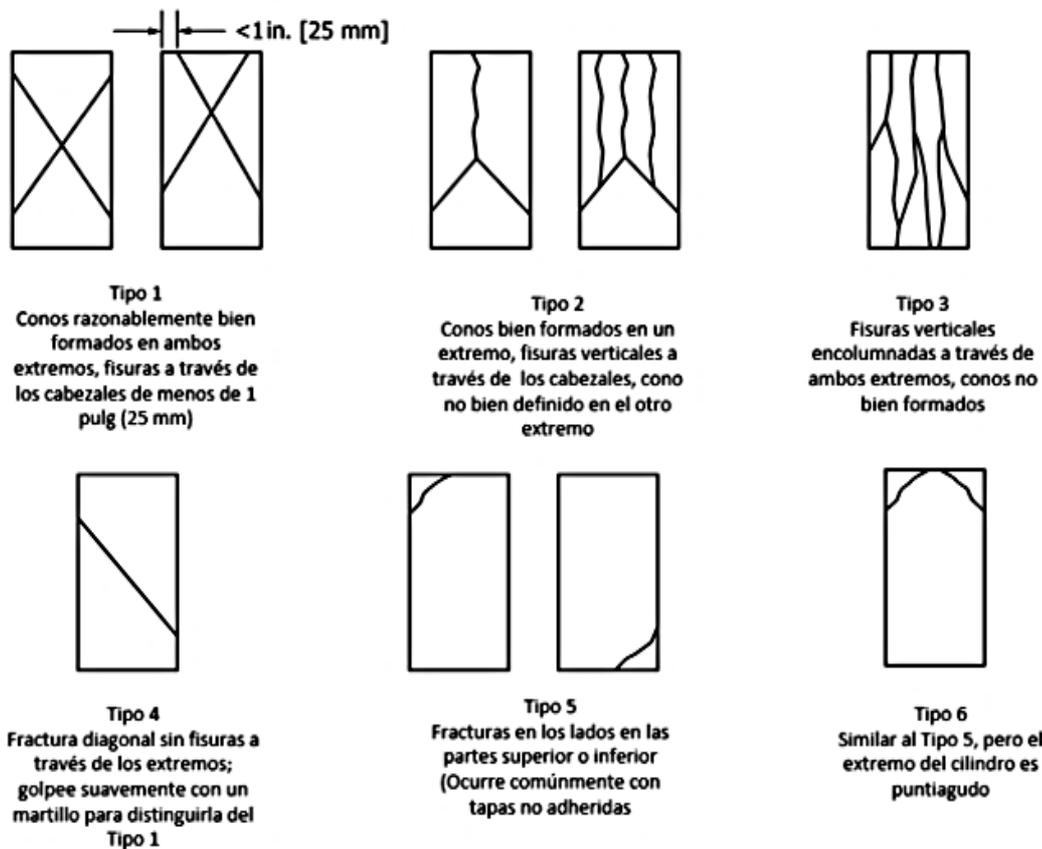
2.1.8. Ensayo de resistencia a la compresión

El objetivo del ensayo es establecer la capacidad de resistencia a la carga máxima de presión de muestras de hormigón hidráulico, se propone fabricar especímenes o

cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, los cuales se someterán a ensayos de laboratorio para medir su capacidad a la carga de presión simple, estos estudios se pueden llevar a cabo a distintas edades del hormigón, por lo que se realizarán a los 7, 14 y 28 días posteriores a la preparación del concreto. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010). Las fallas clásicas una vez realizado el ensayo se evidencian en la figura 6.

Figura 6

Tipos de fallas de especímenes de hormigón ensayados para determinación de la resistencia a la compresión axial



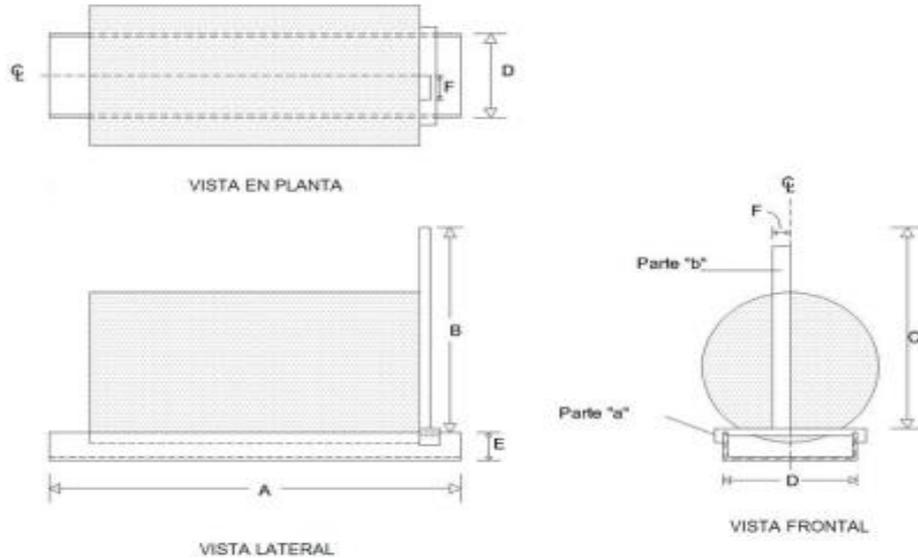
Nota: Estas fallas reflejan las distintas formas en que el material puede fracturarse bajo carga, proporcionando información valiosa sobre el comportamiento estructural del hormigón. Tomado de Instituto Ecuatoriano de Normalización

2.1.9. Ensayo de resistencia a la tracción

El propósito del estudio consiste en medir la resistencia del material a la tracción de muestras cilíndricas de hormigón hidráulico, este procedimiento implica aplicar una fuerza a flexión al centro de la longitud de un espécimen rectangular de concreto, a una velocidad establecida dentro de las fajas en esta normativa, hasta que se produzca rotura. La fuerza aplicada genera tensión de tracción en el plano donde se aplica la carga, así como una tensión de compresión respectivamente alta a la zona próxima a la presión aplicada. Ver figura 7.

Figura 7

Vista general de un dispositivo apropiado para marcar los diámetros en los extremos del cilindro, el cual se emplea para alinear el espécimen en la máquina de ensayo.



Nota: Este dispositivo es fundamental para garantizar una alineación precisa del espécimen en la máquina de ensayo, lo que asegura que las mediciones de los diámetros y la evaluación de la resistencia se realicen de manera correcta y confiable durante las pruebas. Tomado de Instituto Ecuatoriano de Normalización.

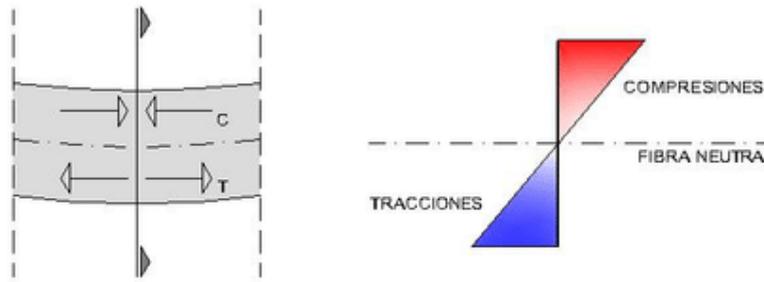
La falla por tracción se produce antes que la falla por compresión debido a que las zonas de aplicación de carga están en compresión triaxial, lo que les permite soportar esfuerzos de compresión superiores a los que se obtienen en la prueba de resistencia a la compresión uniaxial. (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013).

2.1.10. Resistencia del hormigón a la tracción

Los esfuerzos de flexión son las tensiones internas que se generan en un material cuando este es sometido a una fuerza perpendicular a su eje longitudinal, provocando una curvatura o deformación en su estructura (Guede et al., 2013). Durante la flexión, el material experimenta dos tipos de cargas de compresión en la sección que se comprime y tracción en el fragmento que estira (Timoshenko et al., 2004) así tal cual se representa en la figura 8.

Figura 8

Diagrama de esfuerzos producidos por flexión para un elemento de sección transversal



Nota. El diagrama representa la relación existente entre una fuerza actuante sobre un elemento cualquiera y los esfuerzos producidos en las fibras que lo conforman. Tomado de Miguel y otros (2008)

La flexión en el hormigón genera tensiones internas que producen deformaciones en su estructura, la sección superior del elemento percibe carga a compresión, mientras que la sección inferior está sometida a esfuerzos de tracción. Debido a que el concreto posee un alto soporte a la compresión, sin embargo, es débil frente a la tracción, las zonas donde predominan las tensiones de tracción son susceptibles de agrietarse o fallar (Alcivar et al., 2021).

Para evaluar la resistencia del concreto a los esfuerzos generados por la flexión del elemento la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, (ASTM, por sus siglas en inglés) propone principales ensayos para este parámetro el Ensayo de Flexión con Carga en Tres Puntos (ASTM C78) y el Ensayo de Flexión con Carga en Cuatro Puntos (ASTM C293), ambos ensayos permiten El ASTM C78 y el ASTM C293 son dos métodos estándar utilizados para medir la capacidad de resistir a la flexión del concreto, pero difieren principalmente en la manera en el punto donde se ejerce la carga y cómo se distribuyen las tensiones en la probeta; ambos ensayos tienen como objetivo determinar la habilidad del hormigón para resistir tensiones ante la tracción cuando se somete a flexión, pero el contraste en la aplicación de la presión influye en los valores adquiridos y en el comportamiento observado en la viga (ASTM, 2022; ASTM, 2016).

El ensayo, según la norma ASTM C78 emplea un método de carga en tres puntos. En este caso, la viga de hormigón se apoya en dos puntos situados en los extremos, mientras que la fuerza se emplea de manera concentrada en el eje de la viga, la cual genera un momento flector máximo en el punto central, lo que provoca tensiones de tracción en la parte inferior del espécimen rectangular y tensiones de compresión en la parte superior (ASTM, 2022). Por otro lado, el ASTM C293 utiliza un método de carga en cuatro puntos, donde la viga se apoya en dos puntos, pero la carga se distribuye entre dos puntos aplicados

equidistantemente del centro de la viga, a modo se simboliza en la figura 9. En este caso, las tensiones se distribuyen más uniformemente en el tramo central de la viga, generando una zona de flexión más amplia, lo que reduce la concentración de tensiones en un único punto (ASTM, 2016). A diferencia del ensayo en tres puntos, el método en cuatro puntos permite evaluar, de manera más uniforme el comportamiento del hormigón a lo largo de una mayor longitud de la probeta, siendo ideal para situaciones donde las cargas están más distribuidas o se quiere medir el comportamiento promedio del material (Gaitán, 2013).

Figura 9

Ejemplo de ensayo de resistencia a la flexión en tres y cuatro puntos



Nota. La figura muestra, en la parte izquierda, el esquema del equipo para ensayar a flexión una viga por tres puntos de apoyo, tomada de Controls Group (2024) mientras que en la parte derecha el mismo caso para el ensayo a cuatro puntos tomada de Eurolab Laboratory (2024).

Para este ensayo, se utilizan vigas prismáticas de dimensiones estándar, que permiten una evaluación precisa del comportamiento estructural del hormigón bajo cargas que tienden a doblarlo (Parilla, 2011). analizando la capacidad del hormigón armado, ya que el material, aunque muy resistente a la compresión, presenta una menor capacidad de soportar esfuerzos de tracción, lo cual es crítico en estructuras como vigas y losas, que experimentan estos esfuerzos de manera continua.

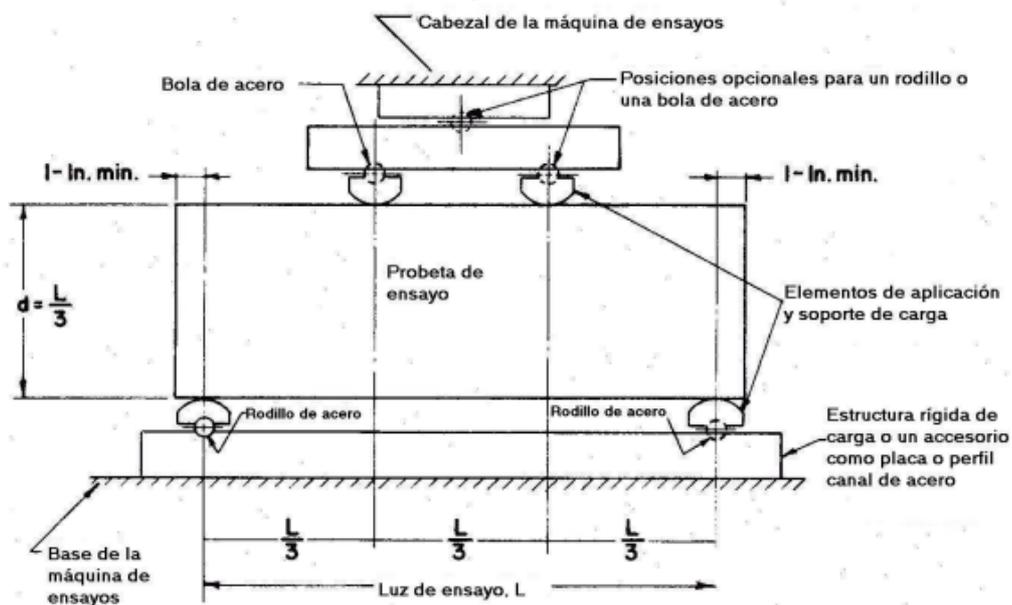
El primer paso en este ensayo es la preparación de las probetas, partir de hormigón que ha sido vaciado en moldes con las dimensiones adecuadas, asegurándose de que las superficies sean uniformes y lisas, tras el vaciado, las probetas se someten a un proceso de curado, generalmente durante un período de 28 días, donde se mantienen bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, adquiriendo el hormigón,

propiedades mecánicas óptimas, garantizando que, al momento del ensayo, la probeta sea representativa del comportamiento final del hormigón en una estructura real. Durante el curado, el hormigón desarrolla su resistencia y durabilidad, asegurando que el material esté en las condiciones adecuadas para ser sometido a cargas mecánicas.

Una vez curadas, las probetas se trasladan a la máquina de ensayos, donde se lleva a cabo la prueba de flexión (ver figura 10). El procedimiento del ensayo consiste en apoyar la viga en dos puntos, generalmente en los extremos, y luego someter una fuerza gradual en el centro de la probeta, lo que genera un esfuerzo de flexión; esta disposición induce una combinación de esfuerzos que refleja las condiciones que las vigas de hormigón enfrentan en estructuras reales como puentes y edificios (ASTM, 2022).

Figura 10

Esquema representativo del ensayo ASTM C78 para esfuerzos generados por flexión en vigas



Nota. El diagrama expresa los principales aspectos dimensionales del ensayo, y la distribución de espacios que debe existir en la probeta y la máquina de ensayos, tomada de (ASTM, 2022).

La carga se aplica de manera gradual mediante una prensa hidráulica o una máquina de ensayos universales, diseñada para aplicar fuerza de forma controlada y medir las respuestas del material. A medida que la carga aumenta, la viga comienza a deformarse, exhibiendo primero un comportamiento elástico donde las deformaciones

desaparecen si se retira la carga, sin embargo, al sobrepasar un cierto umbral, las deformaciones se vuelven plásticas, lo que significa que el material no puede volver a su forma original. Finalmente, la viga alcanza su límite de resistencia, momento en el cual se fractura, permitiendo registrar la carga máxima soportada.

A partir de esta carga máxima, se calcula la capacidad de resistir a la flexión; este valor se obtiene mediante una fórmula estándar que relaciona la carga aplicada, la distancia entre los puntos de apoyo y las dimensiones de la probeta. Este parámetro proporciona una medida cuantitativa de la capacidad del hormigón para resistir esfuerzos de flexión antes de fallar, siendo un indicador crítico de su calidad y aptitud para ser utilizado en estructuras sometidas a este tipo de esfuerzos. El comportamiento del hormigón durante el ensayo también puede ofrecer información adicional sobre su ductilidad. Un hormigón más frágil se romperá de manera brusca y repentina una vez alcanzada la carga máxima, mientras que un hormigón más dúctil mostrará una mayor deformación antes de la fractura, absorbiendo más energía. Esta capacidad de deformación es crucial en estructuras sometidas a cargas dinámicas o fluctuantes, como puentes o edificaciones en zonas sísmicas.

La evaluación del módulo de rotura permite conocer la capacidad del hormigón para resistir situaciones de flexión donde las tensiones de tracción son las que, generalmente provocan la falla (Reyes et al., 2024). Este ensayo es particularmente útil en la ingeniería estructural, ya que proporciona información valiosa para el diseño de vigas y otros elementos sometidos a esfuerzos de flexión, permitiendo determinar la cantidad y disposición de refuerzos necesarios, como las barras de acero que se utilizan en el hormigón armado para contrarrestar su debilidad a la tracción (Ramírez et al., 2024). Además, la información obtenida a partir del ensayo de flexión permite ajustar las proporciones de los componentes en la composición de concreto para optimizar su comportamiento, por lo que, diferentes variables, como el tipo de agregado, la relación agua-cemento y la inclusión de aditivos, influyen en la carga admisible final a la flexión del material.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación experimental es un enfoque metodológico que permite establecer relaciones de causa y efecto entre variables mediante la manipulación controlada de las condiciones del experimento, método que implica alterar una o más variables independientes para observar cómo influyen en las variables dependientes, lo que garantiza la obtención de datos precisos, objetivos y replicables (Guevara , Verdesoto, & Castro , 2020).

En el contexto de la investigación se emplea para analizar la resistencia del hormigón reforzado con fibras de caña brava; los experimentos se realizarán bajo estrictas normativas, como la ACI 544.4R y la ASTM, comparando las propiedades mecánicas del hormigón convencional con aquellas del hormigón modificado.

3.1.2 Nivel de investigación

El actual estudio se sustenta en tres niveles de investigación: experimental, descriptivo y exploratorio. El nivel experimental se enfoca en evaluar y comparar la resistencia a tensión de un hormigón con un diseño de hormigón de 35 kg/cm², incorporando fibras naturales de caña brava, siguiendo las directrices de la norma ACI 544.4R para materiales compuestos con fibras. El nivel descriptivo se centra en la caracterización de las características físicas y mecánicas del concreto, detallando los efectos de la incorporación de fibras de caña. Finalmente, el nivel exploratorio busca identificar nuevas aplicaciones y potenciales beneficios del uso de estas fibras en el hormigón, dado que la integración de materiales naturales en la construcción sigue siendo un área emergente de estudio.

3.2 MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Métodos

Los métodos empleados en esta investigación se fundamentan en los principios investigativos, el método experimental se fundamenta en la utilización del método científico en los ensayos técnicos de laboratorio, utilizando procesos inductivos, lógicos y deductivos (Arias J. , 2021). Esto permite verificar que los ensayos realizados cumplan con los parámetros asignados por la Normativa Técnica Ecuatoriana (NTE) y el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), lo que a su vez contribuye a la comprobación de

hipótesis y al logro de los objetivos del estudio. Por otro lado, el método descriptivo se enfoca en resaltar las características observadas durante los ensayos experimentales, proporcionando una descripción detallada del fenómeno bajo estudio. Los resultados se clasifican de acuerdo con las propiedades observadas, lo que facilita una valoración cercana a la realidad investigada. Finalmente, el método exploratorio se centró en examinar la aplicación de componentes de filamentos naturales, como las fibras de caña, dentro del hormigón. Esta exploración permitió identificar tanto resultados favorables como desfavorables, destacando aquellos hallazgos que contribuyen al desarrollo de investigaciones experimentales y abren nuevas perspectivas para futuras aplicaciones del material.

3.2.2 Enfoque

El enfoque de la investigación se refiere a la perspectiva general desde la cual se aborda el estudio, pudiendo ser cualitativo, cuantitativo o mixto (Sánchez , 2019). Un enfoque cuantitativo se centra en la medición objetiva y el análisis de datos numéricos. El enfoque de este estudio es cuantitativo.

3.2.3 Diseño de la Investigación

Se realiza el trabajo objeto de investigación son “Los parámetros que se establecen y los datos estadísticos usados para evaluar la información recolectada”

3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1 Población

La población se define como un grupo de casos delimitados, accesibles y que cumplen con ciertos criterios establecidos, sirviendo como referencia para seleccionar una muestra. Es fundamental identificar claramente la población de estudio, ya que los resultados obtenidos a partir de la muestra permitirán, en su mayoría, generalizar o extrapolar los hallazgos al resto del grupo o universo considerado.

A partir de la teoría expuesta anteriormente, se determina que la población objeto de este estudio está conformada por las probetas de hormigón producidas con diferentes proporciones de dosificación. Dichos cilindros y vigas fueron sometidos a ensayos después de periodos de curado de 3, 7, 14 y 28 días.

3.3.2. Muestra

En este proyecto experimental, se cataloga como muestra: hormigón patrón o convencional y hormigón con fibras de plátano. Ambos prospectos investigativos se

ensayaron a compresión y tracción, promediando los resultados en dos conjuntos de probetas identificados en las edades de 7, 14 y 28 días. Se detalla que los cilindros de hormigón constan de la siguiente geometría: altura 20 cm y diámetro 10 cm, para los estudios a la carga máxima por compresión y especímenes de vigas de 15 x 15 cm en la sección transversal y 55 cm de longitud.

3.3.3 Muestreo

Se entiende como un recurso fundamental que permite delimitar qué parte de la población objeto de estudio debe ser analizada con el propósito de realizar inferencias. En el contexto de la investigación, la elección de los elementos que integran las muestras se basa en criterios establecidos por los investigadores, asegurando que estas reflejen de manera adecuada las características de la población estudiada.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1. Hipótesis

La fibra de la caña brava mejorará la capacidad de resistencia a compresión y tracción del concreto endurecido.

3.4.2. Variable independiente

Se usa como agregado aditivo las fibras de plátano, residuos orgánicos que se adicionan a las series finas y gruesas usadas comúnmente. Esta variable independiente se desarrolla en la tabla 1.

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente

Manifestación	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas
Se define como un material compuesto utilizado en la construcción, que se compone de un adhesivo con el que se unen materiales alternativos a los regulares como la fibra de caña brava	Hormigón	Componentes	¿Cuáles son los componentes del hormigón?	Normas, Investigación científica y experimental aplicada en laboratorios
		Resistencia a la tracción y compresión	¿Qué especificaciones afectan la resistencia del hormigón?	Normas, Investigación científica y experimental aplicada en laboratorios
	Fibra de caña brava	Estado de las propiedades físicas, químicas y	¿En qué medida la fibra de caña brava beneficia la capacidad de soportar a	Normas, Investigación científica y experimental aplicada en laboratorios

	mecánicas de la fibra de caña	compresión y tracción del hormigón?	
	Naturaleza	¿Cuáles son los tipos de materia orgánica que componen a las fibras de caña brava?	Normas, Investigación científica y experimental aplicada en laboratorios

Nota: Esta tabla muestra la operacionalización de la variable independiente conforme a las sugerencias de la guía para la construcción de operacionalización de variables de Arias (2021)

3.4.3. Variable dependiente

Comparación de la capacidad de resistir a la tracción y compresión del hormigón patrón convencional versus hormigón con fibra de caña brava, tal como se desarrolla en la tabla 2.

Tabla 2

Operacionalización de la variable independiente

Manifestación	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas
Se denomina resistencia a la tracción a la capacidad que tiene un cuerpo al resistir el esfuerzo interno que se produce mediante la presión de dos cargas que funcionan en sentido contrario y por lo general lo estiran.	Módulo de tracción	de Cargas máximas	¿Cuál carga actúa sobre las muestras de hormigón ensayar?	Normativas: ASTM, INEN, investigación científica experimental
La compresión es una característica mecánica del concreto, obtenida mediante ensayos de compresión, caracterizada por el uso de una fuerza axial a una muestra de hormigón a una velocidad inferior a los parámetros especificados hasta que se produce el punto de rotura.	Módulo de rotura	de Cargas máximas	¿Cuál es la carga que actúa sobre las muestras de hormigón ensayar?	Normativas: ASTM, INEN, investigación científica experimental

Nota: Esta tabla muestra la operacionalización de la variable dependiente conforme a las sugerencias de la guía para la construcción de operacionalización de variables de Arias (2021)

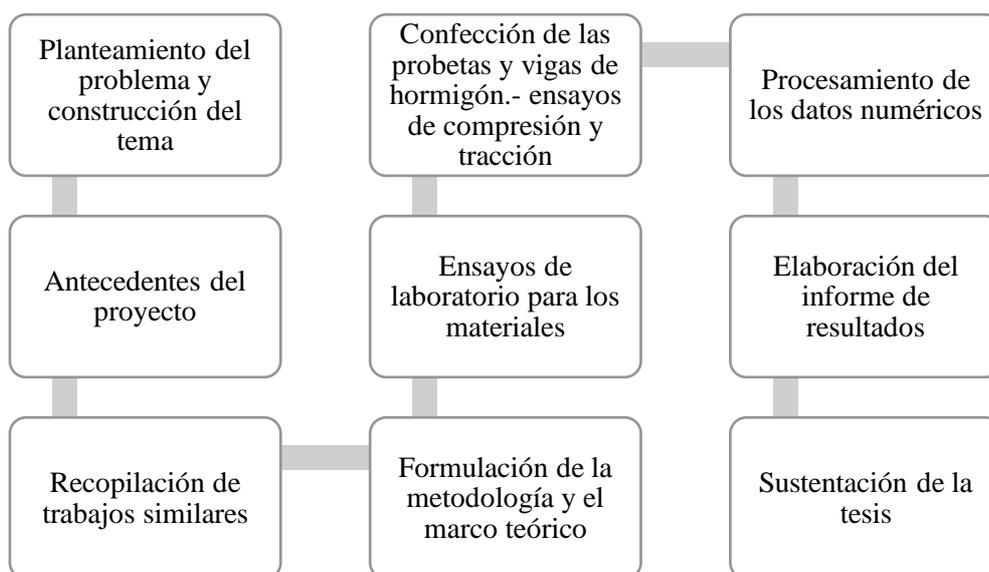
3.4.4. Procesamiento de la información

Todo tipo de proyecto comienza con cuestionamientos o interrogantes, estos pensamientos contribuyen a la generación de ideas, ideas que permitan llegar más allá de lo convencional. En esta investigación vinculada al campo de la experimentación, se decidió que mediante estudios de laboratorio probar la carga máxima que resiste los cilindros y vigas de hormigón; de esta forma, observar la resistencia máxima obtenida en las probetas de hormigón convencional y también en probetas con adición de la fibra de caña brava.

Este trabajo investigativo se focaliza en los ensayos de las probetas de hormigón, estos testigos de hormigón se ensayan a diferentes días de curado como: 7, 14, 28 días, donde se observa la evolución de la resistencia. Por consiguiente, se realiza una interpretación de contraste de los valores obtenidos de las distintas probetas ensayadas con el hormigón patrón y con la fibra de caña brava. Cabe destacar que, estos ensayos experimentales se basan en las normativas *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), ASTM e INEN. Se presenta el flujograma de la investigación, figura 11, donde se explica el proceso metodológico y la obtención de la información en este estudio experimental

Figura 11

Diagrama de flujo sobre el proceso del proyecto experimental



Nota: La figura anterior muestra secuencialmente las actividades realizadas para la elaboración de la tesis. Elaboración propia

El proceso de análisis y procesamiento de esta investigación se iniciaron con la elaboración de un cronograma detallado para la recopilación de información y la organización de actividades experimentales. Inicialmente, mediante una exploración exhaustiva de referencias de autores y juicios especializados, lo que permitió profundizar en conceptos técnicos específicos relacionados con investigaciones de laboratorio y fortalecer el marco teórico del estudio. Posteriormente, se realizó la incorporación de los elementos precisos para la confección de las probetas, los cuales incluyeron agregados finos y gruesos, cemento, agua y fibra de caña brava utilizada como material aditivo.

El siguiente paso consistió en la ejecución de ensayos experimentales en laboratorio, donde se determinaron parámetros clave como la dimensión de las series granulométricas, el módulo de finura, la densidad, el contenido de humedad y la absorbencia. Las muestras fueron preparadas y sometidas a pruebas dentro de una máquina o prensa que arroja valores a la tracción y compresión en tres períodos de fraguado diferentes: a los 7, 14 y 28 días. Seguidamente, se procedió con el análisis de los valores adquiridos, presentándolos mediante ilustraciones y cuadros interpretativos y comparativos para proporcionar su comprensión. En la fase final, se efectuó una asimilación de los valores obtenidos, considerando también los datos recabados a través de encuestas. Este análisis permitió verificar tanto los objetivos planteados como la hipótesis del estudio, finalmente, se derivó a la escritura de las conclusiones y recomendaciones, proporcionando un resumen de los hallazgos y sugerencias para futuras investigaciones.

3.5. UBICACIÓN DE LA ZONA DE MATERIALES

3.5.1. Zona de extracción de materiales agregados

Las series finas y gruesas que se utilizaron en este proyecto provienen de la cantera Calizas Huayco, localizada en Guayaquil, la ubicación se muestra en la figura 12.

Figura 12

Localización de la cantera Calizas Huayco



Nota: La figura muestra la ubicación exacta en coordenadas UTM de la cantera Calizas Huayco, zona de la que se extrajo el material agregado fino y grueso para la elaboración de las probetas. Elaboración propia a partir de la información en Google Earth (2024).

3.5.2. Ubicación de la zona de extracción de la fibra de caña brava

Las fibras de caña bravas fueron extraídas de las plantaciones localizadas en el sector Olón, de la provincia Santa Elena, ver figura 13. En esta zona se desarrolló el proceso de extracción de las fibras de los tallos y secado para su utilización como componente aditivo en la mezcla de hormigón.

Figura 13

Localización de la zona de extracción de fibras de caña brava



Nota: La figura muestra la ubicación exacta en coordenadas UTM del sitio La Noble Guadua, zona de la que se extrajo el material fibra de caña brava para la elaboración de las probetas. Elaboración propia a partir de la información en Google Earth (2024).

3.6. ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS

Los requisitos de granulometría y calidad para los áridos finos y gruesos utilizados como componentes de la mezcla de hormigón son los descritos en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) NTE INEN 872:2011 del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

Dentro de estos ensayos se incluyen la valoración de las series finas y gruesas, descritas de la siguiente forma: las muestras de finos, arena; y los materiales gruesos en el triturado pasante del tamiz $\frac{3}{4}$ pulgadas.

3.6.1. Ensayo de Peso unitario suelto y compactado

El peso unitario se define como el peso por unidad de volumen de un material a granel, considerando las condiciones de compactación y humedad al momento de realizar el ensayo, y se expresa en kg/m^3 . No obstante, el ensayo puede aplicarse tanto al agregado fino como al grueso, en la práctica, el parámetro utilizado para la dosificación de concretos es el peso unitario compactado del agregado grueso. La evaluación de los áridos finos y gruesos en situaciones de humedad y compactación determina las unidades de volúmenes que conforman los materiales constituyentes del hormigón. Estos valores se emplean al momento de realizar la dosificación de la mezcla.

El PUS de un material se refiere a la relación entre el peso promedio en estado suelto y el volumen que ocupa, para establecerlo se coloca el material seco, de forma cuidadosa, en un recipiente hasta que sobresalga y luego, se nivela al ras con una herramienta plana; este concepto es relevante para el manejo, transporte y almacenamiento de los agregados, ya que se gestionan en estado suelto. Se empleará de manera constante para convertir entre peso y volumen.

$$\text{PUS} = \frac{\text{Peso Suelto Promedio}}{\text{Volumen}}$$

El PUC se refiere a la condición en la que los granos han sido compactados, lo que incrementa el nivel de acomodamiento de las partículas del agregado y, por ende, el valor de la masa unitaria; el PUC es relevante desde la perspectiva del diseño, ya que permite conocer el volumen absoluto de los agregados que experimentarán compactación durante la colocación del concreto, este valor es útil para estimar los volúmenes de materiales apilados que pueden asentarse o ajustarse debido al tránsito sobre ellos o al paso del tiempo; igualmente, el peso unitario compactado es fundamental para calcular con precisión los valores totales de los materiales.

Se denomina PUC a la correlación de la masa compactada, promedio de un material respecto al volumen ocupado, es decir, cuando las partículas han sufrido una compactación que aumenta la residencia de las partículas agregadas y por tanto, el valor de la unidad de masa. El PUC es relevante desde la perspectiva del diseño, dada la masa absoluta del agregado debido a que se compacta durante el hormigonado. Este valor permite conocer la masa del material apilado que sufre ajuste o alineación debido a éste, a su movimiento o a los efectos del tiempo. Además, el valor del peso unitario de la compresión es útil para calcular los valores del cien por cien de los materiales.

$$PUC = \frac{\text{Peso Compactado Promedio}}{\text{Volumen}}$$

3.6.2. Densidad, Densidad relativa y Absorción de Agregados

Para la determinación de estos parámetros se utilizará la normativa INEN 0856 y 0857, específica que describe principalmente que se utiliza para determinar la densidad promedio en una muestra de agregado fino o grueso, así como la densidad relativa (gravedad específica) y la capacidad de absorción del agregado. Según, el método empleado, la densidad se expresa como: seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o como densidad aparente.

3.6.3. Dosificación del hormigón

Para estimar la dosificación del hormigón es imperante tener valores de ensayos realizados, previamente; una vez procesados los datos de las experimentaciones de los asentamientos requeridos, densidad real de las series finas y gruesas, pesos unitarios sueltos, pesos unitarios compactados, granulometrías, porcentajes de absorción; se escoge la resistencia requerida, que en este caso será 350 kg/cm^2 , dosificamos el hormigón al volumen para cantidades en m^3 o para un saco de cemento

- a) Resistencia a la compresión. – Por el consecutivo enunciado matemático se explica el diseño de la resistencia promedio, que se encuentra basada a la capacidad de resistir como característica a compresión del concreto.

$$f_{cm} = f_{ck} + 1,34 S_n$$

f_{cm} : resistencia característica base de diseño

f_{ck} : resistencia característica especificada

S_n : coeficiente de desviación de resistencia

La resistencia escogida es de 35 MPa o 350 kg/cm², en la tabla 3, podemos apreciar los datos para el número de Sn con distintas categorías de control, en este caso, es muy bueno, debido a la rigurosidad del trabajo de laboratorio donde las incertidumbres son mucho menores que encontrarse dentro de una obra civil en construcción.

Tabla 3

Valoraciones de acorde al tipo de operación para el diseño de hormigón

Tipos de operación	Valor de Sn (MPa) con diferentes grados de control				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Deficiente
Control de campo (a pie de obra o planta)	Menor que 2,81	2,82 a 3,52	3,53 a 4,22	4,23 a 4,92	Mayor que 4,92
Mezcla de pruebas en laboratorio	Menor que 1,41	1,42 a 1,76	1,77 a 2,11	2,12 a 2,46	Mayor que 2,46

Nota: La tabla anterior muestra las valoraciones del tipo de operación para el control de obra en base a la información dispuesta por la norma ecuatoriana de la construcción NEC 2015

- b) Asentamiento de la mezcla. - Este parámetro se fundamenta en la tipología de edificación que se construirá, por tal motivo, para esta investigación se usarán las consideraciones de cajones de la siguiente tabla 4

Tabla 4

Asentamientos del hormigón a partir del tipo de estructuras

Tipos de estructuras	Asentamiento, mm	
	Máximo	Mínimo
Cimientos reforzados aislados y corridos	75	25
Balsas, cajones y muros de infraestructuras	75	25
Vigas y muros reforzados	100	25
Columnas de edificaciones	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Hormigón masivo	75	25

Nota: La tabla anterior muestra los valores de asentamientos de acuerdo a los tipos de estructuras en base a la información dispuesta por la norma ecuatoriana de la construcción NEC 2015

- c) Tamaño máximo del árido. - El ensayo de granulometría muestra el tamaño máximo de las partículas tanto para los agregados gruesos y finos.
- d) Cantidad de agua mezclada y contenido de aire de la mezcla. - La normativa *American Concrete Institute (ACI) 211.1* detalla valores que se usan para el contenido de agua, donde en la consiguiente tabla 5, se aprecia la estimación del agua mezclada.

Tabla 5

Valores para la estimación del agua mezclada

Asentamiento por el cono en mm	Agua en kg/m ³ para el tamaño máximo de árido (mm)							
	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aproximada de aire atrapado en un hormigón sin aire incorporado (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Nota: La tabla anterior muestra los valores de estimación de la cantidad de agua en correspondencia al asentamiento en base a la información dispuesta por la norma ecuatoriana de la construcción NEC 2015

- e) Relación agua – cemento. - Este parámetro considera dos aspectos importantes para las resistencias a los 28 días el hormigón con aire y sin aire, los valores para las diferentes edades se aprecian en la tabla 6.

Tabla 6

Valores de la relación agua/cemento

Resistencia a compresión a 28 días	Relación Agua/Cemento	
	Hormigón sin aire	Hormigón con aire
40	0,42	-

35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Nota: La tabla anterior muestra la relación agua/cemento con la resistencia a la compresión en base a la información dispuesta por la norma ecuatoriana de la construcción NEC 2015

- f) Contenido agua – cemento. - Mediante la siguiente fórmula se obtiene el valor del contenido de cemento.

$$C = \frac{A}{a/c}$$

- g) Proporciones de los áridos gruesos y finos. – Cada elemento que pertenece a la composición del concreto posee características que lo hacen más pastoso o líquido, para lograr un diseño idóneo, se usan porcentajes de acorde a las especificaciones obtenidos en los ensayos anteriores, en especial cuando se escoge porcentajes de complemento de los filamentos de caña brava.
- h) Cálculo de materiales para 1 m³ de hormigón. - Se consideran dos aspectos importantes: dosificación con ajuste de humedad y sin ajuste de humedad.

Los ensayos de flexión en probetas curadas por vía húmeda deben llevarse a cabo tan pronto como sea posible después de retirarlas del sitio de curado, porque el escurrido del área de la probeta puede disminuir su resistencia a la flexión; si se utilizan testigos confeccionados, es necesario girarlas sobre uno de sus costados con respecto a la posición original de moldeo y asegurarse de que queden centradas en los elementos de apoyo. Para las probetas que han sido aserradas, deben colocarse, mediante una forma que la parte traccionada pertenezca a la parte superior o inferior según cómo se haya extraído del elemento de origen. El método de aplicación de fuerza debe estar alineado con la dirección de la carga indicada. Los componentes que aplican la fuerza deben juntarse al testigo en los puntos correspondientes a los tercios de su longitud, y se debe aplicar una carga inicial que esté entre el 3% y el 6% de la carga última estimada.

Para verificar los vacíos entre el cilindro y los materiales de carga o soporte, se deben utilizar planchas graduadas de 0.004 pulgadas (0.10 mm) y 0.015 pulgadas (0.38

mm), midiendo cualquier espacio mayor o menor que las planchas en una distancia de 1 pulgada (25 mm) o más. Si los espacios superan las 0.004 pulgadas (0.10 mm) en anchura, se deben cepillar, refrentar o utilizar suplementos de cuero en toda la superficie de contacto de la probeta; los suplementos de cuero conviene poseer un grosor uniforme de 1/4 pulgada (6.4 mm), un ancho entre 1 y 2 pulgadas (25 a 50 mm), y deben cubrir completamente el ancho de la superficie del cilindro, sí los vacíos superan las 0.015 pulgadas (0.38 mm), incumben corregirse únicamente mediante refrentado o cepillado. No se debe cepillar en exceso las superficies laterales, por lo que el cepillado podría alterar las tipologías mecánicas del cilindro. El refrentado tiene que cumplir con las asignaciones encontradas en la norma ASTM C617.

La fuerza tiene que emplearse de forma perenne y sin interrupciones, a una rapidez sin variaciones hasta la rotura del testigo. La velocidad de carga debe incrementarse de manera que las fibras externas de la probeta se sometan a tensiones que aumenten de 125 a 175 psi/min (0.86 a 1.21 MPa/min) hasta que se efectúe la rotura. Esta rapidez de fuerza se calcula mediante la fórmula:

$$R = \frac{Sbd^2}{L}$$

donde:

R es la rapidez de carga en lb/min o MN/min,

S es la rapidez de aumento de esfuerzo en los filamentos externos en psi/min o MPa/min,

b es el ancho promedio de la probeta en pulgadas o milímetros,

d es la altura promedio en pulgadas o milímetros, y

L es el largo de la luz en pulgadas o milímetros.

Tras realizar el ensayo para medir las dimensiones de la sección transversal de la probeta y calcular el módulo de ruptura, es necesario tomar medidas en una de las caras fracturadas. Se deben realizar tres mediciones en cada dirección (en los bordes y en el centro de la sección transversal) para obtener un promedio del ancho y la profundidad, redondeando las medidas al 0.05 pulgadas (1 mm) más cercano. Si la fractura se produce en una zona refrendada, el espesor del refrendado debe considerarse en los cálculos.

Si la grieta comienza en el área de tracción dentro del tercio central de la longitud de la luz, el módulo de rotura se calcula con la fórmula

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

donde

R es el módulo de ruptura en psi o MPa,
P es la carga máxima aplicada en lbf o N,
L es el largo de la luz en pulgadas o milímetros,
b es el ancho promedio de la probeta en la fractura, y
d es la altura promedio en la fractura, en pulgadas o milímetros.

Si la fractura ocurre en la superficie de tracción fuera del tercio medio del largo de la luz, pero dentro de un margen no mayor al 5% del largo total de la luz, se debe utilizar la fórmula

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Donde

a es la distancia promedio desde la línea de fractura hasta el apoyo más cercano, medida en la superficie de tracción de la viga, ya sea en pulgadas o milímetros.

Si la fractura se produce fuera del tercio medio de la luz en más del 5% de su longitud, los resultados del ensayo deben descartarse.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Esta sección contiene el detalle de los estudios elaborados a los agregados o componentes de la mezcla de concreto, en primera instancia para caracterizarlos. Comprenden los ensayos granulométricos, PUS y PUC, densidad relativa, tanto para la serie de agregados finos, incluida la combinación de estos, como para el agregado grueso. Se incluye la caracterización del cemento, del aditivo hiperplastificante y de la fibra de caña brava. Una vez se definieron las características mecánicas, resultado de los ensayos a las series finas y gruesas, se realizó el rompimiento de las probetas de hormigón para comprobar la resistencia a la compresión y a la tracción con variaciones de adición de fibra de caña brava en porcentajes de 4 % y 8 %.

4.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

4.1.1. Ensayo de granulometría de agregado fino

Bajo las directrices que dispone la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 696:2011 se realizó las pruebas de distribución de tamaños de partículas para las series de agregados finos: arena fina. Valores que se representan en la tabla 7

Tabla 7

Ensayo de granulometría serie fina, arena fina

Tamiz N°.	Abertura	Masa retenida		Porcentajes acumulados		
		Parcial (g)	Acumulada (g)	Retenido	Pasante	Pasante corregida
50 mm	2 "					
38,1 mm	1½ "					
25 mm	1 "					
19 mm	¾ "					
12,5 mm	½ "					
9,5 mm	3/8 "	0	0	0	100	-

4,75 mm	No. 4	0	0	0	100	-
PASA No. 4		0				
2,36 mm	No. 8	11.90	11.90	1.19	98.81	-
1,18 mm	No. 16	9.70	21.60	2.16	97.84	-
0,6 mm	No. 30	34.10	55.70	5.57	94.43	-
0,3 mm	No. 50	247.30	303.00	30.30	69.70	-
0,15 mm	No. 100	504.00	807.00	80.70	19.30	-
0,075 mm	No. 200	100.50	907.50	90.75	9.25	-
FONDO		92.50	100.00			

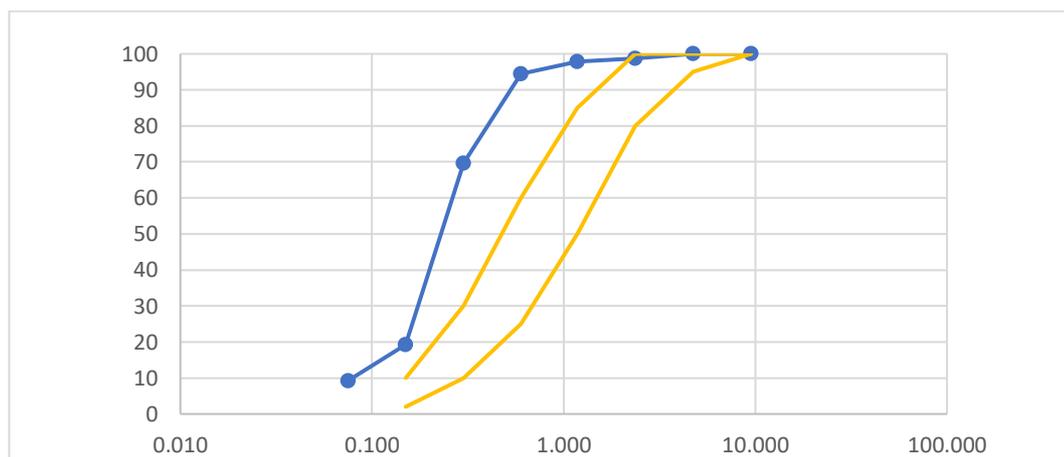
Nota: Esta tabla muestra la distribución granulométrica del agregado fino: arena, proveniente de la cantera Calizas Huayco de Guayaquil. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

Se obtuvo un módulo de finura de 1.20 para serie fina, este valor sugiere que el material, de acuerdo a la especificación INEN 872 no se encuentra dentro del rango admisible.

Lo mencionado, anteriormente se justifica en la figura 14, que evidencia el comportamiento de la granulometría dentro de la serie.

Figura 14

Faja granulométrica serie fina, arena fina



Nota: Esta figura muestra el comportamiento de la faja granulométrica del agregado fino: arena, proveniente de la cantera Calizas Huayco de Guayaquil. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

Se destaca dentro de las gráficas presentada, los valores de graduación para la arena fina se encuentran bastante desfasados respecto a los límites inferior y superior, demostrando que en la mina este agregado no cumple con los

requerimientos especificados, sin embargo, por razones experimentales, se determinara si es posible alcanzar la resistencia de diseño. Por otro lado, la figura 15 muestra parte de la ejecución de estos ensayos de medición de partículas.

Figura 15

Ensayo de granulometría a) Toma de pesos b) colocación de muestra en tamices



(a)

(b)

Nota: Esta figura muestra parte de los ensayos realizados para la determinación de la faja granulométrica del agregado fino: arena, proveniente de la cantera Calizas Huayco de Guayaquil. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

4.1.2. Ensayo de PUS y PUC del árido fino

Los pesos unitarios suelto (PUS) y compactado (PUC) fueron calculados para el agregado fino conforme a la especificación NTE INEN 858:2010 los cuales se detallan en las tablas 8-9. A continuación, observamos los ensayos de PUS y PUC de la arena fina en las tablas 8-9, destacando que el resultado obtenido de este ensayo del árido fino se encuentra en la fila final de las tablas presentadas.

Tabla 8

PUS del agregado fino

N° de muestra-	1	2	3
Peso del molde + material (g)	8909	8898	8840
Peso del molde (g)		6468	
Volumen del molde (cm ³)		2077	
Masa unitaria suelta (g/cm ³)	1175	1170	1142

PUS				1162
------------	--	--	--	------

Nota: Esta tabla muestra el cálculo del peso unitario suelto del agregado fino: arena, proveniente de la cantera Calizas Huayco de Guayaquil. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

Tabla 9

PUC del agregado fino

N° de muestra-	1	2	3	
Peso del molde + material (g)	9304	9367	9364	
Peso del molde (g)	6468			
Volumen del molde (cm³)	2077			
Masa unitaria varillada (g/cm³)	1365	1396	1394	
PUC				1385

Nota: Esta tabla muestra el cálculo del peso unitario compactado del agregado fino: arena, proveniente de la cantera Calizas Huayco de Guayaquil. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

Después de realizar los ensayos para la determinación del peso unitario suelto y compactado del agregado fino arena, se calculó que el aumento una vez que fue varillado en el ensayo es de aproximadamente 19.19%

4.1.3. Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino

Mediante el siguiente estudio se puede determinar los porcentajes de absorción de la serie fina, esto significa los volúmenes de agua requeridos para la dosificación planteada para un hormigón de 350 kg/cm², por consiguiente, en las tablas 10, se observan los resultados.

Tabla 10

Gravedad específica del agregado fino

Parámetro (Norma INEN 0857)	Símbolo	Valor
Masa muestra saturada con superficie seca	D	500
Masa del picnómetro + muestra + agua	C	998.20
Masa del picnómetro + agua a la temperatura	B	698.90

Masa muestra seca	A	475.20
Gravedad específica de volumen	Sd	2.37
Gravedad específica de volumen SSS	Ss	2.49
Gravedad específica aparente	Sa	2.70
Absorción	A%	5.22

Nota: Esta tabla muestra el cálculo la gravedad específica y absorción del agregado fino: arena, proveniente de la cantera Calizas Huayco de Guayaquil. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

Un valor de absorción de 5.22% muestra que la serie fina tiene una cantidad considerable de poros, lo cual puede influir en el diseño de mezclas de concreto, por lo cual, el agua absorbida en los orificios del agregado no dispondrá disponibilidad para la hidratación del cemento.

4.1.4. Ensayo de granulometría de agregado grueso

Bajo las directrices que dispone la Norma INEN 872 se realizó el ensayo de clasificación de partículas para las series de agregados grueso: ripio. Valores que se representan en la tabla 11.

Tabla 11

Ensayo de granulometría serie gruesa, ripio

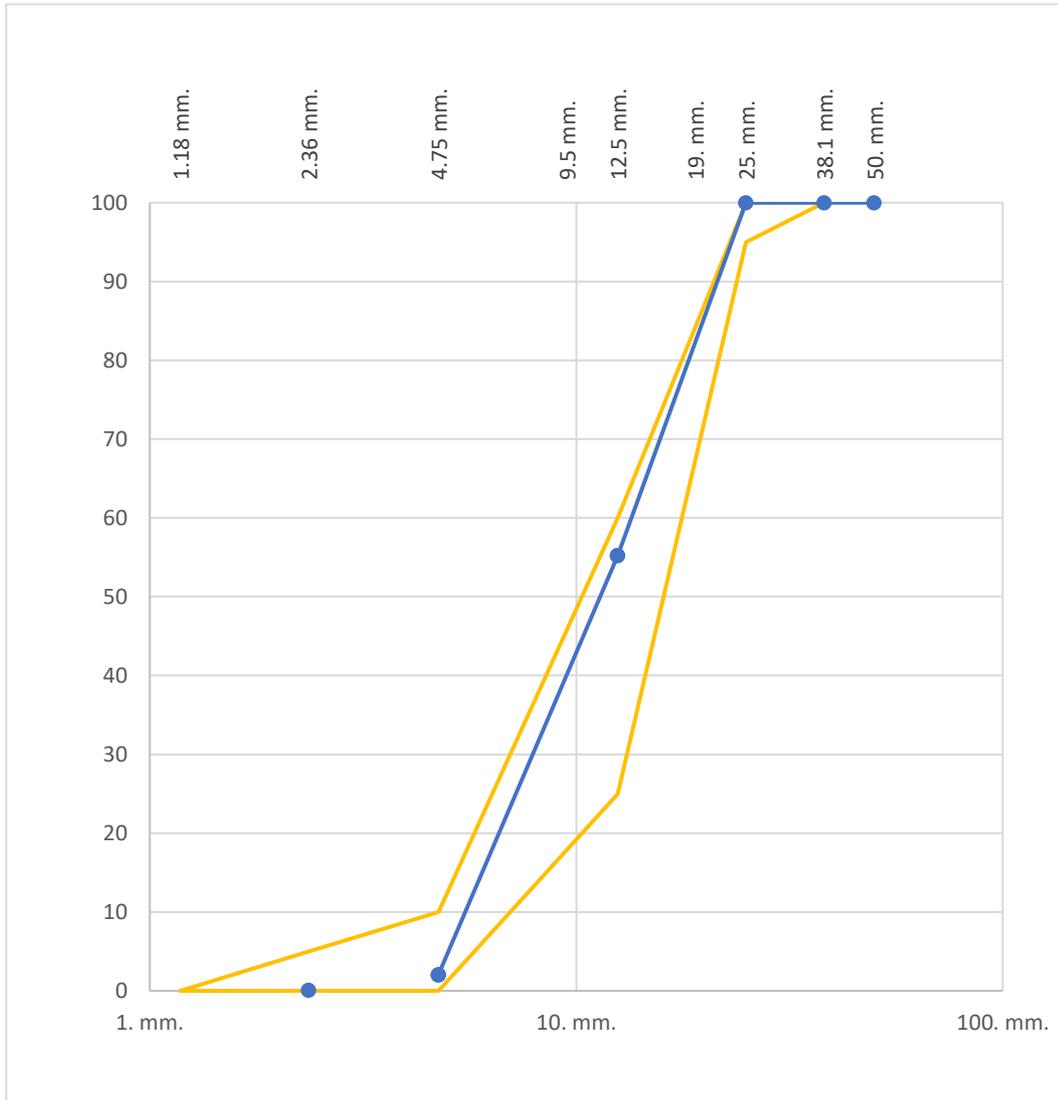
Tamiz N°.	Abertura	Masa retenida		Porcentajes acumulados	
		Parcial (g)	Acumulada (g)	% Retenido	Pasante
50 mm	2 "	0	0	0	100
38,1 mm	1½ "	0	0	0	100
25 mm	1 "	0	0	0	100
19 mm	¾ "	0	0	0	100
12,5 mm	½ "	2095	2095	44.77	55.23
9,5 mm	3/8 "	1067	3162	67.58	32.42
4,75 mm	No. 4	1289	4451	95.13	2.03
Pasa No. 4		228	4679		
2,36 mm	No. 8	114	114	2.44	2.44

Nota: Esta tabla muestra el cálculo de la granulometría del agregado grueso: ripio, proveniente de la cantera Calizas Huayco de Guayaquil. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

Lo mostrado, anteriormente se expresa en las figuras 16-17, que evidencia el comportamiento de la granulometría dentro de la serie.

Figura 16

Faja granulométrica serie gruesa, ripio



Nota: Esta figura muestra la distribución en la faja de la granulometría del agregado grueso: ripio, proveniente de la cantera Calizas Huayco de Guayaquil. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

En el caso del agregado grueso, a diferencia del agregado fino, si muestra un buen ajuste de la granulometría respecto a los límites mínimos y máximos que la normativa INEN 872 expresa para este tipo de agregados.

Figura 17

Ensayo de granulometría a) Toma de pesos b) colocación de muestra en tamices



a)



b)

Nota: Esta tabla muestra parte del ensayo de granulometría del agregado grueso: ripio, proveniente de la cantera Calizas Huayco de Guayaquil. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

4.1.5. Ensayo de PUS y PUC del árido grueso

Se obtuvieron los valores correspondientes a los pesos unitarios suelto y compactado del agregado grueso tal como se describe en las tablas 12 y 13.

Tabla 12

PUS del agregado grueso

N° de muestra-	1	2	3
Peso del molde + material (g)	9962	9960	9963
Peso del molde (g)		3459	
Volumen del molde (cm³)		5064	
Masa unitaria suelta (g/cm³)	1284	1284	1284
PUS			1284

Nota: Esta tabla muestra el cálculo del peso unitario suelto del agregado grueso: ripio, proveniente de la cantera Calizas Huayco de Guayaquil. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

Tabla 13*PUC del agregado grueso*

N° de muestra-	1	2	3
Peso del molde + material (g)	10612	10610	10611
Peso del molde (g)		3459	
Volumen del molde (cm³)		5064	
Masa unitaria varillada (g/cm³)	1413	1412	1412
PUC			1412

Nota: Esta tabla muestra el cálculo del peso unitario compactado del agregado grueso: ripio, proveniente de la cantera Calizas Huayco de Guayaquil. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

Se observa una uniformidad en las mediciones. Los valores obtenidos para ambos, PUS y PUC, son consistentes en los tres ensayos realizados, lo cual sugiere que el procedimiento de prueba y compactación se llevó a cabo de manera uniforme y controlada, el porcentaje de diferencia entre el PUS y el PUC es aproximadamente 9.97%, esto significa que el PUC es casi un 10% superior que el PUS, reflejando la mayor densidad obtenida al compactar el material.

4.1.6. Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso

En similitud a la serie fina, mediante el siguiente estudio se puede determinar los porcentajes de absorción de la serie gruesa, esto significa la proporción de agua que se requiere para la dosificación planteada para un hormigón de 350 kg/cm², por consiguiente, en las tablas 14, se observan los resultados.

Tabla 14*Gravedad específica del agregado grueso*

Parámetro (Norma INEN 0857)	Símbolo	Valor
Masa muestra saturada con superficie seca	D	5000
Masa en agua del agregado saturado	C	3067.40
Masa muestra seca	A	4833.80
Gravedad específica de volumen	Sd	2.50

Gravedad específica de volumen SSS	Ss	2.59
Gravedad específica aparente	Sa	2.74
Absorción	A%	3.44

Nota: Esta tabla muestra el cálculo la gravedad específica y absorción del agregado fino: arena, proveniente de la cantera Calizas Huayco de Guayaquil. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

Un valor de absorción de 3.44% indica que el agregado puede requerir ajustes en la cantidad de agua añadida a la mezcla para prevenir que absorba en exceso y afecte la consistencia y resistencia del concreto.

4.1.7. Caracterización del cemento

Material considerado como adhesivo, de los mayormente utilizados y económicos en la industria de las edificaciones de ingeniería civil, ya que sus atributos mecánicos, químicos y físicos benefician constantemente este sector. Para el presente trabajo, se eligió el pegamento Holcim Fuerte tipo GU, el cual es adecuado para construcciones de hormigón convencionales y cumple con las normativas técnicas de calidad establecidas en el país, ver tabla 15.

Tabla 15

Ficha técnica del cemento Holcim

Información técnica			
Fraguado		Resistencia a la compresión	Valor
Inicial (min)	Final (min)	1 día (MPa)	5.5
45	420	3 días (MPa)	14
Contenido de aire (%V)	3	7 días (MPa)	24
		28 días (MPa)	35
Tipo GU		Especificaciones	
Para construcción en general		Resistencias requeridas a la compresión de acorde a su edad	
Composición química		Tiempos de fraguado adecuados para la construcción en general.	
NTE INEN 2380 no especifica		Reduce la tendencia a la fisuración y el calor de hidratación	
		Contrarresta la reacción álcali-agregado	

Presentación	Saco de 50 kg	Impide el acceso a agentes agresivos por su mayor compacidad
---------------------	---------------	--

Nota: Esta tabla muestra los parámetros principales de resistencias características para el cemento Holcim. Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2024)

4.1.8. Caracterización del aditivo

Aumentar la manejabilidad del hormigón es la función de los aditivos hiperplastificantes, optimizando el uso del agua y controlando las cantidades volúmenes que se adicionen. Para la presente investigación se utilizará el aditivo Milenium®, donde su información técnica se presenta en la tabla 16.

Tabla 16

Ficha técnica del aditivo hiperplastificante Milenium

Descripción	Aditivo líquido de alto rendimiento, hiperplastificante y reductor de agua, elaborado a base de policarboxilatos modificados y aditivos especiales, diseñado para cumplir y exceder los requisitos establecidos por la norma ASTM C-494 para los tipos A y F.
Datos técnicos	Presenta una densidad de 1.076 ± 0.01 g/cm ³ y un pH que oscila entre 7 y 8. Se trata de un líquido viscoso de color miel, sin contenido de cloruros.
Usos	Reducción significativa de agua en la mezcla (5% - 40%) Fraguado normal, alta plasticidad y desarrollo rápido de resistencias. Compatibilidad con los cementos Portland que cumplen con las especificaciones ASTM, ASSHTO, o JCRD. No favorece la corrosión del acero de refuerzo en el concreto ni afecta negativamente el concreto reforzado o el vertido en sistemas de losas y techos de acero galvanizado. Su uso genera alta manejabilidad, excelente trabajabilidad, facilita el bombeo y disminuye la necesidad de vibrado, optimiza el rendimiento del cemento y extiende el tiempo de trabajabilidad de la mezcla.
Beneficios	Este aditivo permite que hormigones con asentamientos iniciales de 1.5 cm alcancen los 22 cm, manteniendo dicha consistencia por más de una hora y media sin provocar segregación. A los 28 días, las resistencias alcanzadas superan en un 140% las normales. La reducción de agua en la mezcla supera el 40%, logrando ahorros significativos en el uso de cemento. Resultan hormigones de alta fluidez y resistencia en todas las etapas de fraguado, sin producir exudación. Las resistencias iniciales y finales también mejoran, con incrementos de hasta un 200% a los 90 días, además de obtener un módulo de elasticidad superior.
Presentación	Presentación en envase plástico de 19 kg, envase metálico de 220 kg y a granel en formato de 1100 kg.

Nota: Esta tabla muestra los parámetros principales de características para el aditivo Milenium de ADITEC Ecuador. Fuente: (Construex Ecuador, 2024)

4.1.9. Caracterización del agua

Las proporciones de agua que se usan para las mezclas de hormigón varían de acuerdo a su uso como, agua para mezcla o curado de probetas de hormigón; sin

embargo, los volúmenes que se usen tienen que estar libre de impurezas o sustancias inoportunas para lograr una excelente mezcla. De tal forma, el agua para el concreto no solo se controla por las cantidades perjudiciales de metales o materias orgánicas, sino, en los volúmenes de adiciones que permitan al hormigón desempeñarse a resistencias óptimas y a condiciones convencionales de durabilidad; es decir, a altos contenidos de agua al concreto, se pueden producir resistencias bajas, que, por el contrario, relaciones de agua/cemento bajas pueden decantar en resistencias altas.

4.1.10. Caracterización de la fibra de caña brava

Una caracterización en la que establece valores de elongación y carga tanto para la compresión como para la tensión de las fibras de caña brava se muestra en la tabla 17

Tabla 17

Ficha técnica de la fibra de caña brava

Propiedades Mecánicas	
Módulo de Elasticidad	20-30 GPa
Resistencia a la Compresión	50-100 MPa
Elongación a la Ruptura	2-4%
Resistencia a la Tracción	300-600 MPa
Propiedades Físicas	
Densidad	1.3-1.6 g/cm ³
Humedad	10-15%
Longitud de la Fibra	1-3 metros
Longitud de fibra para testigos	Pasante Tamiz No. 4 a Retenido Tamiz 200

Nota: Esta tabla muestra los parámetros principales propiedades mecánicas y físicas de la fibra de caña brava. Fuente: (Monsalve y otros, 2018)

4.1.11. Dosificación del hormigón

Una vez caracterizados todos los componentes de la mezcla de hormigón, se procedió a diseñar los testigos para llegar a un diseño de hormigón de 350 kg/cm², utilizando los materiales descritos en secciones anteriores.

Los cilindros se distribuyeron de la siguiente manera: para las pruebas de rotura de hormigón a la compresión, se romperán probetas sin adición de fibra de caña brava, así como con adiciones del 4 % y 8 %. Se prepararon seis especímenes para cada porcentaje, y las pruebas se realizarán a los 7, 14 y 28 días de curado, lo que resulta en un total de dieciocho probetas destinadas a determinar su soporte a la compresión.

Para los ensayos de tracción, se emplearon las mismas proporciones de adición de fibra de caña brava y el mismo intervalo de tiempo. Sin embargo, en este caso, solo se realizó la prueba en cuatro vigas en lugar de seis testigos, lo que da como resultado doce probetas para este tipo de ensayo.

En total, se generaron treinta probetas para ambos ensayos, organizadas según la distribución detallada en las tablas 18 y 19 que incluyen la proporción de las series finas y gruesas para la cantidad de adición de fibra de caña brava.

Tabla 18

Proporción de los agregados para lo dosificación de hormigón

Volumen de	por m³	por cilindro	peso g
Cemento	0,473	0,00038	456,56
Agua	0,193	0,00015	155,23
Fino	0,48	0,00038	448,84
Grueso	0,782	0,00062	807,38
Aire confinado	0,025	2,0107E-05	80,43
	1,953	0,00157	

Nota: Esta tabla muestra los valores de volumen por metro cubico para cada material componente de la mezcla de hormigón. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

Tabla 19

Proporción de adición de fibra de caña brava para lo dosificación de hormigón

	Peso en gramos	
	4%	8%
Fibra	17,95	35,90
Cemento	456,56	456,56
Cemento + fibra	474,51	492,46

Nota: Esta tabla muestra los valores de peso de reemplazo con fibra de caña brava para la mezcla de hormigón. Fuente: GEOTECMANABI S.A.S. (2024)

4.1.12. Ensayos de resistencia a las probetas de hormigón

Una vez que fueron rotulados los cilindros, se colocaron sumergidos en su totalidad durante 7, 14 y 28 días y conforme a este tiempo se ensayaron en la prensa que determina la carga máxima axial del testigo. Figura 18.

Figura 18

Probetas de hormigón a) etiquetado b) colocación de probetas a ensayar



a)

b)

Nota: Las figuras anteriores muestran parte del procedimiento de ensayo de rotura de los especímenes de hormigón para compresión y tracción. Fuente: GETOECMANABI S.A.S. (2024)

4.1.13. Ensayo de compresión

La primera característica y probablemente, la más importante respecto al hormigón como material de construcción es la capacidad de soporte a la carga axial. La tabla 20, arroja valores respecto a esta característica

Tabla 20

Resultados de los ensayos de compresión a los 7 días

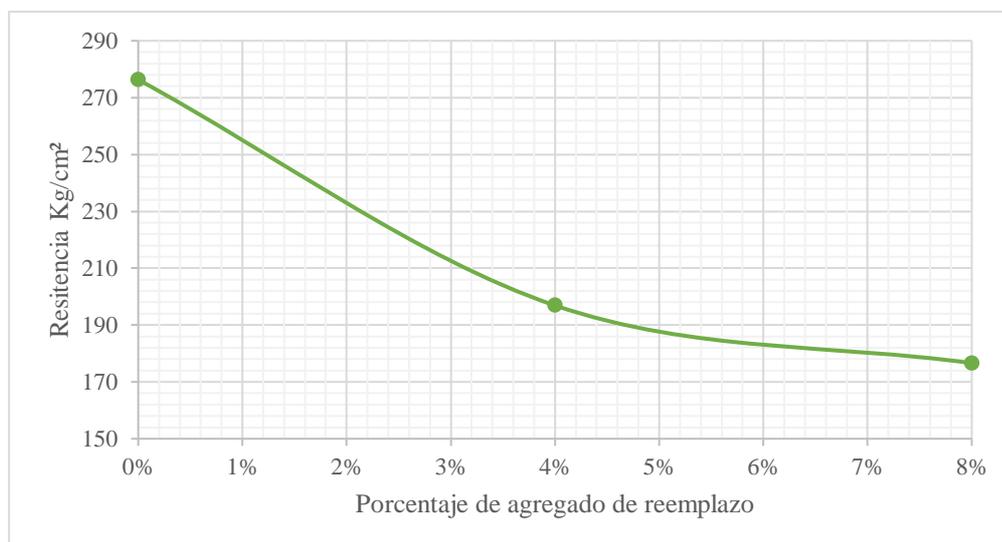
N° Muestra	%	Masa	Carga Máxima	Resistencia	Resistencia
		(g)	(KN)	(Kg/cm ²)	%
1	0	3827	210.22	272.93	78.00
2		3858	215.43	279.70	79.90
3	4	3796	147.91	192.03	54.90
4		3788	155.41	201.17	57.60
5	8	3897	139.22	180.75	51.60
6		3808	132.82	172.44	49.30

Nota: La tabla anterior muestra los resultados del ensayo a compresión para las probetas de hormigón a los siete días de curado. Fuente: GETOECMANABI S.A.S. (2024)

Gráficamente, la tabla anterior muestra la tendencia que se presenta en la figura 19, donde es evidente la tendencia decreciente a la capacidad de soporte a la carga axial.

Figura 19

Resistencia a la compresión de las probetas a los 7 días



Nota: La figura anterior muestra la tendencia de decrecimiento en los resultados del ensayo a compresión para las probetas de hormigón a los siete días de curado. Fuente: GETOECMANABI S.A.S. (2024)

Para el caso de las probetas, una vez que han pasado 14 días, se mantiene una tendencia de decrecimiento de la resistencia similar a la de los 7 días, no cumplen el porcentaje de la resistencia que se estima a ese tiempo, tal como se evidencia en la tabla 21 y figura 20.

Tabla 21

Resultados de los ensayos de compresión a los 14 días

N° Muestra	%	Masa	Carga Máxima	Resistencia	Resistencia
		(g)	(KN)	(Kg/cm ²)	%
1	0	3861	242.12	314.35	89.80
2		3841	247.73	321.63	91.90
3	4	3729	191.92	249.17	71.20

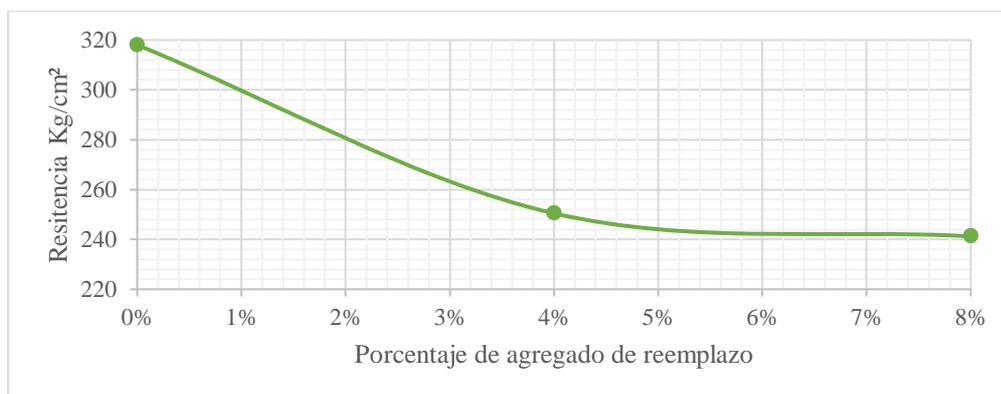
4		3786	193.90	251.74	71.90
5	8	3864	187.00	242.79	69.40
6		3881	184.63	239.71	68.50

Nota: La tabla anterior muestra los resultados del ensayo a compresión para las probetas de hormigón a los catorce días de curado. Fuente: GETOECMANABI S.A.S. (2024)

Gráficamente, la tabla anterior muestra la tendencia que se presenta en la figura 19, donde se mantiene el decrecimiento en los datos a la compresión cuando se realiza el reemplazo de agregado fino con fibra de caña brava.

Figura 20

Resistencia a la compresión de las probetas a los 14 días



Nota: La figura anterior muestra la tendencia de decrecimiento en los resultados del ensayo a compresión para las probetas de hormigón a los catorce días de curado. Fuente: GETOECMANABI S.A.S. (2024)

Finalmente, para las probetas que han pasado 28 días sumergidas, sucede, básicamente, un idéntico escenario respecto al comportamiento de la resistencia en donde, ninguno de los cilindros que tuvieron adición de fibra de caña brava alcanzan el cien por ciento de la resistencia de diseño ver tabla 22 y figura 19.

Tabla 22

Resultados de los ensayos de compresión a los 28 días

N° Muestra	%	Masa	Carga Máxima	Resistencia	Resistencia
		(g)	(KN)	(Kg/cm²)	%
1	0	3806	325.42	422.50	120.70

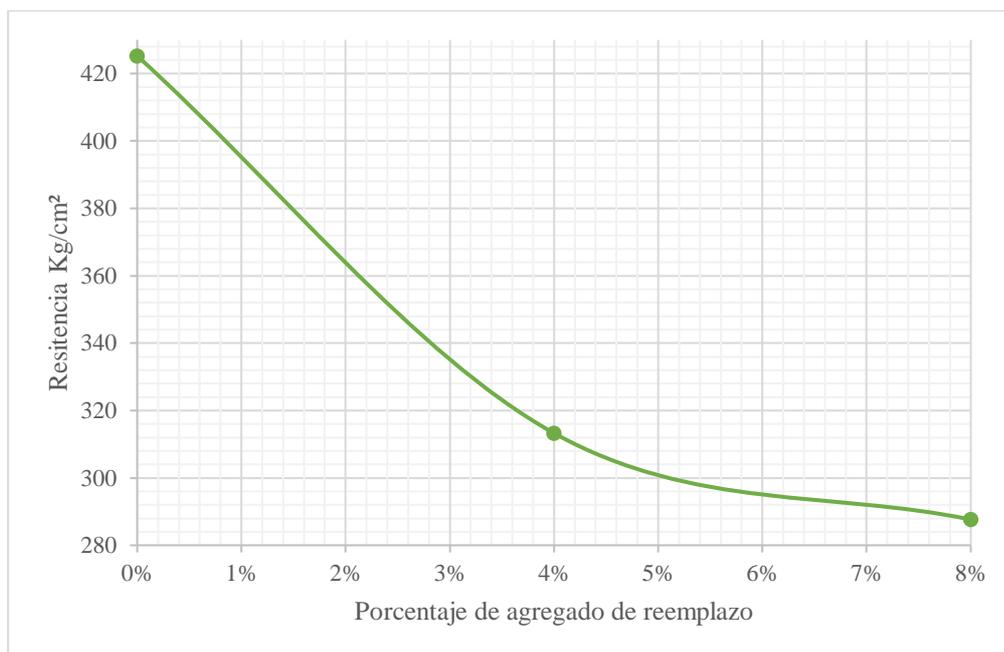
2		3822	329.61	427.94	122.30
3	4	3769	240.21	311.87	89.10
4		3785	242.37	314.67	89.90
5	8	3829	219.79	285.36	81.50
6		3824	223.30	289.92	82.80

Nota: La tabla anterior muestra los resultados del ensayo a compresión para las probetas de hormigón a los veintiocho días de curado. Fuente: GETOECMANABI S.A.S. (2024)

Gráficamente, para el último escenario de ensayo de las probetas persiste la tendencia de decrecimiento en los datos de resistencia a la compresión cuando se realiza el reemplazo de la serie fina con filamentos de caña brava como se expresa en la figura 21

Figura 21

Resistencia a la compresión de las probetas a los 28 días

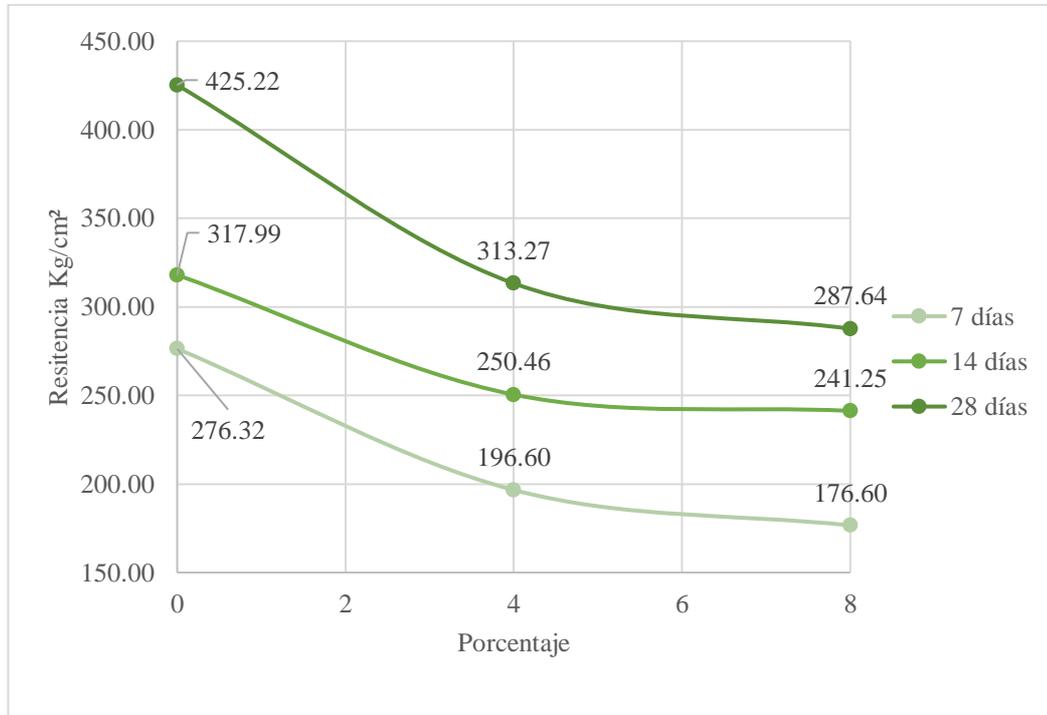


Nota: La figura anterior muestra la tendencia de decrecimiento en los resultados del ensayo a compresión para las probetas de hormigón a los veintiocho días de curado. Fuente: GETOECMANABI S.A.S. (2024)

En la figura 22, es posible percatarse del comportamiento evolutivo de las fibras de caña brava, recalando las tendencias descendentes de las curvas en las edades de 7, 14 y 28 días.

Figura 22

Evolución de la resistencia a la compresión para las probetas de hormigón con adición de fibra de caña brava los 7, 14 y 28 días.



Nota: Dentro de la figura el comportamiento evolutivo para las distintas edades marca una tendencia de decrecimiento en los resultados del ensayo a compresión para los testigos de hormigón. Fuente: GETOECMANABI S.A.S. (2024).

4.1.14. Ensayo de tracción

Las fuerzas compresivas diametrales o ensayos a tracción, se caracterizan por tener una resistencia entre el 8 y 15 %, esto se da, por la variación que da la raíz cuadrada de $f'c$ (Quevedo, 2018). De tal manera, como factor de referencia se utilizará un 10 % de la resistencia a compresión.

Se consideró importante, también, ensayar a la par de la característica de la compresión a la tracción simple como el siguiente parámetro con algo de relevancia a pesar de que, generalmente, la capacidad a tracción que tiene el hormigón no sea considerada en los cálculos para el diseño de las estructuras. Para esto es importante que se consideró la resistencia a la tracción equivalente a la décima parte de la resistencia de diseño a la compresión. Las tablas 23 y las figura 23 muestran una tendencia evolutiva respecto a la tracción.

Tabla 23*Resultados de los ensayos de tracción a los 14 días*

N° Muestra	Datos de la muestra	Carga Máxima	Resistencia	Resistencia
	%	(KN)	(Kg/cm2)	%
1	0	30.23	41.10	117
2		22.96	31.20	89
3	4	17.81	24.20	69
4		16.05	21.80	62
5	8	16.21	22.00	63
6		15.79	21.50	61

Nota: La tabla muestra los valores de tracción ensayados a los catorce días de curado.
Fuente: GETOECMANABI S.A.S. (2024).

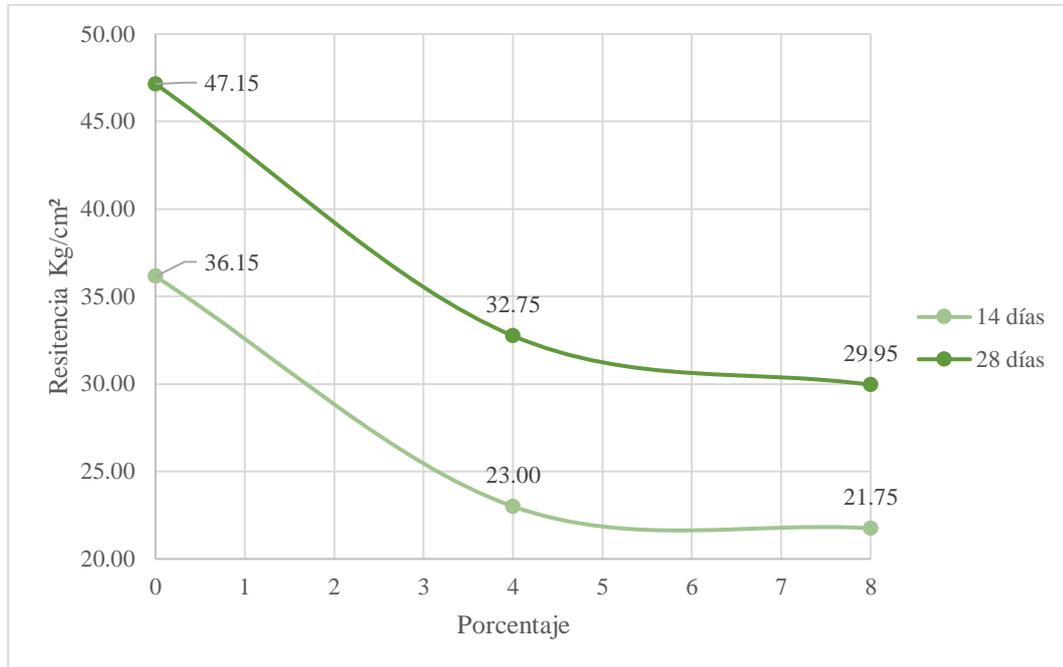
Tabla 24*Resultados de los ensayos de tracción a los 28 días*

N° Muestra	Datos de la muestra	Carga Máxima	Resistencia	Resistencia
	%	(KN)	(Kg/cm2)	%
1	0	35.29	48.00	137
2		34.05	46.30	132
3	4	25.01	34.00	97
4		23.18	31.50	90
5	8	22.70	30.90	88
6		21.33	29.00	83

Nota: La tabla muestra los valores de tracción ensayados a los veintiocho días de curado.
Fuente: GETOECMANABI S.A.S. (2024).

Figura 23

Evolución de la resistencia a la tracción para las vigas de hormigón con adición de fibra de caña brava a los 14 y 28 días.



Nota: Dentro de la figura el comportamiento evolutivo para las distintas edades marca una tendencia de decrecimiento en los resultados del ensayo a tracción para las vigas de hormigón. Fuente: GETOECMANABI S.A.S. (2024).

La gráfica presentada muestra el comportamiento de la resistencia a tracción de especímenes de hormigón con la adición de fibra de caña brava, evaluadas a los 14 y 28 días; en las vigas evaluadas a los 14 días, la resistencia inicial es de 36,15 Kg/cm² sin la adición de fibra (0%), sin embargo, conforme se incrementa el porcentaje de fibra de caña brava, la resistencia disminuye, de manera notable, llegando a 23,00 Kg/cm² al 4%; a partir de este punto, la curva se aplana, indicando una disminución más gradual de la resistencia, que alcanza los 21,75 Kg/cm² al 8%.

En el caso de las vigas, a los 28 días, la resistencia inicial es mayor, comenzando en 47,15 Kg/cm² sin la fibra, la adición de la fibra sigue una tendencia de disminución similar, con una caída a 32,75 Kg/cm² al 4% y estabilizándose en 29,95 Kg/cm² al 8%, aunque la reducción es evidente, se observa que el descenso es más controlado después del 4%, lo que sugiere que el impacto de la fibra se modera en mayores porcentajes.

Comparando ambas series, se confirma que las vigas a los 28 días presentan una resistencia superior en todos los puntos respecto a las de 14 días, lo cual es consistente con el beneficio de soporte natural del concreto con el tiempo; no

obstante, el aditamento de fibra de caña brava interviene negativamente en la capacidad de tracción en ambas edades, destacando una pérdida más pronunciada en los primeros incrementos hasta el 4%.

Este comportamiento subraya que la asociación de filamentos de caña brava afecta la resistencia a tracción, especialmente, en porcentajes más bajos. Sin embargo, después del 4%, la disminución se vuelve menos acentuada, lo que indica que el hormigón puede estabilizar su desempeño con mayores proporciones de fibra. Este hallazgo es relevante para los ingenieros y constructores, quienes deben sopesar los beneficios potenciales de la fibra en términos de durabilidad u otras propiedades frente a la reducción de la resistencia a tracción.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Los materiales cumplen con los requisitos de resistencia a la compresión, superando incluso en un 21.50 % el valor especificado en el diseño, a pesar de las diferencias en la granulometría de las series finas y gruesas; de tal manera, contrario a lo esperado, la fibra de caña brava no se consolidó como un material aditivo que mejore las características mecánicas del concreto en términos de soporte a cargas de compresión y tracción.

Los datos de las pruebas de compresión indicaron que, a los 7 días de curado de los cilindros, se evidenció una disminución del 12.60 % en la resistencia cuando se agregó un 4 % de fibra; una reducción del 18.50 % con un 8 % de fibra; esto permitió concluir que los pseudotallos no contribuyen a la resistencia a compresión en estos porcentajes. Este comportamiento de reducción en el soporte a la compresión se mantuvo en las pruebas a 14 días, con pérdidas 13.40 % al añadir un 4 %, y 16.10 % al añadir un 8 %. Finalmente, a los 28 días, se confirmaron las disminuciones de resistencia, con valores de reducción del 10.50 % para el 4 % de fibra, 17.80 % para el 8 %.

En cuanto a los valores de los estudios de tracción, se observó una propensión similar a la de la resistencia a la compresión, mostrando que la fibra de caña brava actúa de manera contraproducente, al generar menores valores de resistencia.

A los 14 días de fraguado, se registró una pérdida del 19.50 % en la resistencia a la tracción al añadir un 4% de fibras; así mismo, se registró una reducción al adicionar un 8 % de fibra de caña brava de 23%. Los resultados a 28 días de las últimas pruebas confirmaron las desventajas de añadir fibras de caña brava, mostrando resistencias al 4% de fibra de 6.50 %; y al 8% de fibra un 14% de desfase para cumplir su capacidad requerida de 35 kg/cm² total ante los esfuerzos de tracción.

De tal manera, se determina que los cilindros y vigas de hormigón no obtienen su resistencia de diseño solicitada de 350 kg/cm², a medida que se incrementa el porcentaje de caña brava, el cual en este caso experimental se introdujo 4 % y 8 %, así prevaleciendo el hormigón patrón.

5.2 RECOMENDACIONES

No se recomienda la utilización de filamentos de caña brava como alternativa ecológica, ya que no aporta beneficios al concreto y, por el contrario, reduce sus valores de resistencia a la compresión y tracción; es recomendable explorar investigaciones similares con otros materiales que puedan ofrecer una alternativa ecológica más efectiva, permitiendo así un mejor aprovechamiento de recursos y minimizando el desperdicio y la contaminación.

Realizar ensayos de caracterización de materiales es crucial para obtener información sobre sus propiedades, lo que permite anticipar si cumplirán con las expectativas, de tal manera, se recomienda llevar a cabo estos ensayos de manera exhaustiva.

La calidad del concreto depende de las propiedades de sus materiales componentes; por lo tanto, para lograr un hormigón de alta resistencia, es esencial que los materiales utilizados sean de buena calidad, esto implica que tanto los trabajadores de la construcción como los investigadores tienen la responsabilidad de verificar que los materiales seleccionados posean buenas características mecánicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Holcim Ecuador S.A. (2024). *Cemento Holcim Fuerte Ecoplanet Tipo GU*. Obtenido de Holcim Ecuador: <https://www.holcim.com.ec/cemento-holcim-fuerte>
- Abad, K., Mogrovejo, X., & Rojas, F. (2012). *Experimentación y posibles aplicaciones de la fibra de banano en el campo textil*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Abril, C. (2019). *Caracterización de la fibra del pseudo tallo de plátano como refuerzo y desarrollo de un material compuesto para fabricación de tejas*. Duitama: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Agri-Food Business Development Centre. (2013). *Estadísticas de producción por países*. Woolwich: NationMaster.
- Alcivar, S., Parraga, N., & J, V. (2021). Comparación teórico experimental del comportamiento a flexión de vigas de hormigón armado mediante gráficas de momento curvatura. *Riemat*, 6(1), 1-9.
- Arias , S., Córdova , J., & Gómez, M. (2021). Alternativas de aprovechamiento de residuos de la industria minera de El Bajo Cauca Antioqueño en el sector de la construcción. *Revista EIA*, 18(36), 1-12. doi:10.24050/reia.v18i36.1496
- Arias, J. (2021). Guía para elaborar la operacionalización de variables. *Espacio I+D Innovación y Desarrollo*, 10(28), 42-56. doi:10.31644/IMASD.28.2021.a02
- ASTM. (Abril de 2016). *ASTM International. Helping our world work better*. Obtenido de ASTM C293/C293M: <https://la.astm.org/es/standards/>
- ASTM. (Marzo de 2022). *ASTM International. Helping our world work better*. Obtenido de ASTM C78/C78M: <https://la.astm.org/es/standards/>
- Bambú. (15 de Marzo de 2022). *Contrucción en Bambú*. Obtenido de Las técnicas de construcción con bambú: <https://hacerconbambu.blogspot.com/2020/09/tecnicas-de-construccion-con-guadua-bambu.html>

- Benel , D. (2023). Analysis and comparison of improved concrete with the addition of different types of materials. *Revista Ingeniería de Construcción*, 38(2). doi:10.7764/RIC.00067.21
- Cajas, G., & Esquivel, J. (2023). *Análisis comparativo del hormigón tradicional con hormigón elaborado con fibras de caucho reciclado incorporado a volúmenes de 0.50%, 0.75%, 1.00% y 1.25%, mediante los ensayos a compresión y tracción*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25263>
- Calderón-Quijije, C., Abad-Alvarado, G., & Guevara-Toscano, M. (2024). Economía circular y su vinculación con el entorno académico para el manejo de desechos en la Universidad de Guayaquil. *MQRInvestigar*, 3424-3445. Obtenido de <http://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/1411>
- Candelario, M. (2023). *Oportunidades y retos de la propiedad industrial en el entorno de cambio climático*. Obtenido de <https://www.torrossa.com/en/resources/an/5556825#>
- Cheesman, E. (1948). Critical notes on species. En E. Cheesman, *Classification of the Bananas* (págs. 145-153). Suiza: Kew Bulletin.
- Condori, K. (2020). Development of concrete pavements of short slabs with fiber incorporated. *Building y Management*, 4(1). doi:10.20868/bma.2020.1.4663
- Construex Ecuador. (2024). *Hiperplastificante Millenium ADITEC* [Construex.com.ec](https://www.construex.com.ec). . Obtenido de Construex Ecuador: https://www.construex.com.ec/exhibidores/aditec/producto/hiperplastificante_millenium_aditec
- Controls Group. (15 de Octubre de 2024). *Controls*. Obtenido de American Society for Testing and Materials Standards: ASTM C78: <https://controls-group.com/standards/astm-c78/>
- Echeverry, V. (29 de Julio de 2015). *Superplastificantes: última tecnología en aditivos para concreto*. (R. 3. Concreto, Editor) Recuperado el 26 de Junio de 2022, de

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/superplastificantes-tecnologia-en-aditivos-para-concreto#:~:text=Los%20aditivos%20superplastificantes%20aumentan%20la,casos%2C%20contenidos%20elevados%20de%20pasta.>

EHE-08. (2018). *Instrucción de Hormigón Estructural*. Madrid: Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica.

Eurolab. (15 de Octubre de 2024). *Eurolab Laboratory Services*. Obtenido de Método de prueba estándar ASTM C293 para la resistencia a la flexión del concreto: <https://www.laboratuar.com/es/testler/astm-testleri/astm-c293-betonun-egilme-dayanimi-icin-standart-test-yontemi/>

Gaitán, V. (2013). *Estudio del comportamiento del hormigón de alta resistencia reforzado con fibras de acero frente al impacto de proyectiles*. Universidad Politécnica de Madrid.

García, A. (2024). *Diseño y cálculo estructural de una edificación de hormigón armado para uso de cementerio en la parroquia Chongón, Cantón Guayaquil*. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27680>

Ghoreishi, K. (2011). *Ecomateriales y Construcción Sostenible*. Creative Commons Reconocimiento. Obtenido de <https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/documentos/5dejulioecomateriales1.pdf>

González, C., & Vásconez, M. (2023). Guadua caña brava embutida en hormigón como elemento estructural horizontal para vivienda urbana sustentable. *Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo*, 73-84. doi:10.29019/eidos.v16i22.1152

Grimmeissen, L., Jensen, A., & Wehner, S. (2020). *Hoja de ruta para el desarrollo de bajas emisiones en la Industria Chilena del Cemento*. Obtenido de https://4echile.cl/wp-content/uploads/2020/09/TNA-Cemento_2020-07-20_Informe-FINAL.pdf

- Guede, D., González, P., & Caeiro, J. (2013). Biomecánica y hueso (I): Conceptos básicos y ensayos mecánicos clásicos. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 5(1), 43-50. doi:10.4321/S1889-836X2013000100008
- Guevara , G., Verdesoto, A., & Castro , N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 163-173. doi:10.26820/recimundo/4
- Hee Son, D., Hwangbo, D., Suh, H., & Il Bae , B. (2022). Mechanical properties of mortar and concrete incorporated with concentrated graphene oxide, functionalized carbon nanotube, nano silica hybrid aqueous solution. *Case Studies in Construction Materi*, 18. doi:10.1016/j.cscm.2022.e01603
- IMCYC. (2004). *Conceptos básicos del concreto*. México: Instituto mexicano del cemento y del concreto.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 872:2011*. Quito. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872-1.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2013). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la tracción por compresión diametral de especímenes cilíndricos de hormigón*. Quito: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico, determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. Quito: INEN.
- Khokhar, M., Roziere, E., Turcry, P., Grondin, F., & Loukili, A. (2010). Mix design of concrete with high content of mineral additions: Optimisation to improve early age strength. *Cement and Concrete Composites*, 377-385. doi:10.1016/j.cemconcomp.2010.01.006
- Landín, P. (2013). *Materiales de construcción: El cemento y sus derivados*. Pontevedra: Pelandintecno.

- Malavé , M., & Jativa , A. (2023). *Estudio de materiales sostenibles y sustentables para la construcción de edificaciones ecoamigables en la provincia de Santa Elena*. La Libertad. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10587>
- Merrit, F. (1992). *Manual del ingeniero civil*. Florida: McGraw-Hill.
- Miguel, J., Diaz, M., & Lauret-Aguirregabiria, B. (01 de 01 de 2008). *Nuevos conceptos en elementos estructurales de vidrio: vigas pretensadas de vidrio*. . Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/figure/Esquema-de-compresiones-y-tracciones-en-una-viga-en-comparacion-con-la-resistencia-del_fig1_47397667
- Monsalve, J., Sánchez, M., & Baquero, D. (2018). Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de paneles reforzados con fibras de caña brava. *INGE CUC, 14*(1), 66-74. doi:10.17981/ingecuc.14.1.2018.06
- Nistal, Á., Retana, M., & Ruíz, M. (2012). El hormigón: Historia, antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia. *Tecnología y Desarrollo, 577-586*.
- Orbe, L. (2013). *Optimización de la relación agua cemento en el diseño de hormigones estándar establecidos en los códigos ACI – ASTM*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6470>
- Osorio, J. (Septiembre de 2010). *360 en Concreto*. Recuperado el 25 de Junio de 2022, de Hidratación del concreto: agua de curado y agua de mezclado: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/importancia-del-agua-en-el-concreto>
- Osorio, N., & Zapata, S. (2023). *Economía circular en el Valle de Aburrá: una propuesta alternativa de sistema alimentario*. Medellin. Obtenido de <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/10605/Econom%c3%ada%20circular%20en%20el%20Valle%20de%20Aburr%c3%a1.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Parilla, P. (2011). *Análisis teórico experimental de pilares y vigas de hormigón armado reforzados con fibra de carbono*. Universidad Politécnica de Madrid.

- Pedraza, C. (2019). *Caracterización de la fibra del pseudotallo de plátano como refuerzo y desarrollo de un material compuesto para fabricación de tejas*. Tesis, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Duitama. Obtenido de https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2768/1/TGT_1401.pdf
- Perez, C. D., & Palomino, G. L. (2019). *Estudio del comportamiento de la resistencia del concreto $F'c$ 210kg /cm² adicionando fibras de tallo del plátano*, Lima 2019. Lima: Universidad César Vallejo.
- Quevedo, V. (2018). *Resistencia a la compresión y tracción del concreto $f'c$ kg/cm², sustituyendo al cemento con 7 %, 9 % y 11 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar - 2018*. Chimbote. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35891>
- Ramírez, W., Mayacela, M., Quishpe, E., & Pastuña, B. (2024). Análisis del efecto tamaño en el comportamiento a flexión de elementos de hormigón reforzados con fibras plásticas. *Revista Digital Novasinergia*, 7(2), 151-163. doi:10.37135/ns.01.14.09
- Reyes, G. D., Valdivieso, G. M., & Romero, A. (2024). Resistencia a flexión de vigas de hormigón con refuerzo de caña guadúa. *Dominio De Las Ciencias*, 10(2), 945-970. doi:10.23857/dc.v10i2.3839
- Robles De La Cruz, C. (2022). *Estudio del comportamiento físico-mecánico de estratos intermedios en intervenciones generales del soporte textil en pintura sobre tela: aplicabilidad en el ciclo pictórico de Gaspar de la Huerta en la Galería Dorada del Palau Ducal de Gandía*. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de València. doi:10.4995/Thesis/10251/183517
- Romero, L., & Vega, M. (2019). *Estudio del efecto en diferentes cantidades de fibra de vástago de plátano en propiedades físico-mecánicas del concreto hidráulico para pavimento*. Monografía, Universidad Piloto de Colombia, Girardot. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5746/MONOGRAFIA%20SIA%202019%20->

%20MA.%20PAULA%20VEGA%20Y%20CAROLINA%20ROMERO.pdf?sequence=1

Romero, A., & Hernández, J. (2014). *Diseño de mezclas de hormigón por el método ACI y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión*. Tesis, Universidad Santo Tomás, Bogotá. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno%20de%20mezclas%20de%20hormigon%20por%20el%20metodo%20a.c.i..pdf?sequence=1>

Sánchez, F. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos. *Rev. Digit. Invest. Docencia*, 13(1), 102-122. doi:10.19083/ridu.2019.644

Silva, L. (2014). *Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero y su influencia en sus propiedades mecánicas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Tesis, Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8337/1/Tesis%20828%20-%20Silva%20Tipantasig%20Len%C3%ADn%20Gabriel.pdf>

Timoshenko, S., Gere, J. M., & Bueda, G. (2004). *Timoshenko resistencia de materiales (5a ed., 2a reimp.)*. Thompson.

Vélez, A., Ruiz, W., Ortiz, E., Alvarado, S., & Jarre, C. (2019). Estudio de la resistencia a compresión del hormigón utilizando el vidrio finamente molido en reemplazo parcial del cemento. *RIEMAT*, 4(2). doi:10.33936/riemat.v4i2.2187

Villao, R. (2022). Las nuevas técnicas para el desarrollo y evaluaciones de las estructuras de hormigón. 593 *Digital Publisher*, 7(3-1), 176-190. doi:10.33386/593dp.2022.3-1.1134

ANEXOS

Anexo 1.- Ensayos Granulométricos



Serie de tamices para agregado fino



Serie de tamices para agregado grueso

Anexo 2.- Ensayo de Peso Unitario Suelto



Ensayo de PUS del agregado fino, primera capa



Ensayo de PUS del agregado grueso, primera capa

Anexo 3.- Ensayo de Peso Unitario Compactado



Enrazado de agregado fino



Varillado de agregado grueso

Anexo 4.- Densidad, Densidad relativa y Absorción de Agregados



Movimiento reiterado con el picnómetro para obtener gravedades específicas y absorción



Retirada de canasta conteniendo el agregado grueso y pesado en agua

Anexo 5.- Dosificación del hormigón



Toma de temperatura de hormigón



Recipiente de cemento y aditivo para la dosificación

Anexo 6.- Fundición de cilindros y vigas de hormigón



Moldes para la confección de cilindros de hormigón



Moldes para la confección de vigas de hormigón

Anexo 7.- Rotura de Cilindros de Hormigón 7 días



Probeta de hormigón rota a los 7 días



Panel con valores de carga máxima en kN de probeta de hormigón con 0% de fibra a los 7 días

Anexo 8.- Rotura de Cilindros de Hormigón 14 días



Probeta de hormigón rota a los 14 días



Panel con valores de carga máxima en kN de probeta de hormigón con 0% de fibra a los 14 días

Anexo 9.- Rotura de Cilindros de Hormigón 28 días



Probeta de hormigón rota a los 28 días



Panel con valores de carga máxima en kN de probeta de hormigón con 0% de fibra a los 28 días

Anexo 10.- Rotura de vigas de hormigón 14 días



Rotura de viga a flexión con fibra de caña brava a 4%



Panel de prensa de hormigón modificado a la flexión

Anexo 11.- Rotura de vigas de hormigón 28 días



Colocación de viga de hormigón en acoples para la rotura a flexión



Panel de prensa de hormigón modificado a la flexión