



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN HORMIGÓN
CONVENCIONAL EN RELACIÓN A UNO REFORZADO CON FIBRA DE
VIDRIO EN PAVIMENTOS VEHICULARES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Civil

AUTORES: Daniel Jorge Barros Balladares

Jordán Jesús Larrea Carpio

TUTOR: Ing. Pedro Gerardo Peña Montoya

Guayaquil –Ecuador

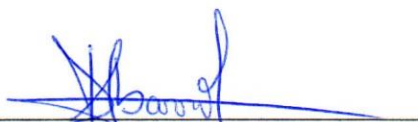
2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Daniel Jorge Barros Balladares con documento de identificación N° 0929005775 y Jordán Jesús Larrea Carpio con documento de identificación N° 0924297518 manifestamos que: Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 8 de febrero del 2025

Atentamente,



Daniel Jorge Barros Balladares

0929005775



Jordan Jesús Larrea Carpio

0924297518

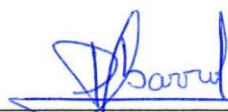
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Daniel Jorge Barros Balladares con documento de identificación N° 0929005775 y Jordan Jesús Larrea Carpio con documento de identificación N° 0924297518 expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del proyecto técnico: “ Análisis comparativo entre un hormigón convencional en relación a uno reforzado con fibra de vidrio en pavimentos vehiculares”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

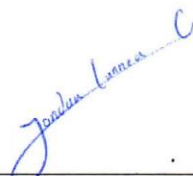
Guayaquil, 8 de febrero del 2025

Atentamente,



Daniel Jorge Barros Balladares

0929005775



Jordan Jesús Larrea Carpio

0924297518

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pedro Gerardo Peña Montoya con documento de identificación N° 0914565148, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL EN RELACIÓN A UNO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO EN PAVIMENTOS VEHICULARES", realizado por Daniel Jorge Barros Balladares con documento de identificación N° 0929005775 y por Jordan Jesús Larrea Carpio con documento de identificación N° 0924297518, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 8 de febrero del 2025

Atentamente,



Ing. Pedro Gerardo Peña Montoya

DEDICATORIA

Para mis padres, con mi corazón lleno de gratitud y una mezcla tan grande de emociones, les dedico esta tesis. Gracias por cada sacrificio, por cada consejo y por su amor incondicional. Ustedes son mi mayor inspiración en cada aspecto de mi vida, nunca me rendiré ya que ustedes siempre serán un modelo a seguir para mí, este logro es más suyo que mío, los amo y muchas gracias por nunca rendirse conmigo.

JORDAN JESUS LARREA CARPIO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero darle gracias a Dios por haberme guiado en este camino, por haberme dado el coraje y valentía para poder culminar esta bella carrera y por sus tantas oportunidades de aprendizaje

A mis padres, por ser las mejores personas que conozco, por darme tanto cariño y amor a lo largo de este tiempo, sé que no ha sido fácil ya que soy una persona muy testaruda y terca pero siempre he escuchado sus consejos, aunque no lo crean, siempre me apoyaron y siempre me brindaron su amor incondicional, gracias a ellos soy la persona que soy hoy en día y me faltará vida para agradecerles todo lo que han hecho por mí, los amo

A mi querida pareja, quiero dedicarle un agradecimiento especial. Gracias por ser mi compañera incondicional en este recorrido. su apoyo constante y su paciencia infinita en los momentos en que he querido rendirme, junto con mi familia fue un pilar fundamental para mantenerme a pie en cada problema. Gracias por celebrar mis éxitos como si fueran tuyos, por levantarme cuando me sentía desanimado y por ser mi lugar seguro en cada desafío. Tu amor y compañía han hecho este camino mucho más fácil

Y por supuesto, a mis amigos, Ustedes han sido mi soporte, mi una escapatoria y mi fuente de alegría durante todo este tiempo. Gracias por las incontables horas de estudio juntos, por las peleas en cada proyecto, por las risas que aliviaban el estrés y por los ánimos que me impulsaban a seguir adelante cuando ya no podíamos más. Gracias por ser mis confidentes, por escuchar mis preocupaciones sin juzgarme y por celebrar mis pequeños y grandes triunfos como si fueran propios. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi vida y este logro también les pertenece. Sus bromas, sus consejos, su compañía incondicional y su amistad sincera han hecho este camino mucho más ameno y significativo. Gracias por ser la familia que elegí.

Finalmente, quiero agradecer a mis docentes, por compartir sus conocimientos no solo de la carrera, si no de la vida misma, cada enseñanza la llevare siempre en el corazón, ya que ustedes me formaron en este camino y siempre les estaré agradecido por darnos siempre una oportunidad más.

JORDAN JESUS LARREA CARPIO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por todo lo que he vivido hasta el día de hoy, sea bueno o malo, todo es una experiencia por lo cual estoy muy agradecido con él, por la inteligencia que me ha brindado alrededor de los años, por todas las bendiciones que me ha dado hasta el día de hoy.

A mis maestros, quienes a pesar de todo estuvieron a dispuestas a enseñar con toda la paciencia del mundo y también por esa amistad que ellos brindan. Cada uno de ustedes me ha enseñado valores no solo en la vida universitaria sino como ser humano.

Quiero agradecer a mis padres y a mi hermano, nada de esto hubiera sido posible sin la paciencia que me brindan cada día, con su experiencia, con sus risas, me siento bendecido con la gran familia que me tocó gracias a Dios. Cada momento difícil ha sido una experiencia para Gabriel y para mí el cual estoy muy orgulloso por cómo nos han enseñado a salir adelante. Toda la vida estaré agradecido con ustedes.

Quisiera agradecer a mis grandes amigos que he conocido con el pasar de los tiempos, me han enseñado lo que es disfrutar junto a grandes personas, han sido un pilar fundamental en mi vida junto a sus risas y experiencias adquiridas.

Quisiera agradecer a mi compañero de tesis Jordan, por quien hasta el último lo dimos todo y siempre nos apoyamos mutuamente, gracias por tu apoyo incondicional.

DANIEL JORGE BARROS BALLADARES

DEDICATORIA

Primero quiero dedicar todo el esfuerzo a Dios, por estar siempre a mi lado en todos los momentos cruciales de mi carrera académica y nunca dejarme solo en este camino tan largo pero que ha dado sus frutos, gracias por todo el conocimiento adquirido, todo se lo debo a él.

A mis padres, quienes se han forzado cada año de mi carrera como estudiante, que han tenido la paciencia de aguantar y apoyarme los momentos donde más frustrado he estado, por siempre guiarme en el camino del bien y darme la sabiduría que ellos adquirieron con la experiencia, por apoyar, felicitar y motivar en cada uno de los logros que con el tiempo he obtenido.

A mi hermano por ser un pilar fundamental en todo, despejándome de los malos rato con una broma o una risa y por siempre estar juntos.

Por último, pero no menos importante a Melanie que ha sido mi gran compañera desde los inicios de mi carrera universitaria, por las risas, los momentos malos y buenos que hemos pasado, por saber aconsejarme en cosas que desconozco. Por enseñarme lo que es que alguien te apoye en situaciones complicadas y motivarme a una persona mejor cada día.

A todos ustedes, les dedico la presente tesis.

DANIEL JORGE BARROS BALLADARES

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	22
1. GENERALIDADES.....	22
1.1 Introducción	22
1.2 Problema del estudio.....	23
1.3 Justificación.....	24
1.4 Objetivos.....	25
1.4.1 General	25
1.4.2 Específicos	25
CAPÍTULO 2.....	26
2. MARCO TEÓRICO	26
2.1 Hormigón Convencional.....	26
2.2 Características Generales.....	26
2.3 Resistencia a la Compresión	27
2.4 Resistencia a la Flexión	27
2.5 Versatilidad	28
2.6 Propiedades Mecánicas.....	28
2.6.1 Resistencia a la Tracción	28

2.6.2	Fragilidad	28
2.6.3	Ductilidad	29
2.7	Limitaciones en Pavimentos Vehiculares	29
2.7.1	Fisuración y Mantenimiento	29
2.7.2	Espesor de la Losa y Consumo de Material	30
2.7.3	Mantenimiento y Costo a Largo Plazo	30
2.7.4	Sensibilidad a Condiciones Ambientales	30
2.8	Hormigón Reforzado con Fibra de Vidrio (HRFV)	31
2.8.1	Introducción	32
2.8.2	Características de las Fibras de Vidrio	32
2.8.3	Especificaciones técnicas sobre la fibra de vidrio	33
2.9	Propiedades Mecánicas del HRFV	34
2.10	Ventajas del HRFV en Pavimentos Vehiculares	35
2.11	Limitaciones y Retos del HRFV	36
2.12	Comparación entre hormigón convencional y uno reforzado con fibra de vidrio	37
2.13	Resistencia a la Compresión	38
2.14	Resistencia a la Flexión	38
2.15	Ductilidad	39

2.16	Resistencia al Impacto	40
2.17	Durabilidad	40
2.18	Espesor de la Losa y Consumo de Material	41
2.19	Costo Inicial y Mantenimiento	42
2.20	Justificación del Estudio.....	43
2.21	Superación de las Limitaciones del Hormigón Convencional .	43
2.22	Potencial Sostenibilidad y Reducción del Impacto Ambiental	44
2.23	Mejora en la Durabilidad y Reducción de Costos deMantenimiento	45
2.24	Relevancia para la Innovación en la Construcción de Pavimentos Vehiculares	46
2.25	Clasificación de tipos de pavimentos	46
2.26	Pavimentos Flexibles - Asfáltico.....	47
2.26.1	Usos	48
2.27	Pavimento Semirrígido.....	49
2.28	Pavimentos Rígidos.....	50
2.29	Pavimentos Articulado.....	53
2.30	Alineación con Objetivos Globales de Sostenibilidad.....	54
2.31	Impacto Ambiental.....	54
2.32	La fibra de Vidrio sus ventajas y contras para el Medio	

Ambiente 55

CAPÍTULO 3.....	56
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	56
3.1.1 Agregado Grueso	57
3.1.2 Agregado Fino	58
3.1.3 Tipos de Cemento	59
3.1.3.1 TIPO GU	59
3.1.3.2 TIPO HE.....	59
3.1.3.3 TIPO MS	59
3.1.3.4 TIPO HS.....	59
3.1.3.5 TIPO MH.....	59
3.1.3.6 TIPO LH.....	59
3.1.4 Cemento Tipo GU.....	60
3.1.4.1 Especificaciones Técnicas del Cemento Tipo GU HOLCIM.....	60
3.1.4.2 Especificaciones Técnicas del Cemento Tipo GU Chimborazo	61
3.1.5 Agua	62
3.1.6 Fibras	62
3.2 DISEÑO DE HORMIGÓN HIDRAÚLICO	63
3.2.1 Relación Agua/Cemento	63

3.2.2	Hormigón Convencional.....	64
	Número de parihuelas para 1 saco de cemento con medidas de 0.40m x 0.40m x 0.20m.....	65
3.3	Determinación de la resistencia a compresión y flexión en las muestras elaboradas de un hormigón tradicional con fibra de vidrio	65
3.4	Preparación y ensayo a flexión de Hormigón Reforzadas con Fibra de Vidrio.....	70
3.4.1	Preparación de Moldes y mezcla del hormigón	70
3.4.2	Elaboración de Probetas con Diferentes Composiciones	72
3.5	Resultados de los ensayos a Compresión en un Hormigón Convencional.	73
3.6	Resultados de los ensayos a Compresión en un Hormigón Reforzado con Fibra de Vidrio	74
3.7	Tabla general de ensayo a compresión	75
3.8	Resultados de los ensayos a Flexión en un Hormigón Convencional.	76
3.9	Resultados de ensayos a flexión a los 3 días (Primera Muestra) 77	77
3.10	Resultados de ensayos a flexión a los 3 días (Segunda Muestra) 78	78
		78

.....	78
3.11 Muestra general de ensayo a Flexión a los 3 días (Primera Muestra)	79
3.12 Muestra general de ensayo a Flexión a los 3 días (Segunda Muestra)	80
3.13 Impacto del uso de la fibra de vidrio para pavimentos en el medio ambiente.....	81
3.13.1 Análisis comparativo para un kilómetro de pavimento.....	83
4. CONCLUSIONES	84
4.3 RECOMENDACIONES	86
4.4 ANEXOS.....	87
.....	95
4.5 BIBLIOGRAFÍA:	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Limitaciones del Hormigón Convencional.....	31
Figura 2: Hormigón con fibra de Vidrio.....	31
Figura 3: Cuadro comparativo de costos de hormigones.....	42
Figura 4: Pavimento Asfáltico	48
Figura 5: Pavimento Semirrígido	49
Figura 6: Pavimento Rígido	52
Figura 7: Pavimentos Articulado.....	53
Figura 8: Cemento HOLCIM	60
Figura 9: Cilindros con Hormigón Convencional.....	66
Figura 10: Cilindros con Hormigón reforzado con Fibra de Vidrio.....	67
Figura 11: Rotura de Cilindros	69
Figura 12: Fallo en el cilindro de Hormigón Convencional y Reforzado con Fibra de Vidrio	69
Figura 13: Medición del molde de las viguetas (ASTM-C31)	70
Figura 14: Toma de muestras de viguetas	71
Figura 15: Viguetas.....	72
Figura 16: Muestra de resultados de la Resistencia a Compresión.....	73
Figura 17: Gráfica de la resistencia a Compresión HRFV	74
Figura 18: Gráfico General de ensayos a compresión de un Hormigón Convencional y un Hormigón con fibra de vidrio.....	75
Figura 19: Muestra de resultados ensayos a flexión con 1,5%FV;3%fv;4.5%.77	77

Figura 20: Muestra de resultados ensayos a flexión con 1,5%FV;3%fv;4.5%.	78
Figura 21: Ensayo a Flexión a los 3 días (Hormigón Convencional, Hormigón con 1.5%FV, 3%FV,4.5%FV)	79
Figura 22: Ensayo a Flexión a los 3 días (Hormigón Convencional, Hormigón con 1.5%FV, 3%FV,4.5%FV)	80
Figura 23: Fibra de Vidrio, Pliego.....	87
Figura 24: Fibra de Vidrio (Unidad).....	87
Figura 25: Engrasado de moldes	88
Figura 26: Laboratorio UPS	88
Figura 27: Concretera	89
Figura 28: Máquina para Compresión de CILINDROS.....	89
Figura 29: Máquina para flexión de VIGUETAS.....	90
Figura 30: Viga de concreto sometida a ensayo de flexión.....	90
Figura 31: Viga de concreto con fibra de vidrio en capas sometida a ensayo de flexión	91
Figura 32: Viga de concreto con baja dosificación de fibra de vidrio sometida a ensayo de flexión	91
Figura 33: Resultado de viga de concreto con alta dosificación de fibra de vidrio sometida a ensayo de flexión	91
Figura 34: Toma de ensayos a Flexión.....	92
Figura 35: Ficha técnica del Cemento Holcim	93
Figura 36: Sostenibilidad ambiental del Cemento en HOLCIM S.A.....	94
Figura 37: Proyección del hormigón	94

Figura 38: Cantidades de asfalto por Kilómetro.	95
---	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones Técnicas de la Fibra de Vidrio.....	33
Tabla 2: Tabla de materiales y laboratorio donde se realizó la práctica.....	56
Tabla 3: Características del material agregado grueso	57
Tabla 4: Características del material agregado fino	58
Tabla 5: Características Técnicas del Cemento HOLCIM	60
Tabla 6: Características Técnicas del Cemento Chimborazo.....	61
Tabla 7: Propiedades mecánicas de la Fibra de Vidrio.....	62
Tabla 8: Relación agua/cemento.....	63
Tabla 9: Dosificación del diseño patrón para un hormigón 280 kg/cm²	64
Tabla 10: Tabla referencial de cargas máximas a compresión.....	68
Tabla 11: Resumen de resultados de resistencia a compresión del diseño patrón	73
Tabla 12: Aumento de resistencia a la compresión con la Fibra de Vidrio, con relación al Hormigón.....	74
Tabla 13: Cuadro general de ensayos a compresión de un Hormigón Convencional y un HRFV	75
Tabla 14: Resumen de resultados de resistencia a Flexión del diseño patrón (Hormigón Tradicional, Primera Muestra).....	76
Tabla 15: Resumen de resultados de resistencia a Flexión del diseño patrón (Hormigón Tradicional, Segunda Muestra)	76
Tabla 16: Resumen de resultados de resistencia a flexión. (Hormigón con 1.5%FV;3%FV;4.5%FV).....	77

Tabla 17: Resumen de resultados de resistencia a flexión. (Hormigón con 1.5%FV;3%FV;4.5%FV).....	78
---	-----------

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL EN
RELACIÓN A UNO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO EN PAVIMENTOS
VEHICULARES**

**COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN CONVENTIONAL CONCRETE AND
ONE REINFORCED WITH GLASS FIBER IN VEHICULAR PAVEMENTS.**

RESUMEN

El siguiente artículo académico se dará las bases para realizar un análisis comparativo entre un hormigón convencional y un hormigón reforzado con fibra de vidrio en el ámbito de aplicación sería en pavimentos vehiculares. El objetivo principal es poder recolectar datos y posteriormente analizar las propiedades mecánicas y la durabilidad que tendrá el hormigón posteriormente a haber colocado fibra de vidrio en su composición. A su vez se realizarán probetas de cada tipo de hormigón a revisar para someterlos a dos tipos de ensayos, los cuales serían: ensayo de compresión y ensayo de flexión esto nos podrá dar una mejor visión de cuánto podría mejorar las capacidades del hormigón agregándole este material, a su vez se quiere ampliar el abanico de opciones para el pavimento vehicular, no solo y no solo se use hormigón simple, si no ciertas variaciones del hormigón que tengan mejoras en sus propiedades, agregándole distintos materiales como sería el caso de nuestro artículo en cuestión. Adicionalmente se realizará un análisis costo-beneficio para así poder revisar si es factible el costo agregado de la fibra de vidrio a la construcción inicial contra los beneficios y durabilidad que tendrá este hormigón Si este artículo académico da resultado +prometedores y a la altura considerable para salir del área experimental, se sugiere su uso

y posterior una investigación profunda en el análisis de propiedades y sobre cómo se comportaría en distintos tipos de climas.

Palabras clave: análisis, agregado, fibra, experimental, propiedades, factible, pavimento, probetas, compresión, hormigón, flexión, mecánicas, durabilidad, beneficio.

ABSTRACT

The following academic article will provide the basis for a comparative analysis between conventional concrete and fiberglass reinforced concrete in the field of application would be in vehicular pavements. The main objective is to be able to collect data and subsequently analyze the mechanical properties and durability that the concrete will have after having placed fiberglass in its composition. In turn, test specimens of each type of concrete to be reviewed will be made to subject them to two types of tests, which would be: compression test and bending test. This will give us a better view of how much the capabilities of the concrete could be improved by adding this material. In turn, we want to expand the range of options for vehicular pavement, not only and not only simple concrete is used, but also certain variations of concrete that have improvements in their properties, adding different materials as would be the case of our article in question. Additionally, a cost-benefit analysis will be carried out to review whether the added cost of fiberglass to the initial construction is feasible against the benefits and durability that this concrete will have. If this academic article gives promising results and at a considerable height to leave the experimental area, its use is suggested and subsequent in-depth research into the analysis of properties and how it would behave in different types of climates.

Keywords: analysis, aggregate, fiber, experimental, properties, feasible, pavement, test tubes, compression, concrete, flexure, mechanics, durability, benefit.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

Según Harmsen (2002), el concreto comenzó a utilizarse en Roma alrededor del siglo III a.C. y estaba compuesto por agregados vinculados con un aglutinante hecho de cal y ceniza volcánica.

El hormigón ha sido durante siglos uno de los pilares fundamentales en la construcción moderna gracias a su capacidad para soportar grandes cargas, su durabilidad y su versatilidad. Sin embargo, presenta ciertas limitaciones, como su tendencia a fisurarse bajo tensiones y su fragilidad frente a cargas dinámicas.

Por esta razón, investigadores y profesionales han explorado la incorporación de fibras para mejorar sus propiedades. En palabras de Mehta y Monteiro (2014), “la adición de materiales compuestos, como las fibras, ha demostrado ser una estrategia eficaz para reforzar el hormigón y mejorar su desempeño mecánico”.

Entre las fibras disponibles, la fibra de vidrio ha emergido como una opción prometedora debido a su resistencia a la tracción, baja densidad y durabilidad en entornos agresivos. Según el estudio de Bentur y Mindess (2006), “las fibras de vidrio no solo mejoran la resistencia a la fisuración del hormigón, sino que también contribuyen a una mayor sostenibilidad al extender la vida útil de las estructuras”.

El presente trabajo tiene como objetivo principal realizar un análisis comparativo entre el hormigón convencional y el hormigón reforzado con fibra de vidrio, evaluando propiedades clave como la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y el comportamiento frente a la fisuración. Asimismo, se busca examinar el impacto ambiental positivo asociado al uso de fibra de vidrio, ya que su incorporación puede reducir la necesidad de reparaciones frecuentes y optimizar el uso de recursos a lo largo del ciclo de vida de las estructuras.

La relevancia de esta investigación radica en ofrecer alternativas que respondan a las demandas de una construcción más eficiente y sostenible. Como señala Hossain (2018), “la integración de materiales innovadores en la construcción es esencial para enfrentar los desafíos ambientales y económicos del siglo XXI”. Este estudio, por tanto, busca contribuir al avance de la ingeniería civil y al desarrollo de prácticas constructivas más responsables con el medio ambiente.

1.2 Problema del estudio

El concreto ha sido uno de los materiales de construcción más utilizados desde la antigüedad, destacándose por su versatilidad, resistencia y disponibilidad de materias primas. Su uso se remonta a la civilización romana, donde se empleó una mezcla de agregados, cal y cenizas volcánicas como aglomerante. En la actualidad, el concreto sigue siendo un material fundamental en la industria de la construcción, pero enfrenta nuevos desafíos que limitan su eficiencia y sostenibilidad.

Entre los principales problemas asociados con el concreto está su impacto ambiental, dado que la producción de cemento componente clave del concreto genera una proporción significativa de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO_2). Además, las estructuras de concreto frecuentemente enfrentan problemas de durabilidad, especialmente en ambientes agresivos donde

están expuestas a condiciones como humedad, cambios térmicos extremos y agentes químicos que pueden degradar su resistencia y funcionalidad.

En este contexto, surge la necesidad de investigar nuevas estrategias para mejorar las propiedades del concreto, tanto en términos de durabilidad como de sostenibilidad. Esto incluye el uso de aditivos, materiales reciclados o alternativos que reduzcan el impacto ambiental, así como el desarrollo de mezclas que sean más resistentes a los factores de deterioro. Abordar estos problemas no solo contribuirá al avance de la tecnología del concreto, sino que también apoyará el desarrollo de construcciones más sostenibles y duraderas.

1.3 Justificación

La relevancia de este estudio radica en la importancia del concreto como material esencial para la infraestructura moderna, desde viviendas hasta carreteras y puentes. Sin embargo, los problemas mencionados anteriormente amenazan la funcionalidad y el ciclo de vida de las estructuras, generando costos adicionales en mantenimiento y reparaciones, así como impactos negativos al medio ambiente.

Investigar soluciones para mejorar las propiedades del concreto es fundamental para reducir las emisiones de carbono asociadas con su producción y prolongar la vida útil de las estructuras, especialmente en regiones donde las condiciones ambientales son desfavorables. Además, el uso de materiales alternativos y técnicas innovadoras puede contribuir a la economía circular, minimizando residuos y promoviendo la reutilización de recursos.

Este estudio busca aportar al conocimiento científico y práctico, proporcionando herramientas y estrategias para que la industria de la construcción pueda responder de manera efectiva a los retos actuales y futuros.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Llevar a cabo un análisis comparativo entre el hormigón tradicional y el hormigón reforzado con fibra de vidrio, evaluando características mecánicas como la resistencia a compresión, la resistencia a flexión y su desempeño frente a la formación de fisuras. El objetivo es determinar la factibilidad técnica y el potencial de uso del hormigón con fibra de vidrio en proyectos constructivos, así como su impacto ambiental.

1.4.2 Específicos

- I. Evaluar las propiedades mecánicas del hormigón reforzado con fibra de vidrio en comparación con el hormigón convencional, considerando parámetros como la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y el comportamiento frente a la fisuración.
- II. Analizar el impacto ambiental positivo del uso de fibra de vidrio en el hormigón.
- III. Determinar la viabilidad técnica del hormigón con fibra de vidrio, considerando su capacidad para reducir el desperdicio de materiales.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

El marco teórico de esta investigación tiene como objetivo establecer las bases conceptuales para comparar el hormigón convencional (HC) y el hormigón reforzado con fibra de vidrio (HRFV) en el contexto de pavimentos vehiculares.

2.1 Hormigón Convencional

El hormigón convencional es uno de los materiales más utilizados en la construcción, especialmente en aplicaciones donde se requiere alta resistencia a la compresión. Su combinación de cemento, agua, agregados finos y gruesos, y a veces aditivos opcionales le otorgan propiedades que lo hacen ideal para una variedad de aplicaciones. Sin embargo, debido a su naturaleza, presenta algunas limitaciones que impactan su desempeño en proyectos como pavimentos vehiculares. A continuación, se desarrollan de manera más detallada las características, propiedades y limitaciones del hormigón convencional.

2.2 Características Generales

El hormigón convencional es un material compuesto, lo que significa que su resistencia depende en gran medida de los componentes que lo conforman. En términos generales, la resistencia a la compresión es su principal ventaja, ya que es capaz de soportar grandes cargas sin colapsar. Es versátil en cuanto a formas y tamaños, permitiendo su uso en una amplia variedad de

estructuras, incluyendo puentes y pavimentos vehiculares. Sin embargo, su capacidad para resistir esfuerzos de tracción es limitada, lo que lo convierte en un material que no es ideal para estructuras que deben soportar cargas tensionales o fluctuaciones térmicas.

2.3 Resistencia a la Compresión

El hormigón convencional es reconocido por su alta resistencia a la compresión, lo que lo convierte en el material de elección para estructuras que deben soportar grandes fuerzas de compresión. La resistencia a la compresión del hormigón se ve influenciada por la relación agua-cemento, que determina la densidad del material y la resistencia final que puede alcanzar (Mehta & Monteiro, 2014). Esta propiedad es especialmente útil en pavimentos vehiculares, ya que las cargas pesadas de los vehículos afectan principalmente a la compresión del material.

2.4 Resistencia a la Flexión

Un ensayo de flexión es una técnica empleada para evaluar la resistencia de los materiales frente a cargas de flexión, además de otras propiedades relevantes que son fundamentales en el desarrollo e innovación de nuevos materiales. Research, I. (2022, 16 mayo).

Dependiendo del número de puntos de carga y del tipo de apoyo utilizado en la muestra, este ensayo puede clasificarse en las siguientes modalidades:

- Ensayo de flexión con un solo punto de carga.
- Ensayo de flexión con tres puntos de carga.
- Ensayo de flexión con cuatro puntos de carga.

El propósito principal de estos ensayos es analizar el comportamiento del material bajo condiciones de flexión, evaluando la tensión generada en su eje.

2.5 Versatilidad

El hormigón convencional puede adaptarse a diversas formas y configuraciones, desde losas simples hasta estructuras más complejas, gracias a su capacidad para ser moldeado en diferentes geometrías ya sea en carreteras o estructuras como represas o edificios. Además, es compatible con una variedad de aditivos que pueden mejorar características como la trabajabilidad, el tiempo de fraguado o la durabilidad.

2.6 Propiedades Mecánicas

2.6.1 Resistencia a la Tracción

Aunque el hormigón convencional es fuerte en términos de compresión, su resistencia a la tracción es relativamente baja. Este fenómeno se debe a la naturaleza interna del material, que no está diseñado para resistir esfuerzos tensionales sin sufrir fracturas. En la práctica, esto significa que el hormigón convencional tiene una tendencia a fisurarse bajo condiciones de carga cíclica o tensional, lo que lo hace vulnerable a fisuración bajo ciertos tipos de esfuerzo. Esta limitación puede ser particularmente perjudicial en pavimentos vehiculares, donde el tráfico constante genera cargas cíclicas y variaciones térmicas que pueden provocar grietas.

2.6.2 Fragilidad

El hormigón convencional es un material frágil, lo que significa que no tiene una gran capacidad de deformación antes de romperse. Esta fragilidad se debe a la falta de ductilidad, lo que implica que el material no puede absorber grandes cantidades de energía antes de fallar. En las estructuras de pavimentos vehiculares, esta característica puede ser problemática, ya que las cargas

dinámicas (vehículos en movimiento) y las fluctuaciones térmicas pueden generar tensiones concentradas en puntos específicos, resultando en la propagación de fisuras (Mindess et al., 2003).

2.6.3 Ductilidad

La ductilidad del hormigón convencional es limitada. Esto significa que antes de que el material falle, experimenta poca deformación. En estructuras donde se espera que el material se adapte a cargas dinámicas o variaciones térmicas (como los pavimentos vehiculares), la falta de ductilidad puede ocasionar problemas de fisuración y deterioro prematuro del pavimento (Mehta & Monteiro, 2014).

2.7 Limitaciones en Pavimentos Vehiculares

Las limitaciones del hormigón convencional en pavimentos vehiculares son notorias, y se deben a las características inherentes de este material. A pesar de ser fuerte en compresión, el comportamiento del hormigón frente a cargas dinámicas, cíclicas y tensionales puede generar problemas a largo plazo.

2.7.1 Fisuración y Mantenimiento

Una de las principales preocupaciones con el hormigón convencional es su tendencia a la fisuración, que puede resultar en la aparición de grietas, lo que compromete su durabilidad. La fisuración puede ser provocada por esfuerzos térmicos, retracción del material durante el fraguado, cargas cíclicas o el paso continuo de vehículos pesados. Estas fisuras, además de afectar la estética, pueden permitir la penetración de agua y agentes contaminantes, lo que acelera el proceso de deterioro y requiere mantenimiento frecuente para preservar las propiedades del pavimento.

2.7.2 Espesor de la Losa y Consumo de Material

Debido a su baja resistencia a la tracción, el hormigón convencional en pavimentos vehiculares requiere un mayor espesor de losas para soportar las cargas y evitar la aparición de fisuras. Este incremento en el espesor de la losa implica un mayor consumo de material, lo que se traduce en costos elevados tanto de construcción como de transporte. Además, el mayor grosor de las losas también genera un aumento en los tiempos de construcción y en el consumo de energía durante la fabricación del material.

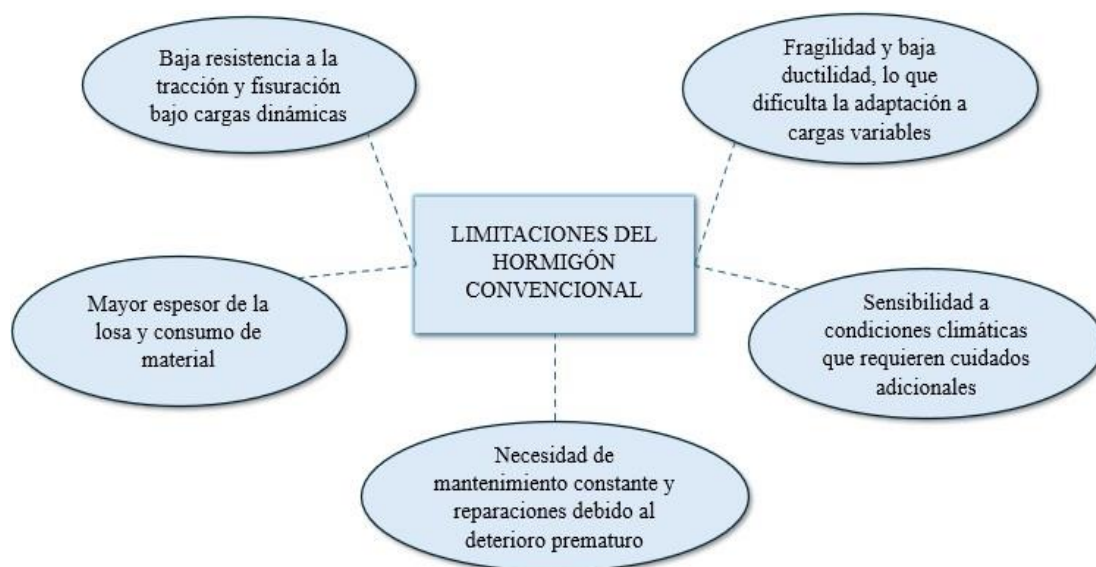
2.7.3 Mantenimiento y Costo a Largo Plazo

El mantenimiento de pavimentos contruidos con hormigón convencional puede ser costoso debido a la necesidad de realizar reparaciones periódicas ante la aparición de fisuras o desgaste. El costo de ciclo de vida del pavimento es, por lo tanto, mayor, ya que se requieren intervenciones continuas para garantizar su funcionalidad. Estas reparaciones no solo afectan el presupuesto de mantenimiento, sino también la disponibilidad del pavimento para el tránsito vehicular, lo que podría resultar en interrupciones y molestias para los usuarios.

2.7.4 Sensibilidad a Condiciones Ambientales

El hormigón convencional es sensible a los cambios térmicos y la humedad. Las variaciones térmicas pueden generar esfuerzos internos que resultan en fisuración por retracción térmica o expansión por hinchazón. Además, en climas fríos, el hormigón convencional es susceptible a los efectos del congelamiento y descongelamiento, lo que puede comprometer su integridad estructural si no se le han aplicado los tratamientos adecuados o no está formulado con aditivos que mejoren su resistencia a los ciclos de congelación (Das, 2014).

Figura 1: Limitaciones del Hormigón Convencional



Nota: Mapa conceptual sobre las limitaciones del hormigón convencional.

Fuente: Autor

2.8 Hormigón Reforzado con Fibra de Vidrio (HRFV)

Figura 2: Hormigón con fibra de Vidrio



Nota: Muestra representativa de un hormigón incorporado con fibra de vidrio

2.8.1 Introducción

El HRFV es una evolución del hormigón convencional que busca superar las limitaciones inherentes al material, especialmente su baja resistencia a la tracción, fragilidad, y susceptibilidad a fisuras. Este material incorpora fibras de vidrio distribuidas uniformemente dentro de la matriz cementicia, actuando como un refuerzo tridimensional que mejora significativamente el comportamiento mecánico y estructural del hormigón.

2.8.2 Características de las Fibras de Vidrio

Las fibras de vidrio han sido ampliamente estudiadas como un componente de refuerzo en materiales compuestos debido a su alta resistencia y durabilidad. Se caracterizan por las siguientes propiedades:

Alta resistencia a la tracción en el cual las fibras de vidrio tienen una resistencia a la tracción que puede alcanzar valores entre 1,700 y 3,400 MPa (ACI Committee 544, 2010). Esto es considerablemente superior a los valores de resistencia del hormigón convencional, lo que mejora la capacidad del material compuesto para resistir cargas de tracción y flexión. Con valores que oscilan entre 70 y 80 GPa, las fibras de vidrio aportan rigidez a la matriz cementicia, lo que mejora su desempeño frente a cargas dinámicas y esfuerzos repetitivos, típicos de pavimentos vehiculares sometidos al tránsito constante (Bentur & Mindess, 2006).

A diferencia del acero, las fibras de vidrio no son susceptibles a la oxidación, lo que las convierte en una solución ideal para entornos agresivos, como pavimentos en zonas costeras o expuestos a sales descongelantes. Esto aumenta considerablemente la durabilidad del hormigón reforzado (Mehta & Monteiro, 2014). Susceptibilidad al ataque alcalino un desafío del uso de fibras de vidrio en hormigón es la degradación química causada por los álcalis presentes en la matriz cementicia. Este problema se ha mitigado mediante el desarrollo de fibras resistentes a los álcalis (AR-glass), que incorporan óxidos de zirconio para reducir el deterioro a largo plazo (Shah & Ahmad, 2010).

2.8.3 Especificaciones técnicas sobre la fibra de vidrio

El E Glass Chopped Strand Mat 375 g/m² (Código de Producto: E-MC-375) es un material compuesto diseñado para ser utilizado principalmente en procesos de laminación manual. Está formado por fibras de vidrio E Glass cortadas en segmentos de 50 mm de longitud, distribuidas uniformemente y unidas con un aglutinante de poliéster.

Tabla 1: Especificaciones Técnicas de la Fibra de Vidrio

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
	PORCENTAJE	NORMA
CONTENIDO DE HUMEDAD	≤ 0.2%.	ISO 3374-2000
CONTENIDO DE AGLUTINANTE	2.60%	ISO 3344-1997
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	Mín. 130 N	ISO 1887-1995 e ISO 3342-1995

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

	PESO	
<i>UNIFORMIDAD DE PESO</i>	375g/m ²	Tolerancia de -5% a +10%

Fuente: Autor

Estas propiedades hacen que el E Glass Chopped Strand Mat 375 g/m² sea adecuado para aplicaciones donde se requiera un material versátil, moldeable y con una resistencia mecánica aceptable.

2.9 Propiedades Mecánicas del HRFV

El HRFV presenta mejoras significativas en comparación con el hormigón convencional en términos de propiedades mecánicas, lo que lo hace especialmente adecuado para pavimentos vehiculares. La incorporación de fibras de vidrio incrementa la resistencia a la tracción del hormigón hasta en un 50 %, dependiendo de la dosificación y tipo de fibra utilizada (Neville, 2011).

Esto reduce la formación de fisuras y mejora la capacidad del material para resistir tensiones inducidas por cargas dinámicas y cambios térmicos. Además, estudios han demostrado que el HRFV puede aumentar la resistencia a la flexión del hormigón entre un 25 % y un 75 %, dependiendo de la cantidad de fibras añadidas (ACI Committee 544, 2010).

Las fibras de vidrio actúan como puentes en las fisuras que se forman en la matriz cementicia, limitando su propagación y tamaño.

Este mecanismo mejora la durabilidad del hormigón al prevenir el ingreso de agua y agentes químicos que podrían acelerar su degradación (Bentur & Mindess, 2006). El HRFV presenta un comportamiento más dúctil que el hormigón convencional, lo que le permite deformarse sin fracturarse de manera catastrófica. Esto es esencial en aplicaciones como pavimentos vehiculares, donde las cargas dinámicas y los impactos son comunes. Debido a la capacidad de las fibras para absorber y distribuir energía, el HRFV muestra una resistencia superior a los impactos en comparación con el hormigón convencional. Esto reduce el riesgo de formación de grietas por golpes o cargas puntuales (Mehta & Monteiro, 2014).

2.10 Ventajas del HRFV en Pavimentos Vehiculares

El HRFV ofrece ventajas sustanciales en el diseño y desempeño de pavimentos vehiculares:

- Gracias a su mayor resistencia a la tracción y flexión, las losas de HRFV pueden diseñarse con espesores menores, lo que reduce el uso de materiales y los costos de construcción inicial (ACI Committee 544, 2010).
- La combinación de resistencia a la corrosión y control de fisuración prolonga la vida útil de los pavimentos contruidos con HRFV. Esto es particularmente relevante en entornos agresivos, como zonas industriales o áreas con alto contenido de sulfatos en el suelo (Neville, 2011).
- El HRFV es capaz de soportar mejor los esfuerzos inducidos por el tráfico pesado y las variaciones térmicas, lo que lo convierte en una opción confiable para carreteras con alto flujo vehicular (Das, 2014).

Las propiedades mecánicas y la durabilidad del HRFV reducen significativamente los costos de mantenimiento a largo plazo, compensando así los mayores costos iniciales de construcción.

2.11 Limitaciones y Retos del HRFV

A pesar de sus ventajas, el HRFV enfrenta ciertos desafíos que deben considerarse:

- El costo de las fibras de vidrio, especialmente las resistentes a los álcalis, puede incrementar significativamente el precio del hormigón en comparación con las mezclas convencionales.
- La dosificación precisa y la distribución uniforme de las fibras en la matriz requieren técnicas de mezclado y control de calidad rigurosas para garantizar un desempeño óptimo.
- Aunque las fibras AR-glass mitigan este problema, su efectividad puede verse limitada en ambientes extremadamente agresivos o en mezclas con alta alcalinidad.
- La producción y distribución de fibras de vidrio resistentes a los álcalis no es uniforme a nivel global, lo que limita su accesibilidad en algunos países.

2.12 Comparación entre hormigón convencional y uno reforzado con fibra de vidrio

La comparación entre el hormigón convencional (HC) y el hormigón reforzado con fibra de vidrio (HRFV) se centra en cómo cada uno de estos materiales se comporta en pavimentos vehiculares. Mientras que ambos ofrecen propiedades como resistencia a la compresión, el comportamiento frente a las cargas dinámicas, la durabilidad, y la sostenibilidad son factores clave que los diferencian. A continuación, se amplían las diferencias y similitudes entre estos dos materiales a través de una serie de propiedades mecánicas y de desempeño relevantes para el uso en pavimentos vehiculares.

Aunque los registros históricos demuestran que los propios romanos ya utilizaban crines de caballos para reducir las fisuras y grietas de sus estructuras, la incorporación de fibras en la mezcla del hormigón, sin necesidad de armaduras, comenzó a ser probada hace unos 50 años en Europa. Fibras naturales, metálicas (de acero), sintéticas (polímeros) y minerales (carbono o vidrio) son las utilizadas para este fin. Ellas actúan en el concreto para controlar las grietas debido a la retracción plástica y el secado, además de reducir la permeabilidad del concreto. Cuando la estructura sufre la acción de cargas externas, cambios en la temperatura o humedad del ambiente, las fibras no permiten que las fisuras crezcan demasiado, atravesando y creando micro refuerzos estructurales. En resumen, las fibras mejoran sustancialmente el comportamiento de los hormigones y morteros frente a las tensiones de tracción y cizalle, en las cuales el concreto normalmente presenta una baja resistencia.

2.13 Resistencia a la Compresión

El hormigón convencional es conocido por su alta resistencia a la compresión. Este material puede resistir grandes cargas de compresión gracias a la combinación de cemento, agua y agregados, con la relación agua-cemento siendo un factor determinante en la calidad del material. Aunque su resistencia a la compresión es generalmente superior a la de muchos materiales de construcción, esta propiedad no es suficiente para pavimentos que deben soportar cargas dinámicas y fluctuaciones térmicas (Mehta & Monteiro, 2014).

El HRFV mantiene una resistencia a la compresión similar al hormigón convencional, ya que la fibra de vidrio no modifica sustancialmente las características básicas de la mezcla. Sin embargo, la verdadera ventaja del HRFV radica en su capacidad para distribuir las tensiones, lo que permite que las fibras refuercen el material frente a los esfuerzos tensionales y dinámicos.

Esta distribución de esfuerzos mejora la capacidad del material para manejar fluctuaciones térmicas y cargas cíclicas, que son comunes en pavimentos vehiculares.

2.14 Resistencia a la Flexión

La resistencia a la flexión del hormigón convencional es baja debido a su tendencia a fisurarse bajo esfuerzos de flexión. Esta propiedad es crítica en pavimentos vehiculares, donde las fuerzas aplicadas no son únicamente compresivas, sino también flexionales, debido al paso de vehículos. En este sentido, el hormigón convencional no es el material más adecuado para pavimentos que deben soportar cargas dinámicas y de flexión repetidas (Mehta & Monteiro, 2014).

En contraste, el HRFV mejora sustancialmente la resistencia a la flexión. Las fibras de vidrio permiten que el material se comporte de forma más dúctil bajo esfuerzos flexionales, lo que reduce la propagación de fisuras y mejora la capacidad del pavimento para resistir esfuerzos dinámicos y repetidos. Esta mejora es especialmente valiosa en pavimentos vehiculares expuestos a cargas dinámicas y tráfico pesado (Bentur & Mindess, 2006).

2.15 Ductilidad

La ductilidad del hormigón convencional es baja, lo que significa que el material no es capaz de soportar grandes deformaciones antes de fracturarse. Esta falta de ductilidad lo hace susceptible a fallos abruptos cuando se somete a cargas dinámicas o variaciones térmicas. En pavimentos vehiculares, donde los esfuerzos son constantes y las condiciones de carga cambian, la baja ductilidad es un inconveniente considerable, ya que el material puede fallar de forma inesperada (Das, 2014).

La adición de fibras de vidrio mejora significativamente la ductilidad del HRFV. El HRFV es capaz de deformarse más antes de fallar, lo que lo hace más adaptable a las variaciones térmicas y las cargas cíclicas generadas por el tráfico vehicular. Esta mejora en la ductilidad también significa que el material tiene mayor capacidad para absorber energía y resistir impactos, lo que reduce el riesgo de fallos estructurales abruptos bajo condiciones extremas (Bentur & Mindess, 2006).

2.16 Resistencia al Impacto

La resistencia al impacto del hormigón convencional es baja debido a su naturaleza frágil y a la falta de refuerzo en su estructura interna. Los impactos generados por el paso de vehículos pesados, especialmente durante frenadas o cambios rápidos de dirección, pueden generar fisuras y daños estructurales en el pavimento. El hormigón convencional no tiene una alta capacidad para manejar este tipo de esfuerzos dinámicos sin comprometerse (Mindess et al., 2003).

El HRFV mejora notablemente la resistencia al impacto debido a la capacidad de las fibras de vidrio para distribuir las tensiones internas de manera más uniforme y controlar la propagación de fisuras. Las fibras de vidrio proporcionan una fortaleza adicional al pavimento, lo que permite que el HRFV soporte impactos sin comprometer su integridad estructural. Esta propiedad es especialmente útil para pavimentos vehiculares expuestos a condiciones de tráfico intensivo, donde los impactos repetidos pueden generar daños significativos (ACI Committee 544, 2010).

2.17 Durabilidad

La durabilidad del hormigón convencional está influenciada por varios factores, incluyendo la corrosión del refuerzo de acero, la fisuración por retracción o expansión térmica, y el desgaste causado por acciones ambientales. El hormigón convencional puede ser vulnerable a la penetración de agua y agentes agresivos que aceleran su deterioro. Este comportamiento requiere mantenimiento constante y reparaciones periódicas, lo que aumenta los costos de ciclo de vida y la frecuencia de mantenimiento de pavimentos vehiculares (Neville, 2011).

El HRFV tiene una mayor durabilidad en comparación con el hormigón convencional

debido a las propiedades anticorrosivas de las fibras de vidrio, que no sufren corrosión como el acero. Además, el refuerzo proporcionado por las fibras mejora la capacidad del HRFV para resistir fisuración y desgaste causado por cargas dinámicas. En ambientes agresivos, como áreas expuestas a sales de deshielo o ambientes marinos, el HRFV presenta una mejor resistencia a la corrosión y un rendimiento superior a largo plazo (Neville, 2011).

2.18 Espesor de la Losa y Consumo de Material

Para compensar su baja resistencia a la tracción y flexión, el hormigón convencional requiere un mayor espesor de losa en pavimentos vehiculares. Este aumento en el espesor no solo incrementa el uso de materiales, sino también los costos de construcción y transporte. Además, el mayor grosor de las losas implica una mayor huella ambiental, ya que se emplean más recursos para la fabricación de cemento, lo que contribuye a mayores emisiones de CO₂.

En contraste, el HRFV permite la reducción del espesor de la losa, ya que la adición de fibras de vidrio mejora considerablemente las propiedades mecánicas del material, lo que permite que el pavimento sea más delgado sin comprometer su rendimiento. Esta reducción en el espesor no solo disminuye el consumo de materiales, sino que también reduce los costos y la huella ambiental, lo que hace al HRFV una opción más sostenible y económicamente viable a largo plazo (Das, 2014).

2.19 Costo Inicial y Mantenimiento

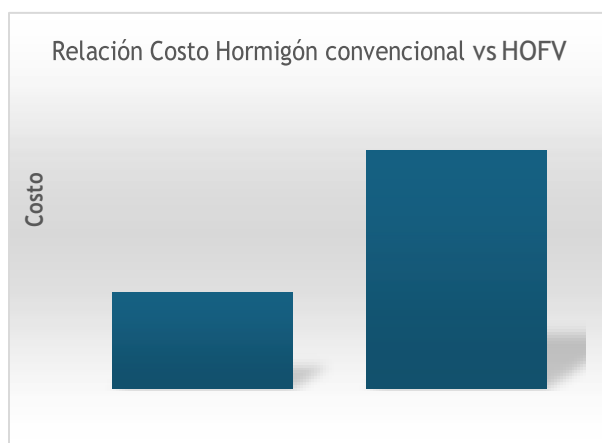
El costo inicial del hormigón hidráulico convencional es relativamente bajo en comparación con el HRFV, debido a que no requiere de materiales adicionales como las fibras de vidrio. Sin embargo, debido a su mayor frecuencia de mantenimiento y reparaciones constantes, el costo total a largo plazo es significativamente mayor (Mehta & Monteiro, 2014).

Cabe recalcar que, para este estudio, solo se ha considerado Hormigón Convencional, no incluye ACERO DE REFUERZO, donde ahí si influye el costo por m³.

Barra 1. Costo por m³ Hormigón Convencional.

Barra 2. Costo por m³ incluye Fibra de vidrio. (Valor tomado de APU M.I Municipalidad de Guayaquil/2022)

Figura 3: Cuadro comparativo de costos de hormigones



Fuente: Autor

Aunque el HRFV tiene un costo inicial relativamente alto debido a las fibras de vidrio, este material reduce drásticamente los costos de mantenimiento y reparaciones a lo largo de su vida útil. Esto hace que el HRFV sea una opción más rentable y sostenible a largo plazo, especialmente cuando se considera el ahorro en mantenimiento y la reducción en el espesor de la losa (ACI Committee 544, 2010)

2.20 Justificación del Estudio

El estudio de la comparación entre el hormigón convencional (HC) y el hormigón reforzado con fibra de vidrio (HRFV) es fundamental para determinar la viabilidad técnica, económica y ambiental de utilizar HRFV en pavimentos vehiculares en lugar del tradicional hormigón convencional. Dado el contexto de la construcción de infraestructura, en particular los pavimentos vehiculares que deben soportar cargas dinámicas y condiciones ambientales agresivas, la necesidad de materiales más eficientes y sostenibles se vuelve una prioridad. Este estudio justifica la investigación por diversas razones, que a continuación se detallan.

2.21 Superación de las Limitaciones del Hormigón Convencional

Uno de los motivos más importantes para llevar a cabo esta investigación es la limitación estructural y funcional que presenta el hormigón convencional en ciertas aplicaciones, especialmente en pavimentos vehiculares.

El hormigón convencional es reconocido por su alta resistencia a la compresión, pero presenta deficiencias críticas, como su baja resistencia a la tracción y flexión, que lo hacen susceptible a la fisuración bajo cargas repetidas y dinámicas.

Esta falta de resistencia frente a cargas cíclicas y dinámicas genera que se necesite un mayor espesor de la losa para compensar estas deficiencias, lo que aumenta tanto el costo como el consumo de materiales (Das, 2014). El uso de hormigón reforzado con fibra de vidrio (HRFV) se presenta como una alternativa prometedora para superar estas limitaciones. La adición de fibras de vidrio mejora significativamente las propiedades mecánicas, como la resistencia a la tracción, la ductilidad, la resistencia al impacto, y la resistencia a la fisuración, características cruciales para pavimentos que deben soportar las cargas y tensiones del tráfico vehicular. Esta mejora en las propiedades del material permite reducir el espesor de las losas, lo que a su vez disminuye los costos de materiales y construcción, generando una solución más eficiente y económica.

2.22 Potencial Sostenibilidad y Reducción del Impacto Ambiental

El uso de HRFV también tiene un impacto significativo en términos de sostenibilidad ambiental. El hormigón convencional requiere grandes cantidades de cemento, un material cuya producción es una de las principales fuentes de emisiones de CO₂ a nivel global. Además, su durabilidad limitada requiere reparaciones frecuentes, lo que conlleva a la utilización continua de recursos y energía para mantener la infraestructura, generando un impacto ambiental constante.

En cambio, el HRFV permite una reducción en el espesor de las losas de pavimento sin comprometer el desempeño estructural, lo que implica un menor uso de cemento y, por ende, una reducción de las emisiones asociadas con la producción de este material. Además, las fibras de vidrio no requieren el mismo tipo de mantenimiento frecuente que el acero en hormigón convencional, lo que reduce los costos y el consumo de recursos a largo plazo. Esto posiciona al HRFV como una alternativa más sostenible desde el punto de vista ambiental, al disminuir la huella de carbono asociada con la construcción de pavimentos vehiculares.

2.23 Mejora en la Durabilidad y Reducción de Costos de Mantenimiento

La durabilidad de los pavimentos es un factor crítico para la viabilidad económica de las infraestructuras. El hormigón convencional está expuesto a riesgos de fisuración debido a la retracción, a la corrosión del acero de refuerzo, y a la penetración de agentes agresivos (como las sales de deshielo o agua salina), lo que requiere mantenimiento frecuente y costoso. Estos costos no solo afectan el presupuesto inicial de la construcción, sino también el ciclo de vida completo del pavimento (Mehta & Monteiro, 2014).

El HRFV, al incorporar fibras de vidrio, presenta una mayor resistencia a la corrosión, lo que mejora considerablemente la durabilidad del material. Las fibras de vidrio no se ven afectadas por la oxidación, lo que elimina uno de los problemas clave del hormigón convencional, que es la corrosión del acero. Además, la distribución uniforme de las fibras mejora la capacidad del material para resistir cargas dinámicas y repetidas, lo que reduce las posibilidades de fisuración prematura. Como resultado, los pavimentos contruidos con HRFV requieren menos mantenimiento a lo largo de su vida útil, lo que se traduce en ahorros sustanciales para los propietarios y operadores de las infraestructuras viales.

2.24 Relevancia para la Innovación en la Construcción de Pavimentos Vehiculares

Cabe recalcar que la presente tesis tiene una gran relevancia en el contexto de la innovación en materiales de construcción, específicamente en la mejora de la calidad y la eficiencia de los pavimentos vehiculares. La investigación comparativa entre el hormigón convencional y el hormigón reforzado con fibra de vidrio (HRFV) ofrece una oportunidad para innovar en la ingeniería de pavimentos, buscando soluciones que no solo sean técnicamente viables, sino que también sean económicamente rentables y ambientalmente sostenibles.

A medida que las ciudades y las infraestructuras viales crecen y se someten a una presión creciente debido al aumento del tráfico y a las condiciones climáticas extremas, es esencial explorar nuevas tecnologías y materiales que puedan ofrecer soluciones duraderas y de bajo costo para el futuro de la infraestructura vial. Este estudio contribuye al avance de la tecnología de pavimentos, proporcionando una base para el uso de materiales innovadores como el HRFV, que tiene el potencial de revolucionar la industria de la construcción de pavimentos vehiculares.

2.25 Clasificación de tipos de pavimentos

La infraestructura vial es un componente fundamental del desarrollo urbano y rural, desempeñando un papel crucial en la movilidad y la conectividad de las comunidades. Dentro de esta infraestructura, los pavimentos vehiculares son elementos clave que determinan la calidad, seguridad y durabilidad de las vías. Existen diversas clasificaciones de pavimentos, cada una diseñada para satisfacer requerimientos específicos de carga, clima y uso. Entre los tipos más comunes se encuentran los pavimentos flexibles, semirrígidos, rígidos y articulados, cada uno con

características distintivas que influyen en su comportamiento y rendimiento a lo largo del tiempo. Este estudio tiene como objetivo analizar las propiedades, ventajas y desventajas de cada tipo de pavimento, así como sus aplicaciones en diferentes contextos, con el fin de proporcionar una comprensión integral que facilite la toma de decisiones en el diseño y mantenimiento de infraestructuras viales. A través de esta investigación, se busca contribuir al conocimiento existente en el campo de la ingeniería civil y ofrecer recomendaciones prácticas para la selección adecuada de pavimentos según las necesidades específicas de cada proyecto.

2.26 Pavimentos Flexibles - Asfáltico

Los pavimentos flexibles son como una almohadilla para las ruedas de los vehículos, ya que se deforman bajo la carga, lo que permite que las tensiones se distribuyan a través de las diferentes capas que los componen. Su estructura está formada por varias capas: la capa de rodadura, que generalmente está hecha de mezclas asfálticas y proporciona una superficie lisa y resistente al desgaste; la capa de base, compuesta por materiales granulares que ayudan a soportar las cargas y a distribuir las hacia el suelo; y, por último, una capa de subbase que ofrece soporte adicional y mejora el drenaje (Huang, 2004; Neville, 2011).

Entre las ventajas de los pavimentos flexibles, destacan su menor costo inicial en comparación con los pavimentos rígidos, la facilidad de reparación y el menor tiempo de construcción. Sin embargo, hay que tener en cuenta que pueden requerir un mantenimiento más frecuente y su vida útil es generalmente menor (ACI Committee 318, 2019; Mindess, Young, & Darwin, 2003). Por lo general, se utilizan en carreteras, calles urbanas y zonas con tráfico ligero a moderado.

Figura 4: Pavimento Asfáltico



Fuente: Natural (2021, 23 Marzo)

2.26.1 Usos

El pavimento asfáltico destaca por su versatilidad y amplia gama de aplicaciones, siendo su uso más común la construcción de carreteras y caminos debido a su bajo costo, rapidez de instalación y alta resistencia al tránsito vehicular y peatonal. Su durabilidad frente a condiciones ambientales adversas lo hace ideal para espacios expuestos a la intemperie, mientras que su facilidad de mantenimiento y reparación permite prolongar su vida útil con intervenciones mínimas y de bajo costo. Además, su rápida ejecución reduce las molestias asociadas a las obras, lo que lo convierte en una opción eficiente para proyectos urbanos, comerciales e industriales que requieren superficies resistentes y de implementación ágil.

2.27 Pavimento Semirrígido

Por otro lado, el pavimento semirrígido combina lo mejor de los pavimentos flexibles y rígidos, ofreciendo una solución intermedia. Su estructura incluye una capa de rodadura que puede ser de concreto asfáltico o de mezclas estabilizadas, y una base estabilizada con cemento y materiales granulares que aportan tanto rigidez como flexibilidad (Domone & Illston, 2010).

Entre sus ventajas, se encuentra una mejor capacidad de carga en comparación con los pavimentos flexibles, así como una menor deformación bajo cargas pesadas y un buen comportamiento ante cambios de temperatura. No obstante, su costo inicial es más alto y requiere un diseño cuidadoso para garantizar su durabilidad. Este tipo de pavimento se emplea comúnmente en carreteras de tráfico moderado a pesado, aeropuertos y zonas industriales (Kosmatka, Kerkhoff, & Panarese, 2002).

Figura 5: Pavimento Semirrígido



Fuente: Corporación Faprial (2022)

2.28 Pavimentos Rígidos

En cuanto a los pavimentos rígidos, estos utilizan losas de concreto que son capaces de soportar cargas pesadas sin deformarse de manera significativa. Su estructura está formada por losas de espesor variable, diseñadas para resistir las tensiones generadas por el tráfico, además de contar con una capa de subbase que proporciona soporte y ayuda en el drenaje. Estos pavimentos son altamente durables y resistentes a la deformación, y requieren menos mantenimiento a lo largo del tiempo. Sin embargo, su construcción suele ser más costosa y las reparaciones pueden resultar complicadas (ACI Committee 318, 2019; Neville, 2011).

Las losas de concreto se fabrican con una combinación de cemento Portland, agregados como arena, grava o piedra triturada y agua, en proporciones específicas que garantizan la resistencia y durabilidad necesarias. En algunos casos, se incorporan refuerzos de acero, como mallas o barras, para mejorar la capacidad del concreto frente a esfuerzos de flexión y minimizar la aparición de grietas (Pérez et al., 2020).

El espesor de estas losas varía dependiendo del tipo de aplicación y del nivel de carga que deberán soportar. En el caso de carreteras con alto flujo vehicular y aeropuertos, el grosor de las losas suele ser mayor, ya que se requiere una estructura capaz de soportar grandes pesos. En general, el espesor puede situarse entre los 20 y 30 centímetros o incluso superar estas medidas en aplicaciones más exigentes (González & Ramírez, 2018).

Dado que el concreto es un material que experimenta dilataciones y contracciones debido a los cambios de temperatura, es necesario prever juntas de expansión y contracción. Estas juntas cumplen la función de permitir los movimientos del material sin que se generen grietas incontroladas, contribuyendo así a la estabilidad y durabilidad del pavimento (López, 2019).

El acabado de la superficie de las losas de concreto se elige en función del uso que se les dará. En algunos casos, se opta por un acabado rugoso para mejorar la adherencia y evitar deslizamientos, mientras que en otros se prefiere un acabado más liso para optimizar la estética y la comodidad al transitar sobre la superficie (Rodríguez & Martínez, 2021).

La calidad del concreto es un aspecto fundamental, ya que de ella depende la vida útil del pavimento. Para garantizar un buen desempeño a lo largo del tiempo, el concreto debe cumplir con estándares de resistencia, densidad y durabilidad, evitando problemas como fisuras prematuras o desgaste acelerado debido al uso constante y las condiciones climáticas (Asociación de Pavimentos de Concreto, 2022).

El pavimento rígido tiene una gran variedad de aplicaciones debido a su capacidad para resistir cargas elevadas y su larga vida útil. Se utiliza ampliamente en carreteras y autopistas, ya que puede soportar el tránsito constante de vehículos sin deteriorarse rápidamente. También es la opción preferida en aeropuertos, donde las pistas de aterrizaje y rodaje deben resistir el peso de aeronaves de gran tamaño sin perder estabilidad ni sufrir deformaciones (Ministerio de Infraestructura y Transporte, 2023).

En entornos portuarios y terminales marítimas, el concreto es fundamental para garantizar una base resistente que soporte la maquinaria de carga y descarga, así como el paso de camiones de gran tonelaje. De igual manera, en estacionamientos de gran afluencia, como los de centros comerciales, hospitales o aeropuertos, este tipo de pavimento es ampliamente utilizado debido a su resistencia al tráfico constante y su baja necesidad de mantenimiento (Fernández & Castillo, 2020).

En zonas rurales y agrícolas, las losas de concreto se emplean en caminos que requieren una superficie duradera capaz de resistir el tránsito de maquinaria y vehículos de carga. Además, en la construcción de puentes, este material se utiliza para garantizar una capa de rodadura resistente y estable (Organización de Carreteras y Pavimentos, 2021).

El uso de pavimento rígido no se limita solo a vías de tránsito vehicular, sino que también es común en espacios urbanos como ciclovías y senderos peatonales, donde su durabilidad es clave para mantener la superficie en buenas condiciones a lo largo del tiempo. Asimismo, en instalaciones deportivas, como canchas de tenis o pistas de patinaje, se emplea concreto por su capacidad de soportar el desgaste generado por el uso continuo (Instituto de Ingeniería Civil, 2022).

Figura 6: Pavimento Rígido



Fuente: Engenharia, W. (2023,22 abril)

En almacenes y centros logísticos, el pavimento de concreto es indispensable para proporcionar una base resistente que soporte el peso de montacargas y camiones de carga sin deteriorarse rápidamente. (Díaz et al., 2023).

2.29 Pavimentos Articulados

Finalmente, los pavimentos articulados están compuestos por bloques que se ensamblan de tal manera que permiten cierto movimiento entre ellos, ayudando a distribuir las cargas. Su estructura incluye bloques de pavimento, que pueden ser de concreto, ladrillo o piedra natural, además de una base granular que proporciona soporte y drenaje (Mindess, Young, & Darwin, 2003). Entre sus ventajas se encuentran un excelente drenaje, la facilidad de reparación y un diseño estéticamente atractivo. Sin embargo, requieren un mantenimiento regular y no son ideales para soportar tráfico muy pesado. Se utilizan en áreas peatonales, plazas, caminos de acceso y en algunas carreteras de bajo tráfico (Huang, 2004).

Figura 7: Pavimentos Articulados



Fuente: Dolmen (2023,8 octubre)

2.30 Alineación con Objetivos Globales de Sostenibilidad

Este trabajo está destinado a concientizar sobre los objetivos de sostenibilidad, establecidos en diversas políticas y acuerdos internacionales, como la Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible. La construcción de infraestructuras más sostenibles y resilientes es un objetivo clave para mitigar los impactos del cambio climático y promover el uso eficiente de recursos. El uso de materiales más duraderos y con menor impacto ambiental, como el Hormigón reforzado con fibra de vidrio, contribuye directamente a la consecución de estos objetivos y apoya la transición hacia infraestructuras con un impacto ambiental más positivo.

2.31 Impacto Ambiental

La fibra de vidrio es un material con propiedades sobresalientes, ya que posee una alta resistencia mecánica, es impermeable, estable, duradero y robusto. Además, no requiere mantenimiento ni reemplazo debido al desgaste u otras razones.

Una de las razones detrás del aumento en su producción es su capacidad para resistir la descomposición. No se ve afectada por las condiciones climáticas, el contacto con productos químicos, factores ambientales ni la acción de microorganismos.

Aunque los materiales utilizados en su fabricación, como los polímeros plásticos, podrían considerarse poco amigables con el medio ambiente, la fibra de vidrio se destaca como uno de los productos más sostenibles disponibles en el mercado (Zinco, s.f.).

2.32 La fibra de Vidrio sus ventajas y contras para el Medio Ambiente

En comparación, la huella de carbono de la fibra de vidrio es menor que la asociada a la producción de materiales como el hormigón o el acero. Aunque uno de los componentes de su fabricación es el petróleo crudo refinado, esto contribuye a que sea considerado un material orgánico y ecológico. Ninguno de los procesos implicados en la elaboración de la fibra de vidrio, diseñada para ser resistente y duradera, resulta perjudicial para el medio ambiente.

Otro aspecto importante es que el uso de la fibra de vidrio puede sustituir materiales como los plásticos, cuyos residuos terminan contaminando las aguas superficiales. También se utiliza en depósitos para almacenar y reutilizar el agua de lluvia, garantizando que no se contamine, ya que no contiene elementos que se oxiden, no permite el paso de la luz y evita la proliferación de microorganismos y bacterias.

Además, la fibra de vidrio tiene aplicaciones en el aislamiento térmico de construcciones y, en algunos casos, contiene hasta un 80% de vidrio reciclado. Este material ofrece múltiples ventajas, como el ahorro energético, la reducción de emisiones de CO₂ y la absorción natural del sonido. Incluso en condiciones de humedad, no absorbe ni retiene agua, manteniendo su eficacia y durabilidad (Fividrio, s.f)

CAPÍTULO 3

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente tesis consiste en tener un impacto experimental, ya que se llevó a cabo varias muestras para ver el análisis entre los hormigones, en primer lugar, hay que recalcar los materiales que fueron utilizados para elaborar el hormigón. En nuestro país existen varias industrias que nos proveen con todo tipo de material constructivo para la realización de la presente tesis. Para lo siguiente se realizó la siguiente tabla especificando lo utilizado:

Tabla 2: Tabla de materiales y laboratorio donde se realizó la práctica

<i>MATERIAL</i>	<i>EMPRESA</i>
<i>Arena de río</i>	Novacero, Cantera Holcim Pifo
<i>Piedra 3/4</i>	Novacero, Cantera Huayco Vía a la Costa
<i>Cemento</i>	Holcim S.A.
<i>Fibra de Vidrio</i>	Empresa: Pintulac
<i>Laboratorio</i>	UPS

Fuente: Autor

3.1 Determinación de las propiedades físicas de los agregados para el diseño de mezclas de un hormigón tradicional con fibras de vidrio.

3.1.1 Agregado Grueso

El agregado grueso el cual se utilizó es piedra de la cantera Huayco del Comercial NOVACERO, consta con los siguientes parámetros.

Tabla 3: Características del material agregado grueso

PVS	PVV	DSSS	ABS	M. N
(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	%	
1361	14.85	1990	1.51.	3/8'

Fuente: Autor

Nomenclatura:

- **PVS:** Peso Volumétrico seco
- **PVV:** Peso Volumétrico varillado
- **DSSS:** Densidad Saturado Superficialmente seca
- **ABS:** Porcentaje de absorción
- **TMN:** Tamaño Máximo Nominal

3.1.2 Agregado Fino

El agregado fino de igual manera se utilizó de la cantera de Holcim Pifo del Comercial NOVACERO, consta con los siguientes parámetros:

Tabla 4: Características del material agregado fino

<i>PVS</i> (Kg/cm ²)	<i>DSSS</i> (Kg/cm ²)	<i>ABS</i> %	<i>M.F.</i>
1352,00	1990,00	2,2	3,0

Fuente: Autor

Nomenclatura:

- **PVS:** Peso Volumétrico Seco
- **DSSS:** Densidad Saturada Superficialmente seca
- **ABS:** Porcentaje absorción
- **MF:** Modulo de finura

3.1.3 Tipos de Cemento

Según la norma NTE INEN 2380 tenemos varios tipos de cementos:

3.1.3.1 TIPO GU

Para la construcción en general, se lo debe utilizar cuando no se requiera uno o más de los tipos especiales.

3.1.3.2 TIPO HE

Este tipo de cementos tienden a ser altos en su resistencia inicial.

3.1.3.3 TIPO MS

Es moderado a la resistencia a los sulfatos.

3.1.3.4 TIPO HS

Un cemento el cual es alto a la resistencia a los sulfatos.

3.1.3.5 TIPO MH

Este tipo de cementos es moderado al calor de la hidratación.

3.1.3.6 TIPO LH

Este cemento tiende a ser bajo en calor de hidratación.

3.1.4 Cemento Tipo GU

En la presente tesis se utilizaron dos tipos de marcas de cemento, el cemento tipo GU que fue usado para realizar las vigas de hormigón, proporcionando por la cementera HOLCIM S.A.

Figura 8: Cemento HOLCIM



Fuente: Autor.

3.1.4.1 Especificaciones Técnicas del Cemento Tipo GU HOLCIM

Tabla 5: Características Técnicas del Cemento HOLCIM

<i>Parámetros</i>	<i>Unidad</i>	<i>Tipo</i>
<i>Tiempo de Fraguado</i>	minutos	Mayor de 45-Menor a 420
<i>Resistencia a 7 días</i>	PSI	No menor a 2900
<i>Resistencia a 28 días</i>	PSI	No menor a 4060
<i>Contenido de aire</i>	%	Menor a 12
<i>Calor de Hidratación</i>	kJ/kg (cal/g)	Menor a 335 (80)
<i>MAX 3D (Opcion MH)</i>		
<i>Expansión barras de mortero en agua</i>	%	Menor a 0.02
<i>Expansión a Autoclave</i>	%	Menor a 0.8

Fuente: HOLCIM S.A.

3.1.4.2 Especificaciones Técnicas del Cemento Tipo GU Chimborazo

Tabla 6: Características Técnicas del Cemento Chimborazo

CARACTERÍSTICA TÉCNICA

CEMENTO CHIMBORAZO HIDRÁULICO TIPO GU		
REQUISITOS FÍSICOS	RANGO TÍPICO	NORMA NTE INEN 2380
<i>Expansión en autoclave</i>	0,418	0,80 máx..
<i>Fraguado Vincat Inicial (minuto)</i>	140-160	45 min
<i>Fraguado Vincat Final (minuto)</i>	200-240	420 máx.
Resistencia la compresión	Rango típico	NORMA NTE INEN 2380
<i>3 días</i>	13-16 MPa	13 min. kg/cm ²
<i>7 días</i>	20-25 MPa	20 min. kg/cm ²
<i>28 días</i>	28-30 MPa	28 min. kg/cm ²

Fuente: UCEM-S.A.

3.1.5 Agua

El agua utilizada en las mezclas de hormigón hidráulico debe ser limpia y estar libre de aceites, sulfatos de magnesio, potasio, sodio, materiales orgánicos o cualquier sustancia que pueda perjudicar significativamente las propiedades del hormigón, como su resistencia, trabajabilidad y fluidez. Para esta investigación, se empleó agua proveniente de las tuberías de la red pública de agua potable del cantón Guayaquil.

3.1.6 Fibras

El tipo de fibra que se utilizó para esta investigación es la fibra de vidrio proporcionado por la empresa Comercial PINTULAC ubicada en la ciudad de Guayaquil, el cual se implementó en la elaboración del hormigón con fibras de vidrio. La fibra de vidrio es un material aislante compuesto por múltiples filamentos extremadamente delgados de vidrio. Este material cumple con los estándares establecidos en la norma ASTM C39 (2011).

Tabla 7: Propiedades mecánicas de la Fibra de Vidrio

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>TIPO AR- FIBRA VIDRIO</i>
<i>DENSIDAD</i>	2.56 g/cm ³
<i>RESISTENCIA A LA TENSION (MPa)</i>	4.4 MPa
<i>MODULO ELASCTICO (MPa)</i>	86 MPa
<i>RESISTENCIA A LA ROTURA (%)</i>	5.2 %

Fuente: (Muñoz,2007)

3.2 DISEÑO DE HORMIGÓN HIDRAÚLICO

3.2.1 Relación Agua/Cemento

Con base en los ensayos preliminares, se procede a desarrollar el diseño de un hormigón con una resistencia de 280 kg/cm². Esta elección se fundamenta en el método de diseño del ACI, que establece que distintas relaciones agua/cemento producen diferentes niveles de resistencia. Por esta razón, se optó por trabajar con un hormigón que ofrezca una resistencia estructural significativa (280 kg/cm²).

Tabla 8: Relación agua/cemento

<i>A/C</i>	<i>RESISTENCIA</i>
<i>Relación</i>	<i>kg/cm²</i>
0.70	140
0.65	190
0.60	210
0.55	250
0.50	290
0.45	310
0.40	350
0.35	390
0.30	410

Fuente: (Terreros, Tecnología del Hormigón)

3.2.2 Hormigón Convencional

Para esta primera parte se realizó un diseño sin fibra ni aditivo siendo este el diseño patrón.

Tabla 9: Dosificación del diseño patrón para un hormigón 280 kg/cm²

DOSIFICACION PARA UN SACO DE CEMENTO		
PROPORCIONES DE	PESO HORMIGÓN	Unidad
DOSIFICACIÓN	TRADICIONAL	
	PARA 280kg/cm²	
<i>CEMENTO</i>	50	<i>g</i>
<i>AGUA</i>	20	<i>lts</i>
<i>ARENA</i>	55.454	<i>g</i>
<i>PIEDRA</i>	64,465	<i>g</i>
PESO TOTAL	64,588	<i>g</i>

Fuente: Autor.

Número de parihuelas para 1 saco de cemento con medidas de 0.40m x 0.40m x**0.20m**

- Arena: 1.46 u
- Piedra: 1.67 u
- Agua: 20 L

3.3 Determinación de la resistencia a compresión y flexión en las muestras elaboradas de un hormigón tradicional con fibra de vidrio

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en muestras cilíndricas siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ASTM C39, con roturas programadas a los 7, 14 y 21 días. Al retirar los cilindros de las piscinas de curado, se permitió un tiempo máximo de 5 minutos para que el agua acumulada en su estructura se drenara por completo. Posteriormente, se procedió a colocar el cilindro para realizar la prueba, como se muestra en la figura.

Se realizaron ensayos a compresión y a flexión para el análisis comparativo entre el hormigón convencional y el hormigón reforzado con fibra de vidrio. Como primera etapa se procedió a la toma de muestra de los cilindros el cual se realizaron 6 cilindros, 3 cilindros usando hormigón convencional y 3 usando hormigón reforzado con fibra de vidrio.

Para esta investigación se colocó 800 g por cada 50 kg de cemento. La fibra debe agregarse a la mezcladora durante el proceso de mezcla. Pero siempre después de haber agregado los otros componentes.

La fibra de vidrio debe añadirse a la hormigonera. Puestos que se disolverá por si sola cuando entre en contacto con el medio acuoso. Esto permite que la fibra se mezcle de manera uniforme con toda la masa. Una vez que se haya agregado la fibra, se debe agitar la hormigonera por lo menos por 5 minutos para que se mezcle bien.

Durante la manipulación de la fibra de vidrio y de las mezclas con contenido de ésta, se recomienda usar guantes, camisa con manga larga y protector de boca y nariz, esto debido a que la fibra de vidrio provoca un brote y rasquiña inmediata cuando se junta con la piel humana.

Los cilindros se ejecutaron en un área de construcción donde se utilizó un hormigón de 280 kg/cm².

Figura 9: Cilindros con Hormigón Convencional



Fuente: Autor

Figura 10: Cilindros con Hormigón reforzado con Fibra de Vidrio



Fuente: Autor

Una vez realizado la toma de muestras para los cilindros, se dejaron curando 7, 14, 21 días para proceder con el ensayo a compresión. En nuestro caso el cilindro se hizo en molde de PVC el cual las medidas son: $h = 30\text{ cm}$ y $d = 15\text{ cm}$. Como lo indica la norma ASTM-C31.

Tabla 10: Tabla referencial de cargas máximas a compresión

<i>kg/cm²</i>	<i>PORCENTAJE</i>	<i>CARGA MÁXIMA</i>	<i>CARGA MÁXIMA</i>
		4 plg=10.16 cm	6 plg=15.24 cm
210	70	11907	26754
	90	15309	34498
	100	17010	38220
	110	18711	42042
240	70	13608	30576
	90	17496	39312
	100	19440	43680
	110	21384	48048
280	70	15876	35672
	90	20412	45864
	100	22680	50960
	110	24948	56056
320	70	18144	40768
	90	23328	52416
	100	25920	58240
	110	28512	64064
350	70	19845	44590
	90	25515	57330
	100	28350	63700
	110	31185	70070

Fuente: Laboratorio CONSEES.

Figura 11: Rotura de Cilindro



Fuente: Autor.

Figura 12: Fallo en el cilindro de Hormigón Convencional y Reforzado con Fibra de Vidrio



Fuente: Autor

3.4 Preparación y ensayo a flexión de Hormigón Reforzadas con Fibra de Vidrio

Para llevar a cabo los ensayos de rotura de viguetas, el primer paso fue la elaboración de las vigas, proceso que comenzó con la preparación y dosificación de los materiales necesarios. Se utilizó una proporción 1:2:2, lo que implica una parte de cemento, dos partes de arena y dos partes de piedra. Adicionalmente, se empleó fibra de vidrio como refuerzo para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón. En total, los materiales utilizados fueron: un saco de cemento, dos sacos de arena, dos sacos de piedra y una funda de fibra de vidrio.

3.4.1 Preparación de Moldes y mezcla del hormigón

Con los materiales listos, se procedió a preparar los moldes para las vigas. Esto incluyó tomar las medidas correspondientes y engrasar los moldes con aceite para facilitar el posterior desencofrado. Una vez listos los moldes, se movilizó la concretera para realizar la mezcla del hormigón. En esta etapa, se vertió un saco de cemento, seguido de las dos partes de arena y las dos de piedra, respetando la dosificación previamente establecida.

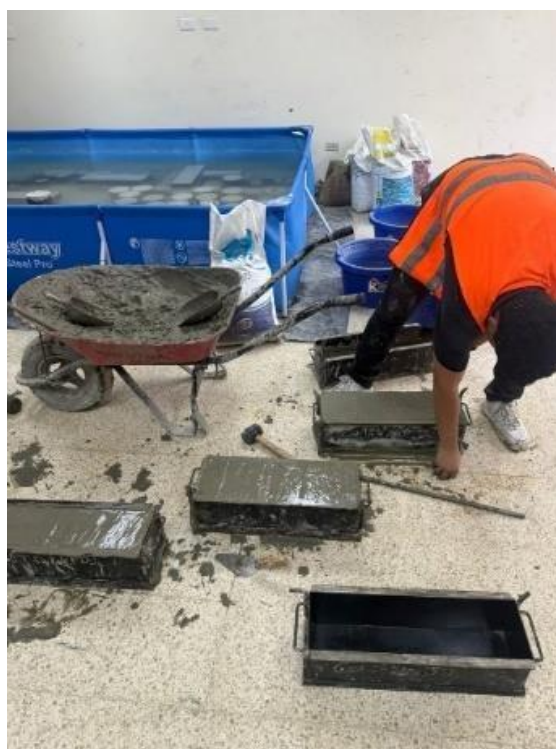
Figura 13: Medición del molde de las viguetas (ASTM-C31)



Fuente: Autor

La mezcla obtenida fue transportada en una carretilla y vertida cuidadosamente en los moldes. Para garantizar una compactación adecuada y eliminar las burbujas de aire, se llenaron los moldes en dos capas. Luego de verter la primera capa de hormigón, se realizaron XX golpes con una varilla distribuidos uniformemente por toda la superficie. Posteriormente, se dieron XX golpes con un martillo de goma en los laterales del molde. Este mismo procedimiento fue repetido al momento de verter y compactar la segunda capa. Este proceso aseguró que la mezcla quedara homogénea y bien distribuida dentro de los moldes.

Figura 14: Toma de muestras de viguetas



Fuente: Autor

3.4.2 Elaboración de Probetas con Diferentes Composiciones

Como parte del proyecto de investigación, se prepararon un total de ocho probetas, cada una con una composición específica de fibra de vidrio. Estas probetas fueron diseñadas para estudiar los efectos del refuerzo en diferentes condiciones, y se clasificaron de la siguiente manera:

- Dos probetas de hormigón convencional: sin ninguna incorporación de fibra de vidrio.
- Dos probetas con baja dosificación de fibra de vidrio: con una cantidad limitada de fibra añadida a la mezcla, 1.5%
- Dos probetas con fibra de vidrio dispuesta en capas: donde la fibra se colocó en forma de capas dentro del hormigón, 3.0%
- Dos probetas con alta dosificación de fibra de vidrio: con una cantidad significativa de fibra en su composición, 4.5%

Figura 15: Viguetas



Fuente: Autor

Tras el llenado de los moldes, las probetas permanecieron en ellos durante un día completo para su curado inicial. Una vez transcurrido este tiempo, se llevó a cabo el desencofrado, dejando las vigas listas para ser transportadas a un laboratorio especializado en ensayos de flexión.

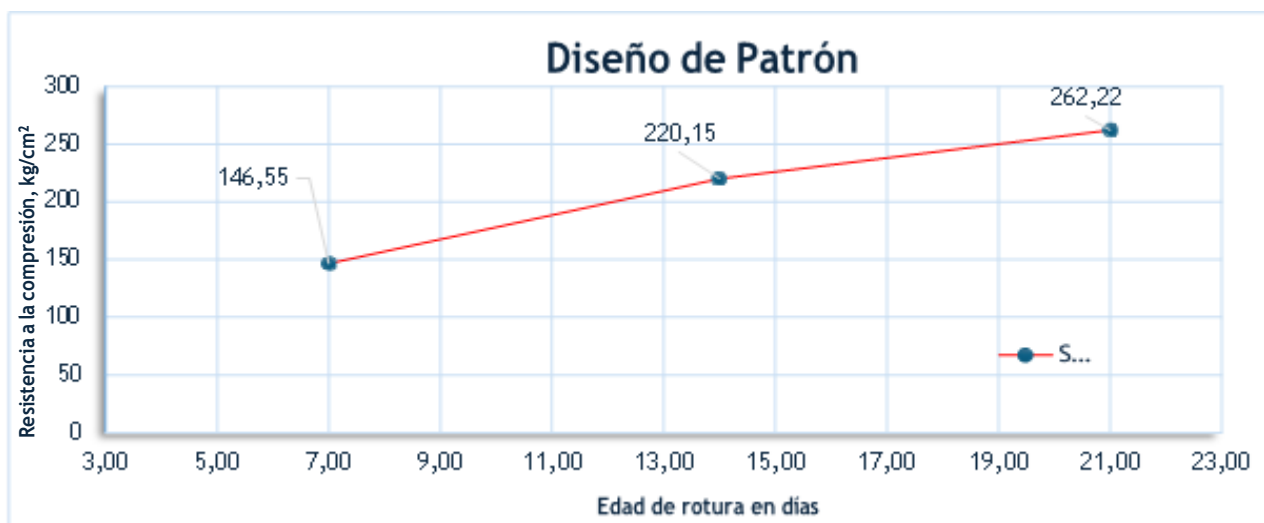
3.5 Resultados de los ensayos a Compresión en un Hormigón Convencional.

Tabla 11: Resumen de resultados de resistencia a compresión del diseño patrón

RESUMEN DE ENSAYOS PATRÓN	
$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	
EDAD DE ROTURA	RESITENCIA A LA COMPRESIÓN
DÍAS	kg/cm²
7	146,55
14	220,15
21	262,22

Fuente: Autor.

Figura 16: Muestra de resultados de la Resistencia a Compresión



Fuente: Autor

3.6 Resultados de los ensayos a Compresión en un Hormigón

Reforzado con Fibra de Vidrio

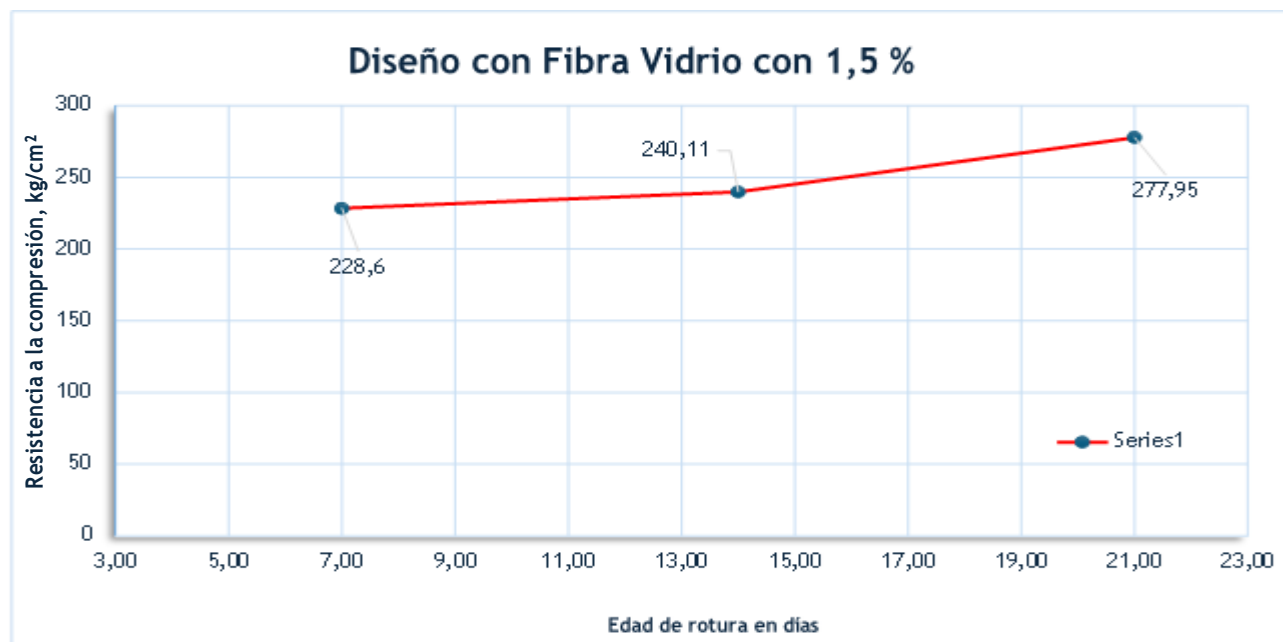
Tabla 12: Aumento de resistencia a la compresión con la Fibra de Vidrio, con relación al Hormigón

RESUMEN DE ENSAYOS $F_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ CON FIBRA VIDRIO

MEZCLA	EDAD DE ROTURA	RESITENCIA A LA COMPRESION
% FIBRA VIDRIO	DÍAS	kg/cm^2
1.5	7	228.60
1.5	14	240.11
1.5	21	277.95

Fuente: Autor

Figura 17: Gráfica de la resistencia a Compresión HRFV



Fuente: Autor

3.7 Tabla general de ensayo a compresión

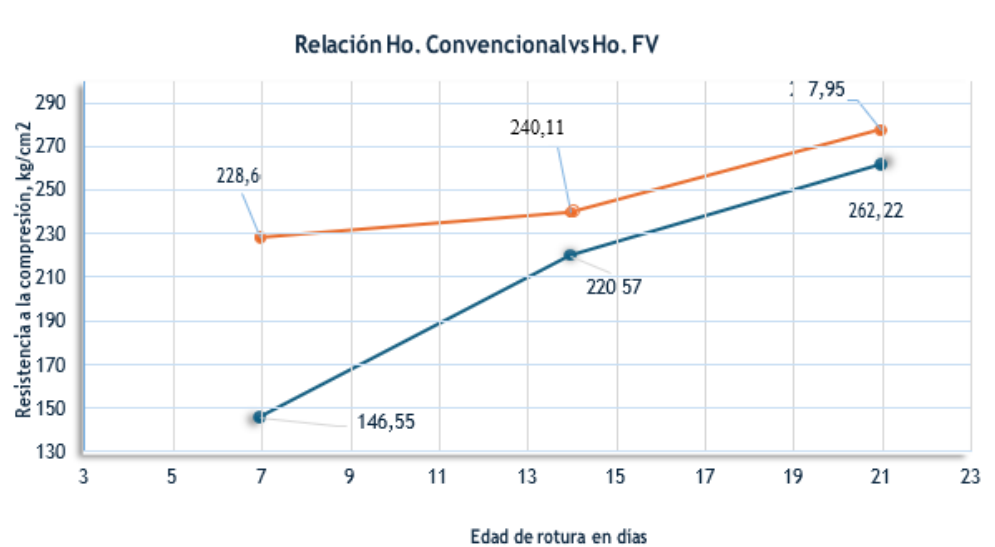
Tabla 13: Cuadro general de ensayos a compresión de un Hormigón

Convencional y un HRFV

CILINDRO	No.	FECHA		Días	CARGA MÁXIMA kg	ESFUERZO COMPRESIÓN kg/cm ²	% Incremento de resistencia
		TOMA	ROTURA				
Hormigón Convencional Fc=280 kg/cm ²	1	3/1/2025	10/1/2025	7	26,672.33	146.55	
Hormigón con Fibra de Vidrio Fc=280kg/cm ²	1	3/1/2025	10/1/2025	7	41,615.88	228.66	15.60
Hormigón Convencional Fc=280 kg/cm ²	1	3/1/2025	17/1/2025	14	40,143.45	220.57	
Hormigón con Fibra de Vidrio Fc=280kg/cm ²	1	3/1/2025	17/1/2025	14	43,699.88	240.11	10.89
Hormigón Convencional Fc=280 kg/cm ²	1	3/1/2025	24/1/2025	21	47,723.47	262.22	
Hormigón con Fibra de Vidrio Fc=280kg/cm ²	1	31/2025	24/1/2025	21	50,586.77	277.95	10.60

Fuente: Autor

Figura 18: Gráfico General de ensayos a compresión de un Hormigón Convencional y un Hormigón con fibra de vidrio.



Fuente: Autor

3.8 Resultados de los ensayos a Flexión en un Hormigón Convencional.

**Tabla 14: Resumen de resultados de resistencia a Flexión del diseño patrón
(Hormigón Tradicional, Primera Muestra)**

VIGUETAS	EDAD DE ROTURA	CARGA (kg)	ESFUERZO A FLEXIÓN
No.	DIAS	(kg)	MPa
1	3	18.770	2.220

Fuente: Autor

**Tabla 15: Resumen de resultados de resistencia a Flexión del diseño patrón
(Hormigón Tradicional, Segunda Muestra)**

VIGUETAS	EDAD DE ROTURA	CARGA (kg)	ESFUERZO A FLEXION
No.	DIAS	(kg)	MPa
1	3	17.653	2.134

Fuente: Autor

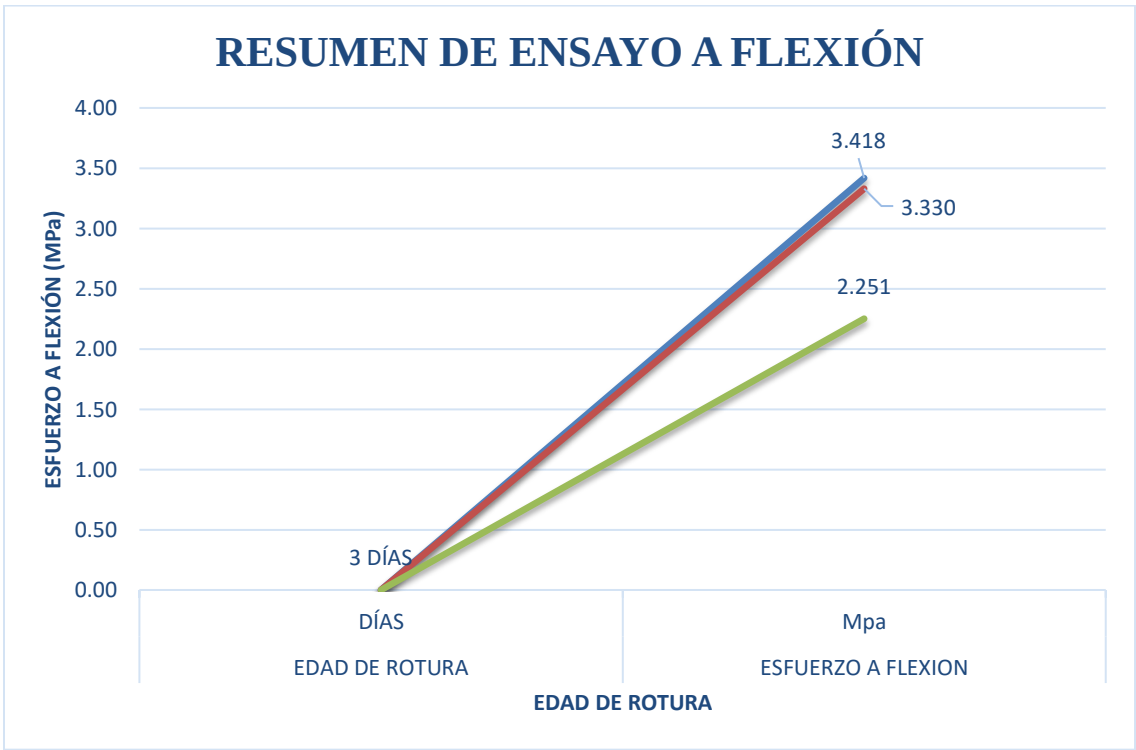
3.9 Resultados de ensayos a flexión a los 3 días (Primera Muestra)

Tabla 16: Resumen de resultados de resistencia a flexión de un Hormigón con 1.5%FV;3%FV;4.5%FV(MPa).

MEZCLA	EDAD DE ROTURA	CARGA (kg)	ESFUERZO A FLEXIÓN
(%) FIBRA	DIAS	(kg)	MPa
VIDRIO			
1.50	3	26.466	3.418
3.00	3	25.782	3.330
4.50	3	17.430	2.251

Fuente: Autor

Figura 19: Muestra de resultados ensayos a flexión con 1,5%FV;3%fv;4.5% (MPa)



Fuente: Autor

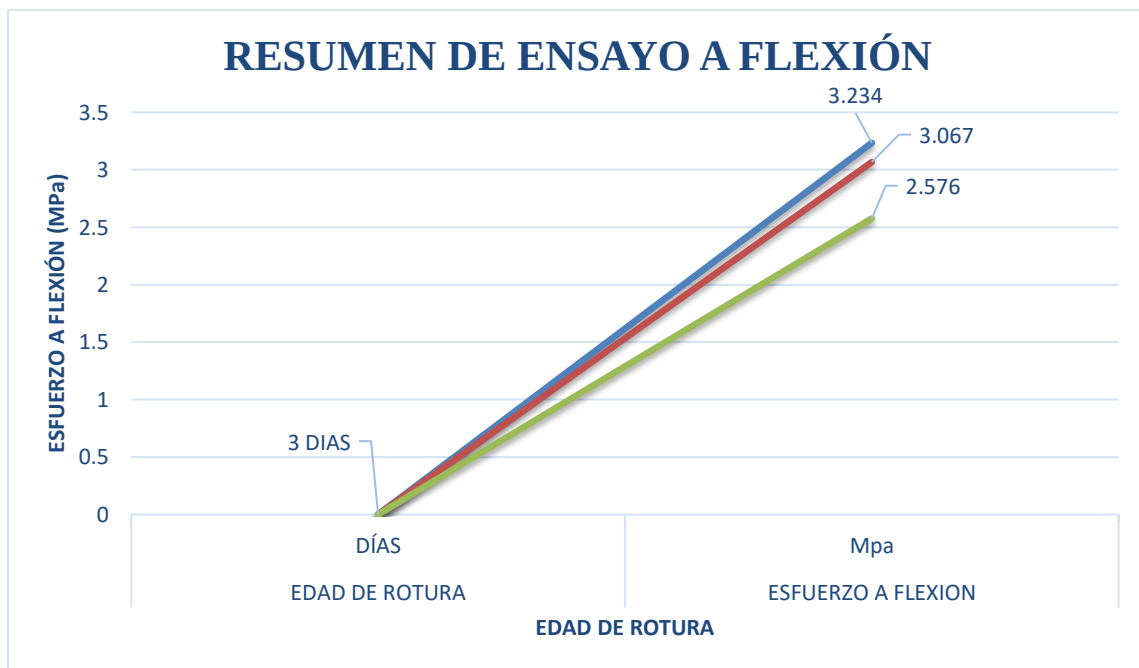
3.10 Resultados de ensayos a flexión a los 3 días (Segunda Muestra)

Tabla 17: Resumen de resultados de resistencia a flexión. (Hormigón con 1.5%FV;3%FV;4.5%FV)

MEZCLA (%) FIBRA VIDRIO	EDAD DE ROTURA DÍAS	CARGA (kg) (kg)	ESFUERZO A FLEXIÓN MPa
1.50	3	25.656	3.234
3.00	3	23.653	3.067
4.50	3	19.768	2.576

Fuente: Autor

Figura 20: Muestra de resultados ensayos a flexión con 1,5%FV;3%fv;4.5%(MPa)



Fuente: Autor

3.11 Muestra general de ensayo a Flexión a los 3 días (Primera Muestra)

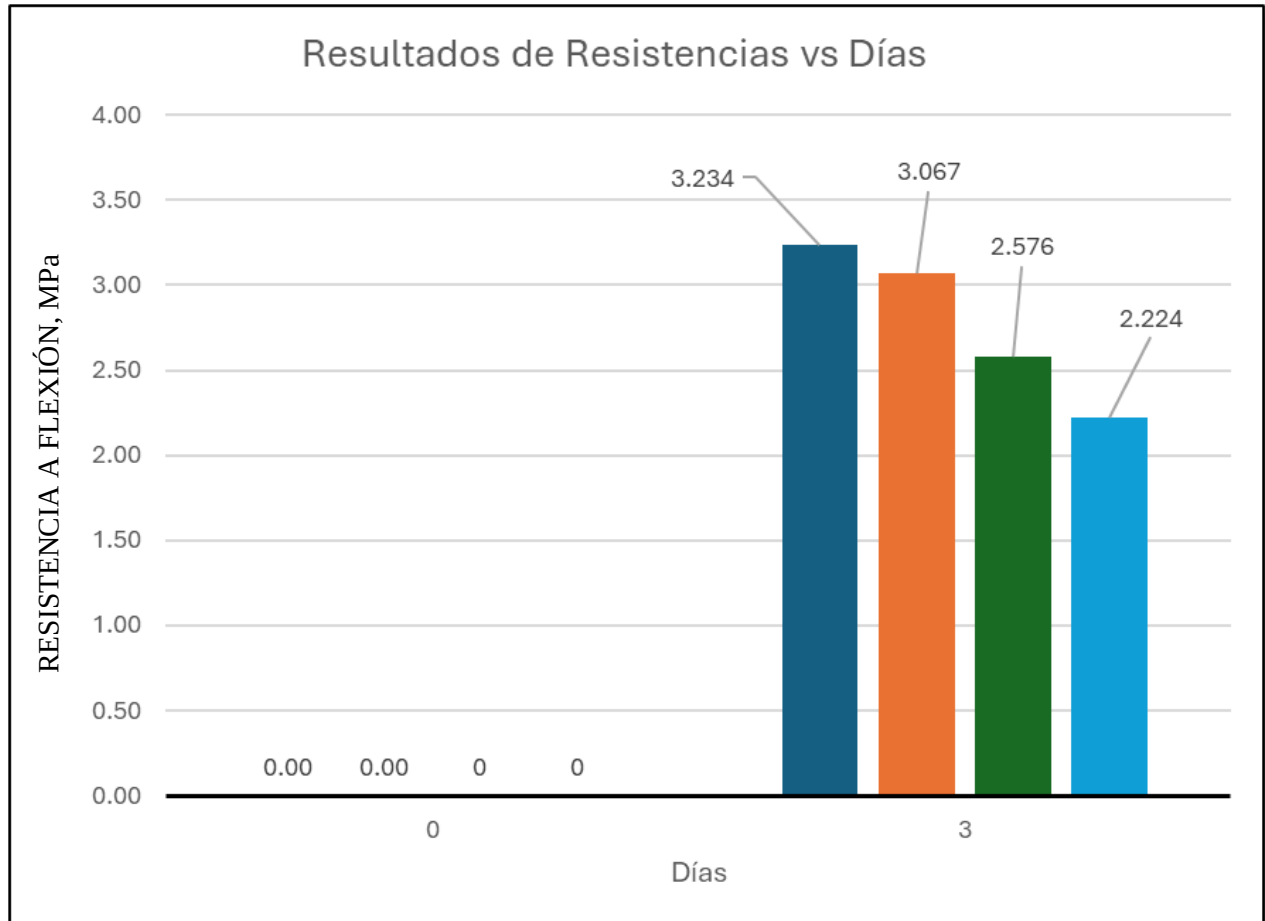
Figura 21: Ensayo a Flexión a los 3 días (Hormigón Convencional, Hormigón con 1.5%FV, 3%FV,4.5%FV(MPa))



Fuente: Autor

3.12 Muestra general de ensayo a Flexión a los 3 días (Segunda Muestra)

Figura 22: Ensayo a Flexión a los 3 días (Hormigón Convencional, Hormigón con 1.5%FV, 3%FV,4.5%FV(MPa))



Fuente: Autor

3.13 Impacto del uso de la fibra de vidrio para pavimentos en el medio ambiente.

Los productores de cemento ya han tratado de reducir el consumo de ciertos tipos de combustible con el objetivo de mejorar el coste de operación y reducir las emisiones de CO₂.

De hecho, en los últimos 30 años se ha reducido un 40% el consumo específico de combustible durante la producción de cemento, que se ha traducido en una disminución de emisiones de CO₂ de la misma magnitud. Actualmente, no se dispone de datos específicos que cuantifiquen la reducción porcentual de emisiones de CO₂ al incorporar fibra de vidrio en el cemento. Sin embargo, se ha observado que la fibra de vidrio tiene una huella de carbono más baja en comparación con materiales tradicionales como el cemento, el acero y el aluminio.

La fibra de vidrio emerge como un material prometedor para reducir las emisiones de CO₂ en la construcción de pavimentos en comparación con los materiales tradicionales. Diversos estudios han señalado que el uso de refuerzos de fibra en materiales cementicios puede mejorar la resistencia y durabilidad de las estructuras, reduciendo así la necesidad de mantenimiento y, en consecuencia, las emisiones asociadas. Si bien no se dispone de un porcentaje exacto de reducción de CO₂ al utilizar fibra de vidrio en el cemento, la evidencia sugiere que su incorporación puede contribuir a disminuir las emisiones de carbono en la construcción.

Para ilustrar el impacto potencial de la fibra de vidrio, se presenta un análisis comparativo hipotético para un kilómetro de pavimento utilizando materiales tradicionales versus fibra de vidrio, donde se demuestra una reducción significativa en las emisiones de CO₂ con el uso de fibra de vidrio (García et al., 2019). Se recomienda realizar más investigaciones y estudios para determinar el porcentaje óptimo de fibra de vidrio a utilizar en pavimentos, así como para evaluar su durabilidad y otros factores relevantes (Fernández & Torres, 2022).

El carbón, tradicionalmente utilizado para la combustión, está siendo sustituido por combustibles alternativos como los desechos municipales, llantas, lodos residuales, etc. De hecho, los hornos de cemento son el mejor recurso para reciclar cualquier tipo de residuo, ya que a 1.500 °C, temperatura de combustión de los hornos, casi todo lo que tenga material volátil se puede usar como combustible alternativo

Además, la ceniza resultante se puede emplear como aditivo para el cemento como producto final. Los plásticos de un solo uso, un tema candente últimamente en cuestiones medioambientales, serían un gran candidato para ser reciclados en la producción de cemento, aunque todavía es necesario investigar a fondo para conocer los detalles de esta técnica de reciclado de plástico. La creación de un mercado para el CO₂ es la manera más eficaz de calcular su coste. Ya se han dado pasos en esta dirección en la forma de créditos de carbono, algo que debería universalizarse y regularse para que abarque todas las fuentes de emisión de carbono, tanto industriales como no industriales.

Además, es importante considerar el ciclo de vida completo de los materiales, desde su producción hasta su eliminación, para obtener una imagen completa de su impacto ambiental (ISO 14040, 2006).

3.13.1 Análisis comparativo para un kilómetro de pavimento

Asfalto: $1324.80 \text{ ton} \times 825 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{ton}} = 1,092,960 \text{ kg CO}_2$ (Buriticá-Cardona, Y., Cataño-Ramos, W. A., & Arbeláez-Pérez, O. F. (2022)).

Total: 1,092,960 kg CO₂

Pavimento con fibra de vidrio: Un kilómetro de pavimento utilizando fibra de vidrio como refuerzo podría requerir significativamente menos asfalto, usando la dosificación que mejor resultado nos dio la cual sería la de 1,5%.

Fibra de vidrio: $1.5\% \times 1324.80 \text{ Ton de asfalto} = 19.872 \text{ Ton}$

Asfalto: $1324.8 \text{ Ton} - 19.872 \text{ Ton} = 1304.93 \text{ Ton}$

CO₂: $1304.93 \text{ Ton} \times 825 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{Ton}} = 1,076,567.25 \text{ kg CO}_2$

Total: 1,076,567.25 kg CO₂

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES

Se concluye que la incorporación de fibras de vidrio en el hormigón hidráulico tiene un impacto positivo en sus propiedades mecánicas. Las investigaciones indican que el uso de fibras de vidrio puede aumentar la resistencia a la compresión del hormigón en un 15.60% en comparación con el hormigón convencional.

Además se observa que el esfuerzo a flexión de los bloques que contienen fibra de vidrio aumenta en relación al esfuerzo por flexión del hormigón convencional, detectándose que al utilizar 1.5% de fibra de vidrio el esfuerzo aumento un 24%, con 3% de fibra de vidrio el esfuerzo aumento el 21% y con 4.5% de fibra de vidrio el esfuerzo aumento un 16%.

Como se pudo observar en el análisis, el añadir fibra de vidrio en el hormigón convencional en cualquier dosificación hace que aumente la resistencia ya sea en compresión o flexión.

Por lo tanto, se recomienda encarecidamente la incorporación de este material en las mezclas de hormigón hidráulico para optimizar su rendimiento y durabilidad en aplicaciones estructurales.

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, se puede afirmar que el hormigón reforzado con fibras de vidrio es adecuado para elementos que estarán sometidos a esfuerzos de compresión y flexión como se evidencio en esta investigación junto a sus resultados.

Durante los ensayos realizados, las probetas de hormigón reforzado con fibras de vidrio evidenciaron una mayor resistencia a la rotura, ya que el modo de falla fue más dúctil, evitando rupturas súbitas y explosivas como las que suelen ocurrir en el hormigón convencional.

Esto verifica que las fibras de vidrio mejoran la cohesión y el anclaje entre las partículas de la mezcla.

Es un material con propiedades superiores, es un material de alta resistencia mecánica, impermeable y estable, y al mismo tiempo duradero y resistente. Asimismo, es un material que no requiere mantenimiento ni sustitución por desgaste u otros motivos. Una de las características que impulsa este aumento en la producción es que la fibra de vidrio no se descompone bajo la influencia del clima, la exposición a productos químicos o factores ambientales y ni siquiera puede ser descompuesto por microorganismos.

Otro beneficio ambiental importante de la fibra de vidrio es su resistencia a la corrosión y la degradación. Esto significa que las estructuras y productos de fibra de vidrio requieren menos mantenimiento y reparación, lo que reduce la necesidad de tratamientos químicos y recubrimientos que pueden dañar el medio ambiente.

La fibra de vidrio también tiene el potencial de ahorrar energía a largo plazo. Sus excelentes propiedades de aislamiento térmico pueden ayudar a reducir los costos de calefacción, lo que lleva a una reducción del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero. En definitiva, la fibra de vidrio es un material que aporta muchos beneficios al medio ambiente. Su larga vida útil, eficiencia energética, reciclabilidad y resistencia a la degradación lo convierten en una opción respetuosa con el medio ambiente para muchas aplicaciones. Al elegir la fibra de vidrio en lugar de otros materiales, las personas y las empresas pueden ayudar a reducir su impacto ambiental y contribuir a un futuro más ecológico y sostenible.

Se puede apreciar que para una carretera de dos carriles hay una reducción de 16392.75 kg CO₂ de gases a la atmosfera para un kilómetro de vía asfáltica.

4.3 RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar los estudios y pruebas en campo mediante proyectos piloto en carreteras y pavimentos sometidos a condiciones reales de tráfico y carga, evaluando el comportamiento del hormigón reforzado con fibra de vidrio en escenarios desafiantes como climas extremos o diferentes tipos de suelos.

Además, es esencial desarrollar programas de capacitación técnica para garantizar una correcta dosificación, distribución y compactación del material, así como realizar análisis de costo-beneficio a largo plazo que consideren durabilidad y menores costos de mantenimiento. También se sugiere investigar combinaciones con aditivos como acelerantes o retardantes para ver cómo reacciona la fibra con este tipo de químicos y realizar análisis integrales del ciclo de vida del material para cuantificar su huella de carbono, posicionándolo como una alternativa sostenible. Es fundamental actualizar normativas que regulen su diseño, producción y uso, priorizar su aplicación en zonas vulnerables como regiones costeras o de alta humedad. Finalmente, se propone implementar sistemas de monitoreo continuo para evaluar su desempeño a lo largo del tiempo, identificar áreas de mejora y validar su efectividad en proyectos de infraestructura moderna.

Asimismo, se recomienda fomentar la producción y comercialización de cemento "verde", asegurando una certificación que valide la reducción de emisiones de CO₂. La implementación de incentivos fiscales para la construcción sostenible facilitaría la creación de un mercado viable para este tipo de cemento, promoviendo su adopción en el sector de la construcción y contribuyendo a la mitigación del impacto ambiental.

4.4 ANEXOS

Figura 23: Fibra de Vidrio, Pliego.



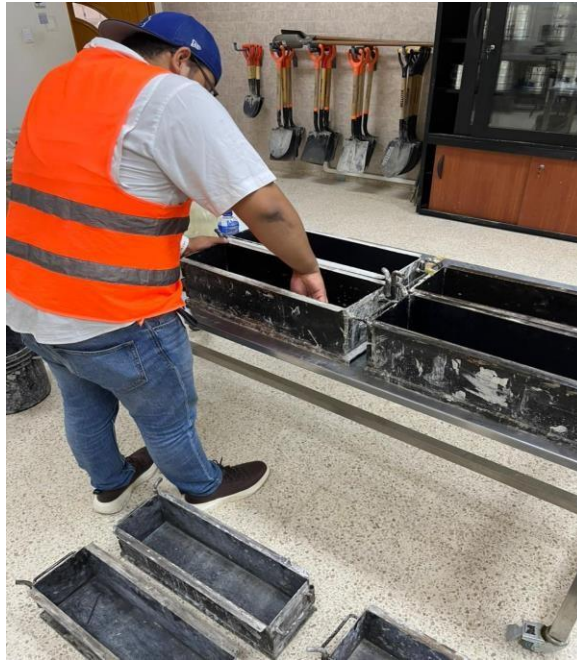
Fuente: Autor

Figura 24: Fibra de Vidrio (Unidad)



Fuente: Autor

Figura 25: Engrasado de moldes



Fuente: Autor

Figura 26: Laboratorio UPS



Fuente: Autor.

Figura 27: Concretera



Fuente: Autor

Figura 28: Máquina para Compresión de CILINDROS



Fuente: Autor

Figura 29: Máquina para flexión de VIGUETAS



Fuente: Autor

Figura 30: Viga de concreto sometida a ensayo de flexión



Fuente: Autor

Figura 31: Viga de concreto con fibra de vidrio en capas sometida a ensayo de flexión



Fuente: Autor

Figura 32: Viga de concreto con baja dosificación de fibra de vidrio sometida a ensayo de flexión



Fuente: Autor

Figura 33: Resultado de viga de concreto con alta dosificación de fibra de vidrio sometida a ensayo de flexión



Fuente: Autor

Figura 34: Toma de ensayos a Flexión



Fuente: Autor

Figura 35: Ficha técnica del Cemento Holcim

Usos

El cemento **Holcim Fuerte, Tipo GU**, es un cemento hidráulico desarrollado con la más alta tecnología, innovación y reducción de emisiones de CO2, cuenta con el sello de calidad **INEN**

- Concretos estructurales como: losas, columnas, plintos, vigas, riostras, cadenas.
- Producción de elementos prefabricados.
- Vías y pavimentos.
- Mortero para nivelación de pisos.
- Elaboración de morteros para mampostería: enlucido y pegado de bloques.
- Fabricación de mortero para pegar piezas de porcelanato/cerámica.
- Trabajos de albañilería en general.

Beneficios

- Mejora la trabajabilidad de las mezclas.
- Reduce la segregación y la exudación.
- Reduce el calor de hidratación y la tendencia a la fisuración.
- Buen desempeño de fraguado.
- Resistencia adecuada, desempeño uniforme.

	INEN 2380	Valor referencial HOLCIM
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.8	0
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	45
Inicial, no más de, minutos	420	151
Contenido de aire mortero, en volumen, %	—	4
Resistencia a la compresión, mínimo MPa		
1 día	—	---
3 días	13	17
7 días	20	22
28 días	28	30
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.02	0.001
Resistencia a sulfatos, 6 meses	—	---

Fuente: HOLCIM S.A.

Figura 36: Sostenibilidad ambiental del Cemento en HOLCIM S.A

Sostenibilidad



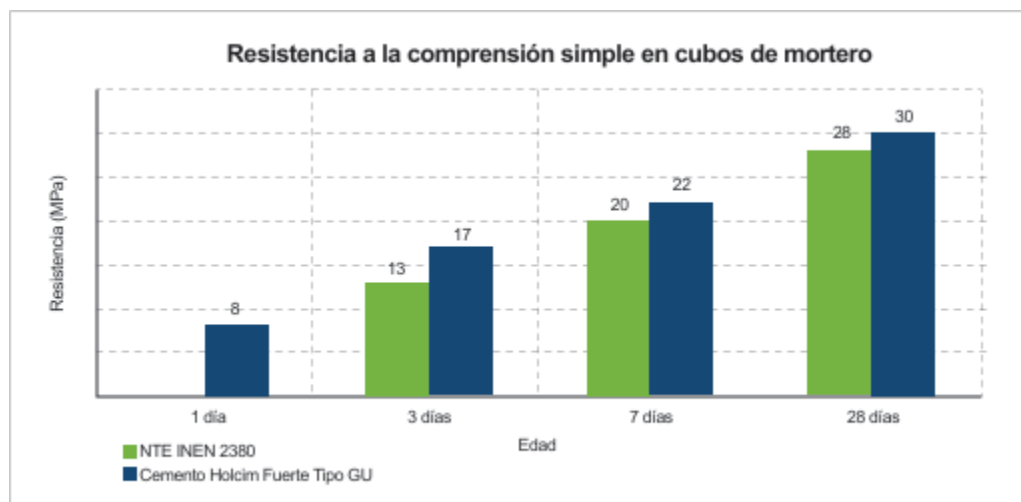
Las Plantas de producción de cemento Guayaquil y Latacunga cuentan con la certificación Punto Verde "Empresa Ecoeficiente", otorgada por la autoridad ambiental gubernamental del Ecuador, valida prácticas de Producción Más Limpia y nuestro compromiso con el cuidado de recursos naturales.



Al emplear nuestras soluciones ecoamigables como Holcim Fuerte, contribuimos juntos a la conservación del medio ambiente, la etiqueta verde de nuestro producto muestra el fuerte compromiso que tenemos para cuidar el planeta y a las personas. **Holcim Fuerte** ha sido desarrollado con un 30% de reducción de emisiones de CO₂.

Fuente: HOLCIM S.A.

Figura 37: Proyección del hormigón



*Valores referenciales promedios de la producción

Fuente: HOLCIM S.A.

Figura 38: Cantidades de asfalto por Kilómetro.

Tipo de Vía	Tipo de actividad	Longitud (metros)	Ancho (mts)	Espesor en mts.	Cantidad en Toneladas de Asfalto (Con mezcla tipo II)	Cantidad en Toneladas de Asfalto (Con mezcla tipo III)
Carretera de 2 canales de circulación (1/sentido)	Repavimentación	1000.00	7.20	0.06	993.60	1023.84
Carretera de 2 canales de circulación (1/sentido)	Pavimentación	1000.00	7.20	0.08	1324.80	1365.12
Vía Local (1 canal de circulación)	Repavimentación	1000.00	6.00	0.05	690.00	711.00
Vía Local (1 canal de circulación)	Pavimentación	1000.00	6.00	0.06	828.00	853.20
Autopista de seis canales de circulación (3/sentido) (incluye los hombrillos)	Repavimentación	1000.00	23.40	0.06	3229.20	3327.48
Autopista de seis canales de circulación (3/sentido) (incluye los hombrillos)	Pavimentación	1000.00	23.40	0.09	4843.80	4991.22
Autopista de ocho canales de circulación (4/sentido) (Incluye hombrillos)	Repavimentación	1000.00	30.00	0.07	4830.00	4977.00
Autopista de ocho canales de circulación (4/sentido) (Incluye hombrillos)	Pavimentación	1000.00	30.00	0.10	6900.00	7110.00

Fuente: Juan Rojas (S.f)

BIBLIOGRAFÍA:

- AASHTO T 22. (2019). *Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Recommended Practice for Consolidation of Concrete (ACI 309-72). (1972). *ACI Journal Proceedings*, 69(10).
<https://doi.org/10.14359/15230>
- ASTM C31/C31M. (2019). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field*. ASTM International.
- ASTM C39/C39M. (2021). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International.
- ASTM C42/C42M. (2020). *Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete*. ASTM International.
- ASTM C469/C469M. (2014). *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. ASTM International.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design*. Pearson Education.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete*. Pearson Education.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete*. Pearson Education.
- Rocco, C., Guinea, G. V., & de S. A. Molins, C. (1999). A new method for the determination of the fracture energy of concrete in tension. *Cement and Concrete Research*, 29(1), 73-80.

- ACI Committee 318. (2019). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318- 19) and commentary (ACI 318R-19)*. American Concrete Institute. ¹
- Domone, P. L., & Illston, J. M. (2010). *Construction materials: their nature and behaviour*. CRC press.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2002). *Design and control concrete mixtures*. Portland Cement Association.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete*. Pearson Education.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete*. Pearson Education.
- Powers, T. C. (2017). *The physical structure of cement paste*. Elsevier
- Rodríguez, E. (2024, 18 noviembre). *Análisis de impacto ambiental del hormigón activado con álcali y refuerzo de fibra*. CPI. <https://www.infraestructurapublica.cl/analisis-de-impacto-ambiental-del-hormigon-activado-con-alkali-y-refuerzo-de-fibra/>
- NTE INEN 2380: Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño. (2017, 28 febrero). studylib.es. <https://studylib.es/doc/5836679/nte-inen-2380--cementos-hidr%C3%A1ulicos.-requisitos-de-desempe%C3%B1o>
- ASTM C78 / C78M Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third Point Loading) -- eLearning Course. (s. f.). <https://www.astm.org/astm-tpt-175.html>
- Quispe, R. Á. G. (2024). Influencia de la adición de fibra de vidrio AR sobre la resistencia a la compresión del concreto f'_c 210 kg/cm². Una

revisión sistemática: 2020 – 2024. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(2).

<https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1941>

- *Western Europe*. (2025, 22 enero). <https://www.concrete.org>
- *¿Qué son los pavimentos de hormigón? Precios y Usos*. (s. f.). <https://www.paviconj-es.es/pavimentos-hormigon/>
- *Pavimento asfáltico: Ventajas - Precios* 【Conasfal 2022】. (s. f.). <https://www.conasfal.com/pavimento-asfaltico>
- *asfaltosrada.com*. (2024, 21 octubre). Ventajas de la Carpeta Asfáltica en Calles Urbanas. *asfaltosrada.com - Venta de Asfalto y Pavimentaciones*. <https://asfaltosrada.com/ventajas-de-la-carpeta-asfaltica-en-calles-urbanas/>
- Janowicz, V., & Janowicz, V. (2023, 11 octubre). *Ventajas ambientales del pavimento asfáltico sustentable*. *El Constructor - Periódico de la Construcción y Negocios*. <https://elconstructor.com/ventajas-ambientales-del-pavimento-asfaltico-sustentable/>
- Editor. (2023b, octubre 8). *Los pavimentos articulados y algunas consideraciones para su diseño*. <https://dolmen.com.ar/los-pavimentos-articulados-y-algunas-consideraciones-para-su-diseno-nota-no-022-julio-de-2023/>
- Grasa, G. (2020, 9 junio). *¿Cuáles son los beneficios de las carreteras de asfalto?* Grupo Grasa. <https://grupograsa.es/cuales-son-los-beneficios-de-las-carreteras-de-asfalto/>

- Aguado, A., & Pavía, J. M. (2006). "Influencia de las fibras de vidrio en las propiedades mecánicas del hormigón." *Materiales de Construcción*, 56(276), 55-68.
- Cruz, J. M., & López, A. (2015). "Hormigón reforzado con fibras: una revisión de sus propiedades y aplicaciones." *Revista de la Construcción*, 14(1), 25-34.
- González, A., & Martínez, F. (2014). "Evaluación de la durabilidad del hormigón reforzado con fibras de vidrio." *Revista Internacional de Ingeniería*, 1(2), 45-52.
- López, R., & Fernández, J. (2018). "Propiedades del hormigón reforzado con fibras: un análisis comparativo." *Revista de Materiales*, 12(3), 123-130.
- Mora, J., & Salazar, A. (2017). "Estudio de la resistencia a la compresión en hormigón con fibras de vidrio." *Ingeniería y Construcción*, 32(4), 15-22.
- Núñez, R., & Torres, P. (2019). "Hormigón reforzado con fibras: características y aplicaciones en la construcción." *Revista de Ingeniería Civil*, 22(1), 67-74.
- Pérez, J. A., & Romero, A. (2016). "Impacto de las fibras en el comportamiento del hormigón bajo cargas dinámicas." *Revista de la Asociación Española de Materiales*, 19(2), 89-96.
- Ríos, J., & Vargas, L. (2013). "Uso de fibras en hormigón: propiedades y beneficios." *Revista de Construcción y Materiales*, 5(1),

33-40.

- *Sánchez, M., & Castro, J. (2012). "Análisis de la resistencia del hormigón reforzado con fibras en condiciones extremas." Revista de Ciencia y Tecnología, 11(2), 77-84.*
- *Zambrano, J., & Paredes, C. (2015). "Hormigón reforzado con fibras: una alternativa sostenible en la construcción." Revista de Ingeniería y Tecnología, 8(3), 101-108.*
- *Peláez, C. P. (2022, 26 septiembre). La fibra de vidrio como material estrella | Fibrtech| Fibra de Vidrio | Tanques de Almacenamiento. Fibrtech | Fibra de Vidrio | Tanques de Almacenamiento | Alta Calidad | Tanques de Almacenamiento Industrial, Agrícola y de Construcción. Soluciones de Almacenamiento Resistentes Para Aguas, Químicos, Granel y Otros. <https://www.fibrtech.com.co/la-fibra-de-vidrio-como-material-estrella/>*
- *Cortesía. (2022, 8 julio). ¿QUÉ SON LOS POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO y QUÉ APORTAN a LA INDUSTRIA DEL CONCRETO. 360 EN CONCRETO. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/polimeros-reforzados-con-fibra-vidrio/>*
- *Hub de innovación abierta para empresas, startups y expertos. (s. f.). Lazywill. <https://www.ennomotive.com/es/>*
- *Zinco – Somos importadores, comercializadores y distribuidores de fibra de vidrio. (s. f.). <https://zinco.com.pe/>*