



**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA**

**CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**  
**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del título de:  
**INGENIERO CIVIL**

**MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**


**TEMA:**  
**HORMIGÓN PARA PAVIMENTO RÍGIDO CON INCORPORACIÓN  
DE FIBRA DE CARBONO COMO AGREGADO ARTIFICIAL**

**ELABORADO POR:**  
**IVONNE MARLISSE DELGADO VÉLIZ**

**TUTOR:**  
**ING. JORGE EDUARDO GARCÍA ARGANDOÑA**

**MANTA – MANABÍ – ECUADOR**

Enero 2026

 <b>Uleam</b> UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	<b>NOMBRE DEL DOCUMENTO:</b> CERTIFICADO DE TUTOR.	<b>CÓDIGO:</b> PAT-04-F-004
	<b>PROCEDIMIENTO:</b> TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	<b>REVISIÓN:</b> 1 Página 1 de 1

## CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de Manta de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:


Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante Delgado Véliz Ivonne Marlisse legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2025 2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "Hormigón para pavimento rígido con incorporación de fibra de carbono como agregado artificial".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 4 de febrero de 2026.

Lo certifico,

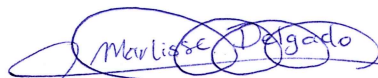
  
Ing. Jorge Eduardo García Argandoña. Mg.  
**Docente Tutor**  
**Área: Vialidad.**

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Yo, Ivonne Marlisse Delgado Véliz con CC: 131628646-5, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación con el tema "**HORMIGÓN PARA PAVIMENTO RÍGIDO CON INCORPORACIÓN DE FIBRA DE CARBONO COMO AGREGADO ARTIFICIAL**", el cual fue dirigido por el tutor, Ing. Jorge Eduardo García Argandoña, Mgs.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los 30 días del mes de enero de dos mil veinte y seis.



---

Ivonne Marlisse Delgado Véliz

C.C. 131628646-5

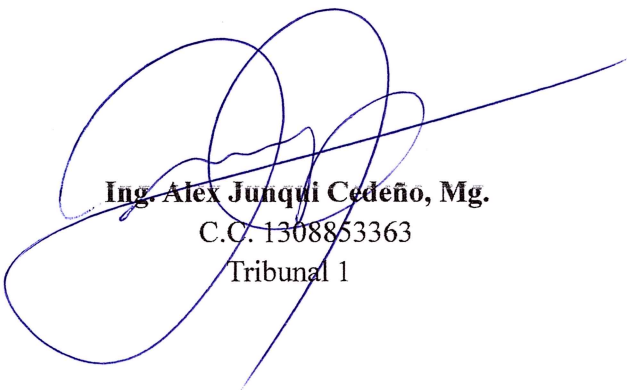
Autora

## CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN


En calidad de tribunales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, certifico:

Haber revisado el trabajo de titulación, bajo la modalidad de **Proyecto de Investigación**, cuyo tema es “**HORMIGÓN PARA PAVIMENTO RÍGIDO CON INCORPORACIÓN DE FIBRA DE CARBONO COMO AGREGADO ARTIFICIAL**” de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo APRUEBO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para proceder a la defensa correspondiente.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a salvo disposición de Ley en contrario.  
En la ciudad de *Manta*, a los 20 días del mes de febrero de dos mil veinte y seis.



**Ing. Alex Junqui Cedeño, Mg.**  
C.C. 1308853363  
Tribunal 1

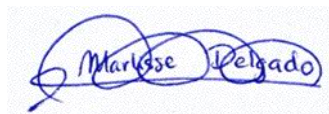


**Ing. Geovanny Delgado Castro, PhD**  
C.C. 1308732229  
Tribunal 2

## DEDICATORIA

Dedicado al hombre que me vio crecer, que me enseñó a comprender la vida y llevarla con resiliencia. Papá, fuiste y serás siempre mi mayor motivación para seguir adelante porque siempre confiaste en mí y en lo que podía lograr, y a pesar de que no pudiste estar hasta el final y verme convertida en una gran ingeniera, sé que nunca me dejaste sola porque siempre me guiaste y sentí tu presencia y amor en cada momento y en cada persona de la que recibí ayuda en el final de este largo camino.

Este logro va por ti hasta el cielo, Ing. Eduardo Delgado Anchundia.

A handwritten signature in blue ink that reads "Marlyse Delgado". The signature is written in a cursive style with some loops and is enclosed within a light blue rectangular border.

---

Ivonne Marlyse Delgado Véliz

C.I 131628646-5

**Autora**

## AGRADECIMIENTOS


A mis padres, Ivonne Véliz y Eduardo Delgado, por su apoyo incondicional durante este proceso académico. Gracias por los sacrificios y la confianza para alcanzar esta meta.

A todos mis familiares cercanos, hermano, abuelos, tíos y primos. Gracias por ser un pilar fundamental en mi vida y por ser mi refugio en los momentos de mayor presión.

A mis amigos, Misael Castro, Meyer Santana, Noe Chávez y Juan Navarrete. Gracias por la paciencia, por las risas y los buenos momentos que aligeraron la carga universitaria, y por no dejarme caer cuando el camino se ponía difícil. Su amistad es lo mejor que me llevo de esta etapa.

Un agradecimiento especial a Guadamud y Carrillo, quienes fueron parte clave y con su generosidad me ayudaron a culminar con éxito este proyecto.

A todas las personas que se cruzaron en el camino, que aportaron en mi crecimiento profesional y me enseñaron un poco más del mundo de la ingeniería civil, gracias por creer en mis capacidades y darme la oportunidad de demostrarlas.



---

Ivonne Marliese Delgado Véliz

C.I 131628646-5

**Autora**

## **SÍNTESIS**

La fibra de carbono es muy reconocida por su excepcional resistencia y ligereza, lo que la convierte en una candidata potencial para aumentar la durabilidad de una infraestructura. Esta investigación se centra en el prometedor campo de esta fibra como refuerzo incorporado en la mezcla de hormigón destinado a pavimentos rígidos.

El objetivo principal es verificar si la adición estratégica de esta fibra de alto rendimiento puede superar la resistencia mínima requerida. Específicamente, se busca alcanzar y sobrepasar una resistencia a la compresión de  $280 \text{ kg/cm}^2$  y una resistencia a la flexocompresión mínima de  $40 \text{ kg/cm}^2$ , cotejando siempre los resultados obtenidos por el hormigón tradicional.

## **PALABRAS CLAVE**

Pavimentos rígidos, dosificación de fibras, fibra de carbono, propiedades mecánicas.

**ABSTRACT**

Carbon fiber is widely recognized for its exceptional strength and lightweight properties, making it a potential candidate for enhancing infrastructure durability. This research focuses on the promising field of carbon fiber as a reinforcement integrated into the concrete mix for rigid pavements.

The main objective is to verify whether the strategic addition of this high-performance fiber can exceed the minimum required strength. Specifically, the study aims to reach and surpass a compressive strength of 27.5 MPa and a minimum flexural strength of 3.9 MPa, consistently benchmarking the results against traditional concrete.

**KEYWORDS**

Rigid pavements, Fiber dosage, Carbon fiber, Mechanical properties.

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

INTRODUCCIÓN .....	14
1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES .....	15
1.1. Antecedentes del estudio .....	15
1.2. Planteamiento del problema .....	16
1.3. Justificación.....	17
1.4. Objetivos .....	18
1.4.1. Objetivo General .....	18
1.4.2. Objetivos Específicos .....	18
1.5. Hipótesis.....	19
1.6. Variables.....	19
1.7. Alcances y limitaciones.....	19
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Hormigón .....	21
2.1.1. Composición y propiedades del hormigón .....	22
2.1.2. Hormigón para pavimentos rígidos .....	22
2.2. Materiales constituyentes del hormigón.....	24
2.2.1. Cemento.....	24
2.2.2. Agregados pétreos .....	25
2.2.3. Agua .....	27
2.3. Fibra de carbono.....	27
2.3.1. Proceso de fabricación.....	27
2.3.2. Propiedades físico-químicas y mecánicas .....	28
2.3.3. Aplicaciones de la fibra de carbono en la construcción .....	29
2.4. Incorporación de fibras en el hormigón .....	29
2.4.1. Tipos de fibras utilizadas en el hormigón.....	29
2.4.2. Mecanismos de refuerzo de las fibras en el hormigón .....	29

2.5.	Antecedentes de investigación sobre hormigón y fibra de carbono.....	30
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	31
3.1.	Tipo y enfoque .....	31
3.2.	Materiales y equipos.....	31
3.2.1.	Materiales .....	31
3.2.2.	Equipos y herramientas .....	32
3.2.3.	Instrumentación de ensayos.....	32
3.3.	Dosificación del hormigón.....	32
3.3.1.	Ensayos previos .....	33
3.3.2.	Parámetros de diseño.....	33
3.3.3.	Dosificación según método ACI 211 .....	35
3.3.4.	Dosificación hormigón convencional.....	35
3.3.5.	Dosificación hormigón con fibra de carbono .....	36
3.4.	Procedimiento experimental y preparación de especímenes.....	42
3.4.1.	Preparación de la fibra de carbono .....	42
3.4.2.	Proceso de mezclado y dosificación.....	43
3.4.3.	Elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas.....	44
3.4.4.	Desencofrado y curado .....	45
3.5.	Ensayos a realizar.....	46
3.5.1.	Resistencia a la compresión .....	46
3.5.2.	Resistencia a la flexocompresión .....	46
4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1.	Resultados de la resistencia a la compresión .....	47
4.2.	Resultados de la resistencia a la flexocompresión .....	50
4.3.	Discusión de los resultados .....	53
4.3.1.	Comparación entre las diferentes dosificaciones .....	53
4.3.2.	Implicaciones de los hallazgos para el uso en pavimentos rígidos .....	53

CONCLUSIONES .....54

RECOMENDACIONES .....55

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....56

ANEXOS .....58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Hormigón.....	21
<b>Figura 2.</b> Cemento Tipo HE.....	25
<b>Figura 3.</b> Agregado grueso.....	26
<b>Figura 4.</b> Agregado fino.....	26
<b>Figura 5.</b> Fibra de carbono 0.25% del peso del cemento (6.93 gr/ 0.007 kg).....	37
<b>Figura 6.</b> Fibra de carbono 0.50% del peso del cemento (13.8 gr/ 0.0138 kg).....	38
<b>Figura 7.</b> Fibra de carbono 0.75% del peso del cemento (20.8 gr/ 0.0208 kg).....	39
<b>Figura 8.</b> Fibra de carbono 1% del peso del cemento (27.6 gr/ 0.0276 kg).....	40
<b>Figura 9.</b> Fibra de carbono 0.50% del peso del cemento (99.2 gr/ 0.992 kg).....	41
<b>Figura 10.</b> Fibra de carbono 1% del peso del cemento (198,4 gr/ 0,1984 kg).....	42
<b>Figura 11.</b> Filamentos de fibra de carbono 25 mm.....	43
<b>Figura 12.</b> Homogenización en seco de los materiales.....	43
<b>Figura 13.</b> Incorporación de fibra de carbono en la mezcla.....	44
<b>Figura 14.</b> Elaboración de especímenes de hormigón.....	45
<b>Figura 15.</b> Curado de especímenes de hormigón.....	45

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Parámetros de diseño de los áridos. ....	34
<b>Tabla 2.</b> Parámetros base para diseño del hormigón.....	34
<b>Tabla 3.</b> Dosificación según método ACI 211.....	35
<b>Tabla 4.</b> Dosificación hormigón convencional probetas cilíndricas. ....	35
<b>Tabla 5.</b> Dosificación hormigón convencional probetas prismáticas. ....	36
<b>Tabla 6.</b> Dosificación hormigón con 0.25% de fibra de carbono probetas cilíndricas. ....	36
<b>Tabla 7.</b> Dosificación hormigón con 0.50 % de fibra de carbono probetas cilíndricas. ....	37
<b>Tabla 8.</b> Dosificación hormigón con 0.75 % de fibra de carbono probetas cilíndricas. ....	38
<b>Tabla 9.</b> Dosificación hormigón con 1 % de fibra de carbono probetas cilíndricas. ....	39
<b>Tabla 10.</b> Dosificación hormigón con fibra de carbono 0.50% probetas prismáticas. ....	40
<b>Tabla 11.</b> Dosificación hormigón con fibra de carbono 1% probetas prismáticas. ....	41
<b>Tabla 12.</b> Resultados ensayo de compresión a 7 días. ....	47
<b>Tabla 13.</b> Resultados ensayo de compresión a 14 días. ....	47
<b>Tabla 14.</b> Resultados ensayo de compresión a 21 días. ....	48
<b>Tabla 15.</b> Resultados ensayo de compresión a 28 días. ....	48
<b>Tabla 16.</b> Resultados ensayo de flexocompresión a 7 días. ....	50
<b>Tabla 17.</b> Resultados ensayo de flexocompresión a 14 días. ....	50
<b>Tabla 18.</b> Resultados ensayo de flexocompresión a 21 días. ....	51
<b>Tabla 19.</b> Resultados ensayo de flexocompresión a 28 días. ....	51

## INTRODUCCIÓN

El avance y desarrollo de la infraestructura vial es un eje fundamental en el crecimiento económico de las ciudades, más aún de una ciudad portuaria como lo es Manta. No obstante, el hormigón convencional comúnmente utilizado en la construcción de pavimentos rígidos, presente varios desafíos a causa de su naturaleza frágil y su limitada resistencia a la tracción. Aquellas debilidades que presenta el hormigón son propiamente derivadas de agrietamientos prematuros debido a las cargas cíclicas del tránsito pesado y a variaciones térmicas propias de la región costera.

Ante este escenario, la ingeniería ha encontrado otras alternativas en el reforzamiento del hormigón con fibras. La presente investigación denota aquella necesidad, buscando evaluar una alternativa innovadora con la incorporación de fibras de carbono en tiras de 25 mm como agregado artificial en la mezcla cementicia. Dichas fibras buscan generar un refuerzo tridimensional dentro de la matriz cementicia, es decir, se prevé que actúen como puentes de transferencia de carga y ayuden a disminuir la falla del hormigón por microfisuras.

A lo largo de este trabajo, se incorpora la fibra de carbono con el objetivo de analizar el comportamiento mecánico del hormigón con la fibra de carbono incorporada en un 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1% del peso del cemento en ensayos de compresión y al 0.50% y 1% en ensayos de flexocompresión. La investigación busca comprobar si la adición de fibra de carbono ofrece una mejora significativa en el rendimiento del hormigón convencional.

La presente investigación abarca el proceso de preparación de la fibra de carbono, el diseño de la mezcla de hormigón bajo el método ACI 211 y usando cemento de alta resistencia inicial con las diversas dosificaciones de refuerzo de fibra de carbono antes mencionadas, y la ejecución de los ensayos mecánicos de compresión y flexocompresión. Estos ensayos permiten realizar un contraste entre el desempeño del hormigón reforzado con la fibra de carbono y el hormigón convencional, lo que aporta una evidencia experimental sobre la capacidad estructural de las mezclas. El marco metodológico de esta investigación se enmarca en la normativa ASTM C192 para la elaboración de los especímenes cilíndricos y prismáticos, la norma ASTM C39 para la determinación de la resistencia a compresión y la normativa ASTM C78 para evaluar el módulo de rotura mediante el ensayo de carga en los tercios de la luz.

## 1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

### 1.1. Antecedentes del estudio

La investigación surge de la búsqueda de optimizar las propiedades del hormigón debido a la necesidad fundamental de solucionar su fragilidad inherente y potenciar su rendimiento. La idea de reforzar una matriz cementicia para compensar sus debilidades no es reciente; por el contrario, sus raíces se remontan desde la antigüedad. De acuerdo con García (2009), las civilizaciones antiguas, como la egipcia, ya utilizaban fibras naturales, tales como la paja, en los ladrillos de barro o adobe. Este método, representa uno de los antecedentes más tempranos de materiales compuestos artificiales conocidos, que fueron implementados específicamente para controlar la fisuración y la contracción.

Este principio histórico de refuerzo evolucionó hacia el estudio moderno del hormigón reforzado con fibras en la ingeniería moderna, que se formalizó y tomó un impulso significativo a partir de la década de 1960. Durante este periodo, el imponente desarrollo industrial y la demanda de estructuras más resilientes siguieron impulsando el estudio del hormigón reforzado con fibras. El objetivo principal es la incorporación de fibras (acero, vidrio o polipropileno) dispersas aleatoriamente en la mezcla, que actúen como puentes de grietas a nivel microestructural, aumentando la ductilidad y la tenacidad del material compuesto con la capacidad de disipar la energía post-agrietamiento (Anas et al., 2002).

En el diseño de pavimentos rígidos, se ha documentado mediante diferentes estudios y la literatura técnica contemporánea que el refuerzo con fibras de polipropileno o acero si mejora las propiedades esenciales del hormigón como la resistencia al impacto y la fatiga (Blas et al., 2024). Asimismo, otras investigaciones que han explorado el uso de fibras de origen natural u orgánicas, como las fibras de coco, han mostrado una mejora en su módulo de rotura y la resistencia al agrietamiento, lo que justifica la búsqueda de materiales de refuerzo más avanzados (Yepes, 2023).

Estas investigaciones sugieren que el principio de reforzamiento con fibras es un método efectivo para prolongar la vida útil y mejorar el rendimiento de los pavimentos rígidos sometidos a esfuerzos constantes. Esta base justifica la exploración de materiales de refuerzo más avanzados, para llevar el rendimiento del hormigón a un nivel superior.

## 1.2. Planteamiento del problema

La ciudad de Manta está atravesando un proceso de expansión urbana y dinamismo económico muy acelerado en los últimos años, lo que demanda una infraestructura vial capaz de garantizar una movilización fluida, eficiente y segura. En este contexto, los pavimentos rígidos han sido la elección predominante por su promesa de durabilidad y su capacidad de distribuir las cargas del tráfico pesado, además de la escasez esporádica de pavimento asfáltico.

No obstante, el hormigón, en su composición convencional posee una vulnerabilidad inherente que compromete su rendimiento y desempeño estructural a largo plazo, y es, su baja resistencia ante esfuerzos de tracción y flexión. Bajo las condiciones reales de servicio, que incluyen la aplicación constante de cargas cíclicas, las variaciones bruscas de temperatura y la presencia de humedad, especialmente en un ambiente costero como el de Manta. El esfuerzo de tracción excede tempranamente la capacidad del material, iniciando una fase de microfisuración que se propaga y evoluciona hacia el agrietamiento por fatiga.

Las consecuencias de esta degradación prematura infieren en la planificación técnica y afectan directamente en el ámbito económico, ya que las soluciones suelen causar molestias y son costosas. Las fallas tempranas y aparición de patologías en el pavimento obligan a las entidades responsables a realizar intervenciones de mantenimiento y rehabilitación mucho antes de que se cumpla el ciclo de vida proyectado en el diseño.

A pesar de que la ingeniería civil ha explorado diversas técnicas de refuerzo, implementando la adición de fibras poliméricas o mallas de acero, la mayoría de estas soluciones no han logrado optimizar de manera integral la matriz del hormigón para mitigar eficazmente el avance de su agrietamiento bajo los esfuerzos de tracción y flexión.

Ante la necesidad de incrementar la durabilidad y la resistencia del pavimento rígido, y considerando la existencia de la fibra de carbono, como un material con propiedades mecánicas excepcionales, tales como su elevado módulo elástico y su inmunidad a la corrosión, surge la siguiente interrogante: *¿Cómo influye la incorporación de fibra de carbono en las propiedades mecánicas, la resistencia y la durabilidad del hormigón para pavimentos rígidos, y en qué medida este material podría ofrecer una solución para mitigar las limitaciones actuales y prolongar la vida útil de estas estructuras en la ciudad de Manta?*

### 1.3. Justificación

La construcción y el mantenimiento de pavimentos es, sin lugar a dudas, un pilar estratégico en el desarrollo económico y social de cualquier región. En el caso muy particular de la ciudad de Manta, su infraestructura vial no solo aporta al crecimiento y movilidad urbana, sino que trasciende en el nervio central que conecta la ciudad con la economía global a través de su actividad portuaria. La constante carga de la logística portuaria que emana directamente del Puerto de Manta y fluye a través de las vías hacia lugares cercanos, impone esfuerzos mecánicos sobre la red vial. Esta demanda exige una infraestructura que sea no solo robusta, sino que presente también una buena durabilidad para evitar colapsos logísticos y económicos por mantenimientos tempranos.

La problemática del deterioro prematura de las vías se agrava en Manta por dos factores puntuales combinados: la insuficiente e inadecuada práctica de mantenimiento vial y la persistencia de las cargas pesadas cíclicas. Esta combinación acelera el proceso de fatiga del hormigón convencional, cuyas limitaciones inherentes de baja resistencia a la tracción y flexión resultan insuficientes frente a tales exigencias impuestas por el tráfico portuario. Aunque la utilización de materiales de mayor calidad en el hormigón tradicional es una alternativa viable, a menudo esto suele elevar drásticamente los costos iniciales sin ofrecer una solución definitiva contra la fisuración y la fatiga.

En este contexto de alta demanda y exigencia técnica, la incorporación de fibra de carbono surge como una solución prometedora. Las reconocidas propiedades mecánicas de este material, especialmente su alta resistencia a la tracción, ligereza y durabilidad ante agentes químicos agresivos, sugieren un considerable potencial para mejorar significativamente las propiedades mecánicas del hormigón.

A diferencia de otras fibras, la fibra de carbono ofrece un rendimiento superior en términos de refuerzo, durabilidad y peso, y su implementación no solo busca elevar la capacidad de resistencia del hormigón, sino que podría aumentar la vida útil de los pavimentos rígidos y una menor necesidad de intervención por mantenimiento, que son aspectos importantes para una ciudad con las particularidades viales como Manta.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo General***

Evaluar la influencia de la incorporación de fibra de carbono en las propiedades mecánicas (resistencia a compresión y flexocompresión) de una dosificación de hormigón destinado a la construcción de pavimentos rígidos en la ciudad de Manta.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Diseñar las mezclas experimentales de hormigón para pavimento (mezcla control y con diferentes porcentajes de fibra de carbono), definiendo la dosificación óptima de los componentes.
- Elaborar las probetas de hormigón (cilíndricas y prismáticas) según las dosificaciones diseñadas y las normativas vigentes, garantizando el control de calidad.
- Determinar las propiedades en estado endurecido, evaluando la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión para cada dosificación.
- Analizar e interpretar los resultados experimentales para establecer la correlación entre el porcentaje de fibra de carbono y la mejora del rendimiento mecánico del hormigón.

### **1.5. Hipótesis**

La incorporación de fibra de carbono como agregado artificial en el hormigón para pavimento rígido aumenta su resistencia.

### **1.6. Variables**

Independientes: Hormigón, Fibra de carbono

Dependientes: Resistencia a la compresión y flexocompresión.

### **1.7. Alcances y limitaciones**

La presente investigación se ha diseñado bajo un alcance definido y focalizado, con el objetivo de garantizar que los resultados sean precisos y aplicables el contexto específico. El principal alcance temático se centra rigurosamente en la evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón, haciendo especial énfasis en determinar cómo la incorporación de la fibra de carbono optimiza la respuesta del rendimiento estructural del material ante solicitudes de carga axial o de compresión y, crucialmente, ante esfuerzos de flexocompresión para pavimentos rígidos.

Así pues, desde la perspectiva metodológica, la presente investigación se basa en la experimentación controlada en condiciones de laboratorio, y se garantiza la confiabilidad y validez de los datos mediante el diseño de mezclas y el moldeo de las probetas estandarizadas, que serán sometidas a ensayos, de acuerdo con las normativas técnicas vigentes (ACI, NTE INEN, ASTM).

Por otro lado, el alcance geográfico está ligado a la problemática vial de Manta, de tal manera que el impacto de esta investigación se vincula de forma directa con su red vial. Así pues, se busca proponer una solución técnica que sea directamente aplicable para mejorar la durabilidad de la infraestructura de transporte en esta ciudad e incrementar su vida útil ante la demanda logística portuaria.

A pesar de los claros alcances, es fundamental reconocer las limitaciones que condicionan esta investigación. En primer lugar, existe una limitación de orden temporal debido a que la evaluación de las propiedades del hormigón se restringirá a edades tempranas y convencionales de control de calidad, alcanzando un máximo de 28 días; por lo tanto, la

durabilidad a largo plazo frente a fenómenos extremos como la corrosión acelerada o la exposición a ciclos prolongados de clima marino solo podrá ser proyectado a través de los resultados de laboratorio y no mediante una prueba de campo extendida, y en esta investigación no se realizarán dichas pruebas.

En segundo lugar, dentro del contexto del alcance técnico, en esta investigación se usaron materiales provenientes de canteras locales situadas en el entorno de la ciudad de Manta. Con el objetivo de evitar sesgos metodológicos o conveniencias comerciales, la investigación no se limita al uso de una sola fuente de suministro específica. Por el contrario, los agregados finos y grueso se seleccionaron por su libre acceso en el mercado local con el fin de que los resultados obtenidos sean representativos al hormigón que se produce y coloca habitualmente en la infraestructura vial de la zona.

Por último, los resultados se obtienen de probetas de dimensiones estándar y no de un tramo de pavimento rígido de prueba construido in situ, lo cual representa una limitación de escala que requerirá cautela al extrapolar los hallazgos directamente a la construcción y operación a gran escala.

## 2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Hormigón

El hormigón se ha consolidado como un material de construcción por excelencia, constituyendo la columna vertebral de nuestra infraestructura moderna gracias a su versatilidad. Este material es una mezcla heterogénea de cemento, agregados y agua, que ofrece una excelente resistencia a la compresión (Neville, 2011). Desde una perspectiva físico-química, el hormigón es producto de una reacción química de hidratación entre el cemento (conglomerante) y el agua, lo cual genera una pasta aglutinante que integra a los agregados finos y gruesos en una sola matriz sólida.

Sin embargo, a pesar de sus bondades, el hormigón presenta limitaciones como lo es su inherente baja resistencia a la tracción y fragilidad, características que lo hacen susceptible a la fisuración temprana. No obstante, debido a su rigidez y capacidad para distribuir las cargas, el hormigón sigue siendo el material para elección en la construcción de pavimentos rígidos.

En contextos o entornos con un alto impacto de tráfico pesado, la vida útil de los pavimentos de hormigón se ve seriamente comprometida por los fenómenos de fatiga y degradación del material.

#### **Figura 1**

*Hormigón.*



*Nota.* La imagen representa el hormigón en estado fresco. Fuente: propia.

### ***2.1.1. Composición y propiedades del hormigón***

El hormigón se posiciona como el material de construcción más usado a nivel mundial, caracterizado por su robustez, durabilidad y versatilidad. Su composición básica incluye cuatro elementos fundamentales: cemento Portland, agregados (finos y gruesos), agua y, en ocasiones, aditivos y adiciones para modificar sus características físicas y mecánicas (Mehta & Monteiro, 2014).

El comportamiento y calidad del hormigón se evalúa en dos estados fundamentales:

- 1. Estado fresco:** Este periodo comprende desde el mezclado hasta el inicio del fraguado, el hormigón debe comportarse como un fluido denso y manejable. Propiedades como la trabajabilidad, consistencia y cohesión son cruciales ya que garantizan un adecuado proceso de colocación y compactación del hormigón, con lo cual se evita la segregación o exudación que compromete la integridad de la estructura.
- 2. Estado endurecido:** En este periodo el material desarrolla sus capacidades mecánicas. La propiedad mecánica más importante es la resistencia a la compresión, medida a los 28 días de curado. No obstante, el hormigón exhibe una baja resistencia a la tracción y una naturaleza frágil, lo que lo hace susceptible a la fisuración y al fallo por flexión o tracción.

### ***2.1.2. Hormigón para pavimentos rígidos***

El hormigón diseñado para pavimentos rígidos se distingue de otras aplicaciones estructurales debido a los severos requisitos de servicio y la exposición directa a factores ambientales severos. A diferencia de las estructuras como los edificios, el pavimento funciona como una losa continua o articulada cuya función principal es distribuir las cargas vehiculares sobre un área amplia de la subrasante, trabajando predominantemente a flexocompresión donde las fibras inferiores de la losa deben resistir las tensiones para prevenir el fallo estructural (Huang, 2004).

Por ello, la propiedad mecánica fundamental para el diseño de pavimentos rígidos no es solo la resistencia a la compresión, sino principalmente la resistencia a la flexión, que es una propiedad definida como el Módulo de Rotura (ACI Committee 325, 2015). Un alto módulo de rotura es esencial para:

- Soportar las cargas repetidas de tránsito pesado (fatiga) sin incurrir en una degradación prematura.
- Controlar el agrietamiento por esfuerzos térmicos y de contracción.
- Garantizar una vida útil prolongada con bajos requerimientos de mantenimiento, que infiere en la sostenibilidad de la inversión en infraestructura.

Para que el sistema de pavimento rígido funcione correctamente, el hormigón debe poseer ciertas propiedades específicas:

1. **Módulo de Rotura:** Es un parámetro crítico de diseño que representa la resistencia a la tracción por flexión y suele oscilar entre 3.5 y 5.0 MPa (500 a 700 psi). Se determina mediante el ensayo de viga cargada en los tercios de la luz (ASTM C78).
2. **Durabilidad y resistencia a la abrasión:** La superficie debe resistir el desgaste mecánico de los neumáticos y la acción de agentes químicos, además de los cambios de temperatura.
3. **Baja relación agua/cemento:** Generalmente se utilizan relaciones que garanticen una mezcla densa, para reducir la permeabilidad y minimizar la retracción hidráulica.
4. **Trabajabilidad adecuada:** Se requiere una consistencia de bajo asentamiento sin perder la trabajabilidad de la mezcla, con el objetivo de tener un mejor fraguado y habilitar el tránsito lo antes posible.

Por otro lado, un pavimento rígido no actúa de forma aislada; su eficiencia depende de una transición gradual de rigidez entre las capas que lo componen:

- **Losa de hormigón:** Es la superficie de rodadura, la capa superior que recibe directamente el impacto del tráfico y las variaciones climáticas. Su rigidez permite absorber la mayor parte de los esfuerzos.
- **Subbase:** Capa de material granular que proporciona un apoyo uniforme, controla el bombeo de finos y ayuda a drenar el agua.
- **Subrasante:** Es el terreno natural preparado. A pesar de que el hormigón reduce la presión sobre esta capa, es vital tener una subrasante estable para evitar asentamientos diferenciales.

## **2.2. Materiales constituyentes del hormigón**

El desempeño mecánico y la durabilidad de una estructura de hormigón, especialmente en aplicaciones de alta exigencia como los pavimentos rígidos, dependen de tres aspectos fundamentales: la calidad de sus materiales, la correcta ejecución y dosificación de la mezcla, y el control riguroso del proceso de curado. La interacción entre todos estos factores determina las propiedades mecánicas esenciales como la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexocompresión.

En el contexto de esta investigación, se ha seleccionado material que responda a los estándares normativos vigentes. A continuación, se describen los componentes vitales del hormigón, destacando los criterios de calidad que influirán directamente en el cumplimiento de la resistencia objetivo de esta investigación.

### **2.2.1. Cemento**

El cemento es el componente reactivo y aglomerante del hormigón; al mezclarse con el agua, forma la pasta que une a los agregados y desarrolla su resistencia. La selección del tipo de cemento es un factor determinante en el diseño de la mezcla, puesto que debe garantizar no solo la trabajabilidad en estado fresco, sino también el desarrollo de la resistencia mecánica necesaria para soportar las solicitudes de carga en pavimentos rígidos (American Concrete Institute, 2019).

Para efectos de esta investigación se utilizará cemento tipo HE, elaborado según la norma NTE INEN 2380. El cemento seleccionado, tipo HE de alta resistencia inicial, se caracteriza por su capacidad de desarrollar altos niveles de resistencia a edades tempranas. Si bien el objetivo de  $280 \text{ kg/cm}^2$  se verifica a los 28 días, el uso del cemento HE aporta una mayor confiabilidad en el cumplimiento de esta meta y puede permitir una reducción en el tiempo de fraguado requerido en obra, lo que facilita una respuesta en servicio más rápida en condiciones reales de obra.

La consistencia en la calidad del cemento es vital para que las variaciones de resistencia observadas sean atribuibles únicamente a la manipulación de la variable independiente y no a fluctuaciones en las propiedades del aglomerante.

## Figura 2

*Cemento Tipo HE.*



*Nota.* En la imagen presentada se puede observar el cemento tipo HE utilizado en esta investigación. Imagen tomada de <https://ferreteriaacano.com/product/cemento-chimborazo-he/>.

### 2.2.2. Agregados pétreos

Los agregados, conocidos técnicamente como áridos, son materiales granulares inertes que constituyen entre el 60% y el 75% del volumen total de la mezcla de hormigón. Su función principal es proporcionar masa, estabilidad volumétrica y resistencia a la abrasión. Estos materiales provienen en muchos casos de la fragmentación natural y se encuentran en depósitos aluviales, en otros casos provienen de manera artificial por la trituración de roca madre.

La literatura especializada resalta la versatilidad de los agregados, utilizándolos extensamente en la base, sub-base y relleno de carreteras, así como en combinación con un material cementicio para formar los concretos de superficies y estructuras de drenaje (Neville, 2011). Es fundamental que los agregados seleccionados cumplan con criterios estrictos, incluyendo la ausencia de impurezas, una graduación granulométrica óptima para reducir los vacíos, y una adecuada durabilidad para resistir el ataque químico y mecánico.

En la presente investigación experimental los agregados utilizados para la fabricación del hormigón son provenientes de canteras cercanas a las localidades de Manta y Montecristi, es decir, se emplearán agregados de fácil acceso y comúnmente utilizados en la construcción local. Así pues, las dos clasificaciones principales de áridos usadas son:

- **Agregado grueso (Grava o Ripio):** Compuesto por partículas de piedra natural triturada, su calidad superficial y resistencia a la abrasión influirá directamente en el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión del hormigón. Se evaluará su resistencia a la abrasión y su densidad según normativas vigentes.

### Figura 3

*Agregado grueso.*



*Nota.* La imagen representa el agregado grueso utilizado en la investigación. Fuente: propia.

- **Agregado fino (Arena):** Consiste en arena lavada o arena homogenizada, que es crucial para la trabajabilidad de la mezcla en estado fresco y para rellenar los vacíos entre las partículas de agregado grueso. Su finura, limpieza y módulo son esenciales para evitar reacciones perjudiciales y asegurar una buena adherencia con la pasta de cemento.

### Figura 4

*Agregado fino.*



*Nota.* La imagen representa el agregado fino utilizado en la investigación, arena lavada y arena homogenizada. Fuente: propia.

### **2.2.3. Agua**

El agua cumple un doble rol en la elaboración del hormigón, ya que reacciona con el cemento en el proceso de hidratación y actúa como un lubricante para facilitar la mezcla y la colocación del hormigón en estado fresco. De acuerdo con Kosmatka et al. (2004), cualquier agua que sea potable, inodora e insípida puede utilizarse como agua de mezclado para el hormigón. En consecuencia, para el desarrollo de esta investigación se utilizará agua potable proveniente del sistema de suministro de la ciudad de Manta, la cual está manejada por la empresa EPAM.

La proporción de agua respecto al cemento es el factor más determinante de la resistencia y durabilidad. Así pues, la relación a/c será cuidadosamente controlada y ajustada en el diseño de mezclas para alcanzar la resistencia objetivo, tomando en cuenta que el uso de fibras puede demandar ajustes en esta proporción para mantener una trabajabilidad adecuada.

Finalmente, el agua también es un componente esencial en el proceso de curado de las probetas. Un adecuado proceso de curado garantiza la hidratación del cemento de forma ininterrumpida, permitiendo que el hormigón desarrolle su estructura interna y alcance las propiedades mecánicas proyectadas.

## **2.3. Fibra de carbono**

La fibra de carbono se define como un material compuesto de alto rendimiento mecánico (Huckins, 2013). Es caracterizado como un material filamentosos delgado, de 5 a 10 micrones de diámetro, que se compone casi en su totalidad de átomos de carbono, organizados en estructuras cristalinas hexagonales que se alinean de forma paralela al eje de la fibra, lo que le confiere sus propiedades excepcionales (Reyes, 2015).

### **2.3.1. Proceso de fabricación**

La síntesis de la fibra de carbono es un proceso termoquímico muy complejo, pero que define su rendimiento final. Generalmente, el proceso implica varias etapas cruciales que transforman un material precursor orgánico, que comúnmente es el poliacrilonitrilo y que pasa por las siguientes etapas descritas a continuación:

1. **Estabilización (Oxidación):** La fibra precursora debe someterse a calor, entre 200°C a 300°C, en una atmósfera oxidante para crear anillos moleculares estables y prepararla para la siguiente etapa, la carbonización.
2. **Carbonización:** En esta etapa, la fibra estabilizada se calienta a temperaturas extremadamente altas (generalmente entre 1000°C y 3000°C) en una atmósfera inerte. Durante este proceso, se eliminan los elementos no carbonosos, resultando en una fibra con un alto contenido de carbono y una estructura cristalina pura.
3. **Tratamiento superficial y encolado:** Etapa final donde se aplica un tratamiento superficial para mejorar su adherencia, además se aplica un agente de encolado (sizing) para proteger las fibras durante la manipulación y optimar su dispersión en la mezcla.

### 2.3.2. *Propiedades físico-químicas y mecánicas*

Las propiedades intrínsecas de la fibra de carbono la sitúan como uno de los refuerzos más avanzados disponibles en ingeniería, por ello se describen algunas de ellas a continuación:

- **Alta resistencia a la tracción:** La fibra de carbono puede superar en varias veces la resistencia a la tracción del acero, ofreciendo una capacidad superior para soportar fuerzas de tensión y fisuración.
- **Alto módulo de elasticidad (rigidez):** Le otorga una rigidez y una mínima deformación bajo tensión, lo que es vital para limitar la apertura de fisuras en el hormigón.
- **Baja densidad (ligereza):** Es significativamente más ligera que el acero y la mayoría de los materiales de construcción. Esta característica optimiza la relación resistencia/peso de la estructura.
- **No corrosiva:** A diferencia del acero, la fibra de carbono es inerte ante la corrosión por humedad y cloruros, lo cual es vital en ambientes agresivos, esta característica es crucial para prolongar la durabilidad del pavimento en ambientes costeros como Manta.
- **Buena resistencia química y térmica:** Mantiene su integridad bajo condiciones ambientales extremas.

Todas estas características hacen de la fibra de carbono un material ideal para mejorar la tenacidad y la durabilidad de la matriz de hormigón (Chung, 2004).

### ***2.3.3. Aplicaciones de la fibra de carbono en la construcción***

Tradicionalmente, la fibra de carbono se ha utilizado dentro de la ingeniería civil en forma de polímeros reforzados que se aplican como refuerzo externo y en la rehabilitación de estructuras de hormigón existentes (ACI Committee 440, 2017). Sin embargo, la investigación moderna se ha expandido a:

- **Refuerzo interno disperso:** Incorporación de fibras cortas de carbono directamente en la mezcla fresca, buscando una micro-armadura tridimensional (AZoBuild, 2023).
- **Construcción innovadora:** El uso de fibra de carbono está impulsando un nuevo paradigma en el diseño de elementos estructurales más delgados, ligeros y duraderos, como la ejemplifican proyectos como la casa CUBE (Allplan, 2022).

## **2.4. Incorporación de fibras en el hormigón**

### ***2.4.1. Tipos de fibras utilizadas en el hormigón***

El concepto de hormigón reforzado con fibras abarca una amplia gama de materiales, cada uno con propiedades específicas diferentes que influyen en la matriz cementicia (Bentur & Mindess, 2007). Entre las fibras más usadas se tienen:

- **Fibras de acero:** Usadas principalmente para mejorar la tenacidad, la resistencia a la fatiga y el control de fisuras.
- **Fibras de polipropileno:** Eficaces en el control de la fisuración por retracción plástica en estado fresco del hormigón.
- **Fibras de vidrio:** Ofrecen alta resistencia, pero requieren además de tratamientos alcalinos resistentes.
- **Fibras naturales:** Incluyen fibras de coco, bambú, caña de azúcar, entre otras, que son usadas con un enfoque de sostenibilidad.

### ***2.4.2. Mecanismos de refuerzo de las fibras en el hormigón***

El refuerzo del hormigón mediante fibras se rige por un mecanismo de control de fisuración. Las fibras actúan impidiendo la apertura de las microfisuras incipientes cuando se presentan tensiones en la matriz (Naaman, 2007). Este fenómeno confiere al hormigón su característica más deseada: la tenacidad.

## **2.5. Antecedentes de investigación sobre hormigón y fibra de carbono**

La incorporación de las fibras de carbono dentro de la mezcla fresca, no solo representa una adición volumétrica, sino que altera principalmente propiedades mecánicas del hormigón. Según Chung (2004), la fibra de carbono se distingue por sus propiedades mecánicas sobresalientes, que incluyen una elevada resistencia, un alto módulo de elasticidad y una densidad muy baja. Dichas cualidades, destacadas también por fabricantes como Tejin Carbon (2024), posicionan a la fibra de carbono como un refuerzo ideal para materiales que necesitan una mejora sustancial en su resistencia.

La adición de estas fibras a la mezcla cementicia tiene el potencial de mitigar la fragilidad del hormigón, transformándolo en un material más dúctil, capaz de redistribuir y absorber la energía generada por las cargas (Dlubal Software, 2023). Aquello, es fundamental para el diseño de pavimentos rígidos de alto rendimiento (AzoBuild, 2023). Un claro ejemplo del potencial de este material se ve reflejado en proyectos de vanguardia, como la casa CUBE, que demuestra la viabilidad de la construcción con hormigón reforzado con fibra de carbono (Allplan, 2022).

Las propiedades mecánicas del hormigón son el objeto principal de estudio cuando se incorpora la fibra de carbono como refuerzo. La investigación sugiere que la incorporación de dichas fibras influye positivamente en la resistencia a la compresión del hormigón (Castro, 2019; Tisalema, 2023), pero su mayor impacto se observa en la mejora de la resistencia a la flexión, tenacidad y control de fisuras. Según Moncayo et al. (2016), las fibras de carbono actúan como puentes en las microfisuras, impidiendo su propagación y mejorando el comportamiento del material bajo cargas. Estos hallazgos, realizados en dichas investigaciones para reforzamiento de estructuras, señalan que la fibra de carbono es una alternativa eficaz.

### 3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y enfoque

La presente investigación se sustenta en un diseño metodológico riguroso, el cual define el camino para alcanzar los objetivos propuestos. El estudio se clasifica como una investigación experimental con un componente aplicado.

Es experimental porque se llevará a cabo una manipulación controlada de la variable independiente, que es la dosificación de la fibra de carbono, para medir su efecto causal sobre las propiedades mecánicas del hormigón. Este proceso requiere la comparación sistemática de un grupo patrón (sin adición de fibras) con grupos experimentales (adición de fibra).

El carácter aplicado se establece al buscar que los resultados obtenidos en el laboratorio sean directamente traducibles a la resolución de un problema práctico y real en la infraestructura vial de Manta.

Se adopta un enfoque cuantitativo. Este enfoque es fundamental para la ingeniería civil, ya que la recopilación de datos se basará en la medición numérica estandarizada de las propiedades mecánicas del hormigón.

#### 3.2. Materiales y equipos

Dentro del presente trabajo de investigación, para la elaboración de las probetas y vigas de hormigón que se ensayarán con el fin de determinar su resistencia a la compresión y flexocompresión, se necesitaron emplear los siguientes materiales y equipos detallados a continuación:

##### 3.2.1. *Materiales*

- **Conglomerante:** Cemento tipo HE (alta resistencia inicial), caracterizado por su alta resistencia inicial, conforme a la norma NTE INEN 2380.
- **Agregado fino:** Arena lavada y arena homogenizada, provenientes de canteras de Manabí y seleccionadas para garantizar una granulometría óptima de la mezcla.
- **Agregado grueso:** Piedra triturada proveniente de canteras de Manabí, con un tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4").

- **Agua potable:** Libre de impurezas.
- **Fibra de carbono:** Refuerzo incorporado en la mezcla como elemento de mejora estructural.

### 3.2.2. *Equipos y herramientas*

- **Moldes:**
  - Cilíndricos de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura para ensayos de compresión.
  - Prismáticos de 15 cm x 15 cm x 50 cm para ensayos de flexocompresión.
- **Equipos de medición y mezclado:**
  - Báscula electrónica para el pesaje de los componentes.
  - Probeta graduada para el control volumétrico del agua.
  - Concretera de tambor rotatorio para asegurar la homogeneidad de la mezcla.
- **Herramientas de compactación y acabado:**
  - Varilla lisa de punta redondeada.
  - Martillo de goma para eliminación de vacíos.
  - Bailejo
  - Cuchara.
  - Recipientes para curado de los especímenes de hormigón.

### 3.2.3. *Instrumentación de ensayos*

- Prensa hidráulica para ensayos de hormigón (ensayo de compresión).
- Máquina Universal de ensayos configurada con apoyos para la aplicación de carga en los tercios de la luz (ensayo de flexocompresión).

## 3.3. **Dosificación del hormigón**

La dosificación del hormigón se determinó mediante el método ACI 211, utilizando las propiedades físicas de los materiales componente del hormigón, obtenidas previamente en laboratorio. Dichos ensayos permitieron establecer los parámetros necesarios para la aplicación rigurosa de la metodología de diseño.

### **3.3.1. Ensayos previos**

Con el objetivo de garantizar que los componentes del hormigón cumplieran con los estándares de calidad necesarios para realizar la dosificación, se llevaron a cabo diversos ensayos de laboratorio a los áridos (arena y grava) se detallan a continuación:

- ASTM C136: Método de prueba estándar para análisis por tamizado de agregados finos y gruesos.
- ASTM C127: Método de prueba estándar para la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos.
- ASTM C128: Método de ensayo normalizado para determinar densidad, densidad relativa (peso específico) y la absorción de áridos finos.
- ASTM C131: Método de ensayo normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina Los Ángeles.
- ASTM C566-19: Método de prueba estándar para el contenido de humedad evaporable del agregado por secado.
- ASTM C138: Método de ensayo para determinar densidad aparente suelta y compacta.

A su vez, debido al uso del cemento tipo HE, se verificaron sus propiedades para un comportamiento predecible en la mezcla. Para aquello, mediante el ensayo ASTM C188 se determinó la densidad del cemento hidráulico (gravedad específica).

### **3.3.2. Parámetros de diseño**

Tras la ejecución de los ensayos de laboratorio anteriormente mencionados, se obtuvieron los siguientes valores necesarios para proceder con la dosificación del hormigón. En la Tabla 1 se describen los parámetros correspondientes a los áridos utilizados en la dosificación.

**Tabla 1**

Parámetros de diseño de los áridos

<b>Ensayo ASTM</b>	<b>Agregado fino</b>	<b>Agregado grueso</b>
Análisis Granulométrico (C136)	1.58	5.4
Módulo de Finura		
Densidad (C127, C128) [kg/m <sup>3</sup> ]	2206.09	2594.00
Absorción % (C127, C128)	15.67	1.29
Determinación del valor de la degradación del árido grueso %	-	13.74
Contenido de Humedad %	21.76	4.86
Densidad Aparente Suelta (C138) [kg/m <sup>3</sup> ]	1071.69	1225.53
Densidad Aparente Compactada (C138) [kg/m <sup>3</sup> ]	1331.30	1384.53

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

Así mismo, en la Tabla 2 se resumen los parámetros seleccionados como base para la dosificación mediante el método ACI 211 con relación al conglomerante utilizado y demás factores influyentes.

**Tabla 2**

Parámetros base para diseño del hormigón.

<b>Parámetro de diseño</b>	<b>Especificación/ Valor</b>
Resistencia [kg/cm <sup>2</sup> ]	280
Peso específico del cemento (Densidad) [kg/m <sup>3</sup> ]	2920
Consistencia (Asentamiento) [cm]	7.5
Contenido de aire	Sin aire incluido
Condiciones ambientales	Condiciones normales (exposición moderada)

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

### 3.3.3. Dosificación según método ACI 211

Siguiendo el método ACI 211 para la elaboración de la dosificación, se obtuvo el siguiente diseño que detalla las cantidades y proporciones en la Tabla 3:

**Tabla 3**

Dosificación según método ACI 211.

Descripción	Peso [kg/m <sup>3</sup> ]	Proporción
Cemento	440.86	1
Arena homogenizada	244.98	1.39
Arena lavada	367.46	
Ripio	1077.25	2.44
Agua	137.69	

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

### 3.3.4. Dosificación hormigón convencional

En la tabla 4, se presenta la dosificación obtenida mediante el método ACI 211 para hormigón convencional con una resistencia a compresión  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .

**Tabla 4**

Dosificación hormigón convencional probetas cilíndricas.

Hormigón convencional probetas cilíndricas	
MD 0%	
Componentes	Peso [kg]
Cemento	3
Arena homogenizada	1.5
Arena lavada	2.3
Ripio	6.8
Agua	1.3

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

En la tabla 5, se presenta la dosificación obtenida mediante el método ACI 211 para hormigón convencional con una resistencia a flexocompresión  $f'c = 40 \text{ kg/cm}^2$  (3.9 MPa).

**Tabla 5**

Dosificación hormigón convencional probetas prismáticas.

<b>Hormigón convencional probetas prismáticas</b>	
MD 0%	
<b>Componentes</b>	<b>Peso [kg]</b>
Cemento	22
Arena homogenizada	12.1
Arena lavada	18.2
Ripio	53.3
Agua	9.2

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

### **3.3.5. Dosificación hormigón con fibra de carbono**

En la tabla 6, se presenta el diseño de mezcla obtenido mediante el método ACI 211 para hormigón convencional con fibra de carbono al 0.25% en peso del cemento con una resistencia a compresión  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .

**Tabla 6**

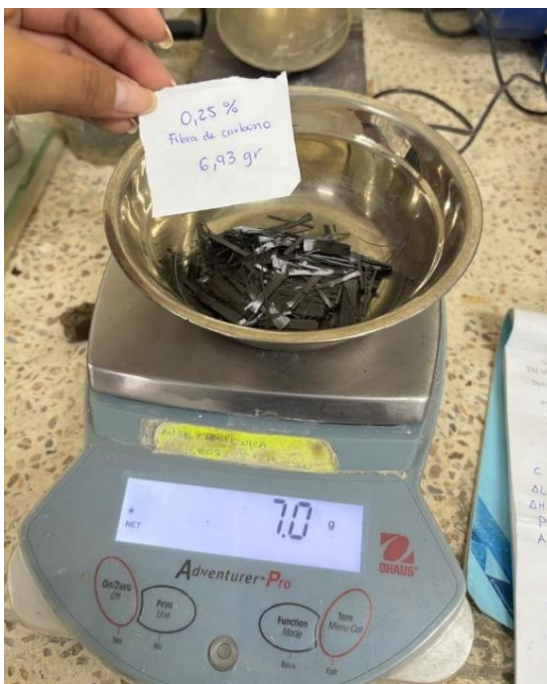
Dosificación hormigón con 0.25% de fibra de carbono probetas cilíndricas.

<b>Hormigón convencional con fibra de carbono probetas cilíndricas</b>	
MD 0.25%	
<b>Componentes</b>	<b>Peso [kg]</b>
Cemento	3
Arena homogenizada	1.5
Arena lavada	2.3
Ripio	6.8
Agua	1.3
Fibra de carbono	0.00693

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

**Figura 5**

Fibra de carbono 0.25% del peso del cemento (6.93 gr/ 0.00693 kg).



*Nota.* Fuente: propia.

En la tabla 7, se presenta el diseño de mezcla obtenido mediante el método ACI 211 para hormigón convencional con fibra de carbono al 0.50% en peso del cemento con una resistencia a compresión  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .

**Tabla 7**

Dosificación hormigón con 0.50 % de fibra de carbono probetas cilíndricas.

<b>Hormigón convencional con fibra de carbono probetas cilíndricas</b>	
MD 0.50%	
<b>Componentes</b>	<b>Peso [kg]</b>
Cemento	3
Arena homogenizada	1.5
Arena lavada	2.3
Ripio	6.8
Agua	1.3
Fibra de carbono	0.0138

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

**Figura 6**

Fibra de carbono 0.50% del peso del cemento (13.8 gr/ 0.0138 kg).



*Nota.* Fuente: propia.

En la tabla 8, se presenta el diseño de mezcla obtenido mediante el método ACI 211 para hormigón convencional con fibra de carbono al 0.75% en peso del cemento con una resistencia a compresión  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .

**Tabla 8**

Dosificación hormigón con 0.75 % de fibra de carbono probetas cilíndricas.

<b>Hormigón convencional con fibra de carbono probetas cilíndricas</b>	
MD 0.75%	
<b>Componentes</b>	<b>Peso [kg]</b>
Cemento	3
Arena homogenizada	1.5
Arena lavada	2.3
Ripio	6.8
Agua	1.3
Fibra de carbono	0.0208

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

**Figura 7**

Fibra de carbono 0.75% del peso del cemento (20.8 gr/ 0.0208 kg).



*Nota.* Fuente: propia.

En la tabla 9, se presenta el diseño de mezcla obtenido mediante el método ACI 211 para hormigón convencional con fibra de carbono al 1% en peso del cemento con una resistencia a compresión  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .

**Tabla 9**

Dosificación hormigón con 1 % de fibra de carbono probetas cilíndricas.

<b>Hormigón convencional con fibra de carbono probetas cilíndricas</b>	
MD 1%	
<b>Componentes</b>	<b>Peso [kg]</b>
Cemento	3
Arena homogenizada	1.5
Arena lavada	2.3
Ripio	6.8
Agua	1.3
Fibra de carbono	0.0276

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

**Figura 8**

Fibra de carbono 1% del peso del cemento (27.6 gr/ 0.0276 kg).



*Nota.* Fuente: propia.

En la tabla 10, se presenta el diseño de mezcla obtenido mediante el método ACI 211 para hormigón convencional con fibra de carbono al 0.50 % en peso del cemento con una resistencia a flexocompresión  $f'c = 40 \text{ kg/cm}^2$  (3.9 MPa).

**Tabla 10**

Dosificación hormigón con fibra de carbono 0.50% probetas prismáticas.

<b>Hormigón convencional con fibra de carbono probetas prismáticas</b>	
MD 0.50%	
<b>Componentes</b>	<b>Peso [kg]</b>
Cemento	22
Arena homogenizada	12.1
Arena lavada	18.2
Ripio	53.3
Agua	9.2
Fibra de carbono	0.0992

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

**Figura 9**

Fibra de carbono 0.50% del peso del cemento (99.2 gr/ 0.0992 kg).



*Nota.* Fuente: propia.

En la tabla 11, se presenta el diseño de mezcla obtenido mediante el método ACI 211 para hormigón convencional con fibra de carbono al 1% en peso del cemento con una resistencia a flexocompresión  $f'c = 40 \text{ kg/cm}^2$  (3.9 MPa).

**Tabla 11**

Dosificación hormigón con fibra de carbono 1% probetas prismáticas.

<b>Hormigón convencional con fibra de carbono probetas prismáticas</b>	
MD 1%	
<b>Componentes</b>	<b>Peso [kg]</b>
Cemento	22
Arena homogenizada	12.1
Arena lavada	18.2
Ripio	53.3
Agua	9.2
Fibra de carbono	0.1984

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

**Figura 10**

Fibra de carbono 1% del peso del cemento (19.4 gr/ 0.1984 kg).



*Nota.* Fuente: propia.

### **3.4. Procedimiento experimental y preparación de especímenes**

En este apartado se detalla el protocolo a seguir para el adecuado uso e incorporación de los materiales, la dosificación de la mezcla y el proceso de moldeo de las probetas.

Se realizarán especímenes de control, es decir, sin fibra de carbono y otros con fibra de carbono al 0.25 %, 0.50%, 0.75% y 1% del peso del cemento para los ensayos de compresión y para los ensayos de flexocompresión con fibra al 0.50% y 1%.

#### ***3.4.1. Preparación de la fibra de carbono***

La fibra de carbono se suministró en forma de filamentos cortados, es decir, pasaron por un proceso de cortado controlado para obtener unidades discretas de 25 mm de longitud. Dicha dimensión fue adecuada para garantizar una distribución uniforme dentro de la mezcla cementicia y optimizar el anclaje mecánico, con lo cual se evitó la formación de aglomeraciones o grumos durante el mezclado.

**Figura 11**

Filamentos de fibra de carbono 25 mm.



*Nota.* La fibra de carbono fue adquirida ya cortada como se muestra en la imagen. Fuente: propia.

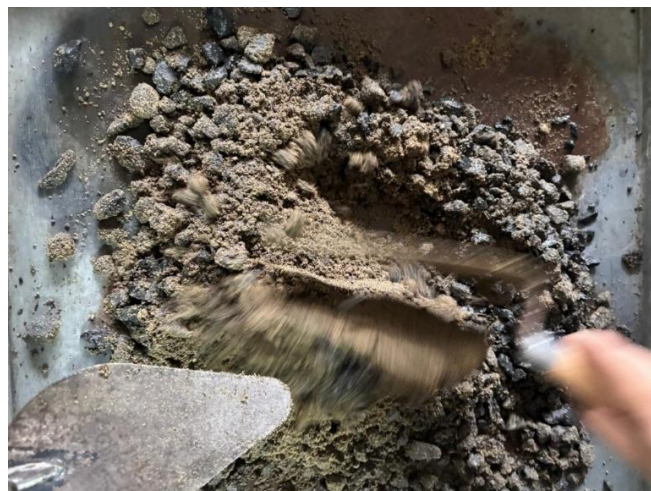
**3.4.2. Proceso de mezclado y dosificación**

Con el fin de asegurar la homogeneidad del material y la distribución uniforme de las fibras, se siguió un protocolo de mezclado detallado a continuación:

- 1. Homogenización en seco:** Se introdujo el cemento HE y los agregados (fino y grueso) y se realizó un mezclado previo hasta integrar todos los materiales.

**Figura 12**

Homogenización en seco de los materiales.



*Nota.* Previo al mezclado, el agregado grueso fue lavado para eliminar finos superficiales y los instrumentos fueron humedecidos para evitar la absorción del agua de diseño. Fuente: propia.

2. **Incorporación de la fibra:** Las tiras de fibra de carbono de 25 mm se añadieron de forma gradual a mezcla, asegurando que se dispersen uniformemente entre los agregados antes de la hidratación.

### Figura 13

Incorporación de fibra de carbono en la mezcla.



*Nota.* Las fibras fueron incorporadas garantizando su distribución de manera homogénea.  
Fuente: propia.

3. **Adición de agua:** Se incorporó el agua de amasado de manera gradual en base a la dosificación calculada.

#### 3.4.3. *Elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas*

Una vez obtenida la mezcla con la plasticidad adecuada, se procedió con el llenado de los moldes previamente engrasados.

En el caso de las probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, se realizó el llenado en dos capas iguales compactando cada una con 25 golpes de varilla lisa para eliminar el aire atrapado y 5 golpes con el martillo de goma, siguiendo la norma ASTM C192.

Con las probetas prismáticas de base cuadrada 15 cm x 15 cm y largo 50 cm, se realizó el llenado en dos capas en una combinación de 75 golpes de varilla lisa y vibrado externo con martillo de goma, según norma ASTM C192.

**Figura 14**

Elaboración de especímenes de hormigón.



*Nota.* Fuente: propia.

**3.4.4. Desencofrado y curado**

Luego de cumplir con las 24 horas de reposo en un ambiente protegido de la evaporación directa, se realizó el desencofrado de los especímenes. Posteriormente, fueron trasladados a los recipientes de almacenamiento para su curado por medio de inmersión total en agua y, permanecieron en dichas condiciones hasta cumplir con las edades de ensayo previstas: 7, 14, 21 y 28 días.

**Figura 15**

Curado de especímenes de hormigón.



*Nota.* Fuente: propia.

### **3.5. Ensayos a realizar**

Con el objetivo de evaluar la incidencia de la fibra de carbono en las propiedades mecánicas del hormigón para pavimentos rígidos, se determinó cuantificar la capacidad de carga mediante ensayos experimentales basados en normativas internacionales.

#### ***3.5.1. Resistencia a la compresión***

Este ensayo es la prueba de calidad más común del hormigón y se llevará a cabo siguiendo el método estándar ASTM C39, el cual consiste en aplicar una carga axial de compresión, en la prensa de compresión, a los especímenes cilíndricos de 10 x 20 cm a cierta velocidad hasta alcanzar la rotura.

En esta investigación, se ensayarán probetas de hormigón convencional sin fibra añadida y hormigón con fibra de carbono a las edades de 7, 14, 21 y 28 días.

#### ***3.5.2. Resistencia a la flexocompresión***

Los pavimentos rígidos principalmente fallan bajo tensiones de tracción originadas por la flexión. Es por esto que, es necesario realizar este ensayo bajo la normativa ASTM C78 (Método de carga en los tercios de la luz). Con este objetivo, se utilizarán vigas prismáticas de 15 x 15 cm y 50 cm largo.

Este ensayo consiste en someter la viga a una carga transversal que induce esfuerzos de tracción en las fibras inferiores de la misma; así, se determina el módulo de rotura y se evalúa cómo influyen las fibras de carbono en el incremento de la capacidad de carga del hormigón.

#### 4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Resultados de la resistencia a la compresión

Luego de realizar los ensayos de compresión, se obtuvieron los siguientes valores indicados en las tablas a continuación.

**Tabla 12**

Resultados ensayo de compresión a 7 días.

<b>Ensayo de compresión a 7 días</b>			
<b>Porcentaje de fibra de carbono (%)</b>	<b>Volumen cilindro (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia promedio obtenida (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje alcanzado %</b>
0	1570.79	182.3	65.11
0.25	1570.79	196.1	70.04
0.50	1570.79	177.5	63.39
0.75	1570.79	168.9	60.32
1.00	1570.79	191.8	68.50
<b>Resistencia mínima objetiva (kg/cm<sup>2</sup>)</b>			<b>280.00</b>

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

**Tabla 13**

Resultados ensayo de compresión a 14 días.

<b>Ensayo de compresión a 14 días</b>			
<b>Porcentaje de fibra de carbono (%)</b>	<b>Volumen cilindro (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia promedio obtenida (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje alcanzado %</b>
0	1570.79	210.7	75.25
0.25	1570.79	234.4	83.71
0.50	1570.79	236.5	84.46
0.75	1570.79	231.7	82.75
1.00	1570.79	227.1	81.10
<b>Resistencia mínima objetiva (kg/cm<sup>2</sup>)</b>			<b>280.00</b>

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

**Tabla 14**

Resultados ensayo de compresión a 21 días.

<b>Ensayo de compresión a 21 días</b>			
<b>Porcentaje de fibra de carbono (%)</b>	<b>Volumen cilindro (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia promedio obtenida (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje alcanzado %</b>
0	1570.79	269.4	96.21
0.25	1570.79	262.7	93.82
0.50	1570.79	285.9	102.11
0.75	1570.79	259.1	92.54
1.00	1570.79	283.1	101.11
<b>Resistencia mínima objetiva (kg/cm<sup>2</sup>)</b>			<b>280.00</b>

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.**Tabla 15**

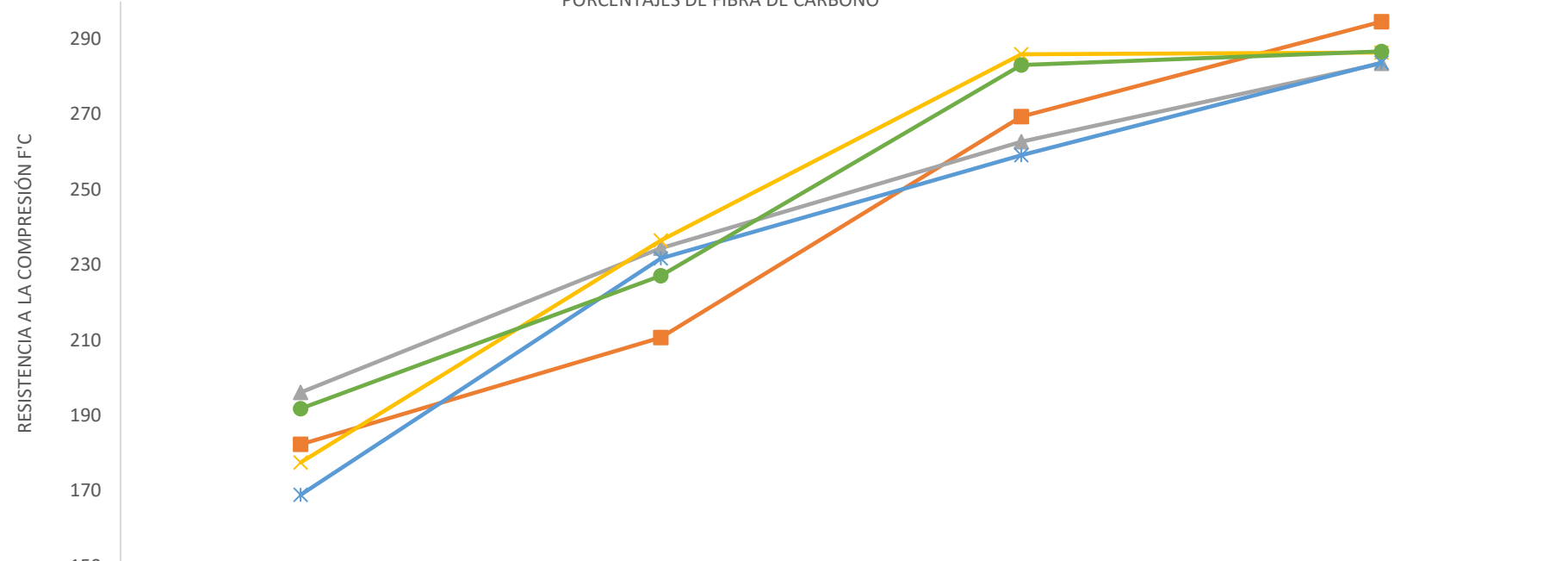
Resultados ensayo de compresión a 28 días.

<b>Ensayo de compresión a 28 días</b>			
<b>Porcentaje de fibra de carbono (%)</b>	<b>Volumen cilindro (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia promedio obtenida (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje alcanzado %</b>
0	1570.79	294.6	105.21
0.25	1570.79	283.5	101.25
0.50	1570.79	286.4	102.29
0.75	1570.79	283.7	101.32
1.00	1570.79	286.7	102.39
<b>Resistencia mínima objetiva (kg/cm<sup>2</sup>)</b>			<b>280.00</b>

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

## RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESIÓN

■ 0    ▲ 0.25    ✕ 0.5    ✱ 0.75    ● 1  
 PORCENTAJES DE FIBRA DE CARBONO



	Resistencia promedio obtenida 7 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio obtenida 14 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio obtenida 21 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio obtenida 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
<span style="color: orange;">■</span> 0	182.3	210.7	269.4	294.6
<span style="color: gray;">▲</span> 0.25	196.1	234.4	262.7	283.5
<span style="color: yellow;">✕</span> 0.5	177.5	236.5	285.9	286.4
<span style="color: blue;">✱</span> 0.75	168.9	231.7	259.1	283.7
<span style="color: green;">●</span> 1	191.8	227.1	283.1	286.7

#### 4.2. Resultados de la resistencia a la flexocompresión

Luego de realizar los ensayos de flexocompresión, se obtuvieron los siguientes valores indicados en las tablas a continuación.

**Tabla 16**

Resultados ensayo de flexocompresión a 7 días.

<b>Ensayo de flexocompresión a 7 días</b>			
<b>Porcentaje de fibra de carbono (%)</b>	<b>Volumen viga (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia promedio obtenida kg/cm<sup>2</sup> (MPa)</b>	<b>Porcentaje alcanzado %</b>
0	11 250	30.49 (2.99 MPa)	76.67
0.50	11 250	34.26 (3.36 MPa)	86.15
1.00	11 250	31.20 (3.06 MPa)	78.46
<b>Resistencia mínima objetiva (MPa)</b>			<b>3.9</b>

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

**Tabla 17**

Resultados ensayo de flexocompresión a 14 días.

<b>Ensayo de flexocompresión a 14 días</b>			
<b>Porcentaje de fibra de carbono (%)</b>	<b>Volumen viga (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia promedio obtenida kg/cm<sup>2</sup> (MPa)</b>	<b>Porcentaje alcanzado %</b>
0	11 250	37.22 (3.65 MPa)	93.59
0.50	11 250	40.28 (3.95 MPa)	101.28
1.00	11 250	33.75 (3.31 MPa)	84.87
<b>Resistencia mínima objetiva (MPa)</b>			<b>3.9</b>

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

**Tabla 18**

Resultados ensayo de flexocompresión a 21 días.

<b>Ensayo de flexocompresión a 21 días</b>			
<b>Porcentaje de fibra de carbono (%)</b>	<b>Volumen viga (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia promedio obtenida kg/cm<sup>2</sup> (MPa)</b>	<b>Porcentaje alcanzado %</b>
0	11 250	40.38 (3.96 MPa)	101.54
0.50	11 250	31.51 (3.09 MPa)	79.23
1.00	11 250	40.89 (4.01 MPa)	102.82
<b>Resistencia mínima objetiva (MPa)</b>			<b>3.9</b>

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.**Tabla 19**

Resultados ensayo de flexocompresión a 28 días.

<b>Ensayo de flexocompresión a 28 días</b>			
<b>Porcentaje de fibra de carbono (%)</b>	<b>Volumen viga (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia promedio obtenida kg/cm<sup>2</sup> (MPa)</b>	<b>Porcentaje alcanzado %</b>
0	11 250	42.42 (4.16 MPa)	106.67
0.50	11 250	48.54 (4.76 MPa)	122.05
1.00	11 250	44.36 (4.35 MPa)	111.54
<b>Resistencia mínima objetiva (MPa)</b>			<b>3.9</b>

*Nota.* Elaborado por: Marlisse Delgado.

### RESULTADOS ENSAYO DE FLEXOCOMPRESIÓN



### **4.3. Discusión de los resultados**

#### ***4.3.1. Comparación entre las diferentes dosificaciones***

Analizando el comportamiento mecánico de las probetas ensayadas a compresión, se observa que todas las dosificaciones cumplieron con la resistencia mínima objetiva a los 28 días. Aunque el hormigón patrón (0%) demostró un excelente desempeño alcanzando 294.6 kg/cm<sup>2</sup> a compresión, las dosificaciones con fibra de carbono mostraron un desarrollo de resistencia más acelerado a edades tempranas (7 días).

La dosificación con 0.25% de fibra superó al patrón a los 7 días de curado en un 7.57% (196.1 kg/cm<sup>2</sup> frente a 182.3 kg/cm<sup>2</sup>), lo que denota que la fibra de carbono actúa como un catalizador de integridad estructural en el proceso de hidratación del cemento.

En el caso de la resistencia a flexocompresión, la dosificación con 0,50% de fibra de carbono demostró el mejor desempeño a los 28 días alcanzando 48.54 kg/cm<sup>2</sup> (4.76 MPa), frente a los 42.42 kg/cm<sup>2</sup> (4.16 MPa) del hormigón patrón, se evidencia un incremento del 14.4% en la capacidad de resistir tensiones de tracción.

#### ***4.3.2. Implicaciones de los hallazgos para el uso en pavimentos rígidos***

Se puede optimizar el diseño de la mezcla, ya que se superó la resistencia mínima de 3.9 MPa con la dosificación del 0,50% y esto abre la posibilidad técnica de reducir el espesor de la losa de pavimento sin comprometer la seguridad estructural.

El incremento observado en la capacidad de flexión es un indicador de que el pavimento tendrá un mejor comportamiento ante la fatiga producida por cargas cíclicas, así pues, las fibras de carbono ayudan a mitigar la propagación de microfisuras y disminuye el riesgo de agrietamiento prematuro.

## CONCLUSIONES

- La investigación determinó que la incorporación de fibra de carbono como refuerzo interno en el hormigón para pavimentos rígidos permite alcanzar satisfactoriamente los parámetros de diseño estructural, notando una mejora en la flexocompresión respecto al hormigón patrón y notando una mejora en la compresión respecto a la resistencia mínima aceptada en este requerimiento; sin embargo, los datos obtenidos por el hormigón patrón no fueron superados por las mezclas de hormigón con fibra de carbono.
- Se verificó que el diseño de todas las mezclas experimentales superó la resistencia mínima a la compresión de  $280 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días, destacando la dosificación con 1.00% de fibra de carbono que alcanzó los  $286.7 \text{ kg/cm}^2$ , lo que significa un incremento del 2.39% y garantiza la capacidad de soporte necesaria para cargas de tráfico pesado.
- Se elaboraron todas las probetas cilíndricas y prismáticas según las dosificaciones y normativas y se determinó que el uso de cemento tipo HE permitió un desarrollo acelerado de la resistencia en las etapas iniciales, logrando que la mezcla con 0.25% de fibra de carbono superara al hormigón patrón en un 7.57% a los 7 días de curado en el ensayo a compresión ( $196.1 \text{ kg/cm}^2$  frente a  $182.3 \text{ kg/cm}^2$ ).
- Al analizar la correlación entre el porcentaje de fibra y el rendimiento mecánico, se establece que el hormigón reforzado con 0.50% de fibra de carbono demostró ser la dosificación más eficiente en términos de resistencia a la flexocompresión, logrando un valor de  $48.54 \text{ kg/cm}^2$  ( $4.76 \text{ MPa}$ ) a los 28 días, lo que representa una mejora significativa frente al hormigón patrón ( $4.16 \text{ MPa}$ )  $42.42 \text{ kg/cm}^2$  con una diferencia del 14.4% y superando ampliamente el parámetro mínimo de resistencia de  $3.9 \text{ MPa}$  en un 22%, y aun así manteniendo una resistencia a la compresión a los 28 días de  $286.4 \text{ kg/cm}^2$ .
- En el análisis costo-beneficio de la implementación de un hormigón con 0.50% de fibra de carbono incorporada conlleva un costo de \$313.16 por metro cúbico, lo que representa un incremento del 61% en comparación de los \$194.15 que cuesta un hormigón convencional  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . A pesar del incremento en la resistencia a la flexocompresión del 14.4%, se concluye que para nuestro mercado no se obtiene una ventaja económica respecto al incremento de la resistencia.

## RECOMENDACIONES

- En los registros de los ensayos de flexocompresión, se identificó un valor atípico a los 21 días de curado con el 0.50% de fibra de carbono. Este dato inusual se atribuye por no proceder de manera correcta en el ensayo con la máquina universal. Debido a esto, se sugiere manipular los testigos de hormigón con máximo cuidado en todas sus etapas, desde su proceso de fraguado hasta el curado pasando por el desencofrado y, por último, colocarlo de manera simétrica en la máquina universal.
- Se recomienda implementar la dosificación con 0.50% de fibra de carbono porque ofrece el mejor equilibrio técnico en resistencia a compresión y flexocompresión.
- Se sugiere realizar la incorporación de la fibra de carbono de forma gradual durante la fase mezclado en seco para evitar la formación de aglomeraciones (grumos), así como también el uso de guantes de protección para su manipulación al ser un material compuesto de filamentos.
- Se recomienda evaluar el uso de aditivos plastificantes en conjunto con la fibra de carbono, con el fin de reducir el contenido de agua y potenciar aún más su resistencia.
- Se aconseja realizar estudios complementarios de durabilidad a largo plazo, enfocados en la resistencia a la abrasión superficial y exposición al ambiente salino propio de las ciudades costeras para certificar la vida útil de este material compuesto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Committee 325. (2015). Guide for Design of Jointed Concrete Pavements for Streets and Highways (ACI 325.9R). American Concrete Institute.
- ACI Committee 440. (2017). Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440.2R). American Concrete Institute.
- Allplan. (2022). Primera casa hecha de hormigón con fibra de carbono: CUBE. Recuperado de <https://www.allplan.com/es/blog/primera-casa-hecha-de-hormigon-con-fibra-de-carbono-cube/>
- American Concrete Institute. (2019). Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos de Concreto (ACI 325.12R-02). ACI.
- Anas, M., Khan, M., Bilal, H., Jadoon, S., & Khan, M. N. (2022). Fiber Reinforced Concrete: A Review. *Engineering Proceedings*, 22(1), 3. <https://doi.org/10.3390/engproc2022022003>
- AZoBuild. (2023). ¿Por qué utilizar hormigón reforzado con fibra de carbono (CFRC)? Recuperado de <https://www.azobuild.com/article.aspx?ArticleID=8641>
- Blas Cano, J., Alvarado Vergara, F., Depaz Romero, J. del P., Espinoza Chinchay, J., Gamarra Ortiz, M., & Villarreal Ubaldo, J. (2024). Compendio de investigaciones sobre concreto en estructuras de pavimento rígido reforzadas con fibras de polipropileno. *Aporte Santiaguino*, 17(1), Pág. 133–144. <https://doi.org/10.32911/as.2024.v17.n1.1150>
- Bentur, A., & Mindess, S. (2007). *Fiber Reinforced Cementitious Composites* (2nd ed.). Taylor & Francis.
- Castro, C. R. (2019). Reforzamiento estructural con fibra de carbono como alternativa económica para aumentar la resistencia a la compresión de las columnas en la galería comercial Fullmarket en el 2019 [Tesis de grado]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/22464>
- Chung, D. D. L. (2004). *Carbon Fiber Composites*. Butterworth-Heinemann.
- Dlubal Software. (2023). Construir con hormigón reforzado con fibras de carbono: ¿el futuro de la construcción? Recuperado de <https://www.dlubal.com/es/noticias-y-eventos/noticias/blog/000089?srsItd=AfmBOooOjtg8xnxhS3yQkkQMVc-9zN06-7DeDFUACZxeIsuHLmnHo4xL>

- Ferretería Cano. (2023, 2 febrero). *Cemento Chimborazo tipo HE Industrial - ferretería cano*.  
<https://ferreteriacano.com/product/cemento-chimborazo-he/>
- García, A. (2009). *Uso de las fibras de carbono para reforzar estructuras de concreto* [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México].  
<https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2009/septiembre/0649300/0649300.pdf>
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Huckins, J. (2013). *The Carbon Fibre Handbook*. JEC Group.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (14.ª ed.). Portland Cement Association (PCA).
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Moncayo Theurer, M., Rodriguez, J., Alcívar, López, Soriano, Villacis (2016). Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 29-1, pp. 57-62.  
<https://www.redalyc.org/journal/467/46750927006/html/>
- Naaman, A. E. (2007). *Fiber Reinforced Concrete: Properties and Applications*. Trafford Publishing.
- Neville, A. M. (2011). *Propiedades del Hormigón*. Pearson Education Limited. ISBN 0273755803.
- Reyes, L. (2015). *Fibra de Carbono: Tan ligera y resistente como peligrosa para la salud*. Autonocion.com. <https://www.autonocion.com/fibra-de-carbono-tan-ligera-y-resistente-como-peligrosa-para-la-salud/>
- Teijin Carbon. (2024). *Fibras Cortas*. Recuperado de <https://www.tejincarbon.com/es/productos/fibras-cortas/>
- Tisalema, C. A. (2023). Comparación de la resistencia a compresión entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con fibra de carbono. [Tesis de grado]. Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato. Recuperado de: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/37514>
- Yepes, V. (2023, 28 marzo). *Pavimento de hormigón armado con fibras para carreteras*. PoliBlogs. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2023/03/28/pavimento-de-hormigon-armado-con-fibras-para-carreteras/>

## ANEXOS

**Anexo 1. Análisis de precios unitarios.****Hormigón convencional**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO:	1					UNIDAD: m3
DETALLE:	Hormigón f'c = 280 kg/cm2					
<b>EQUIPOS</b>						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Concreteira	1,00	3,75	3,75	2,80	10,50	
Vibrador	1,00	2,50	2,50	2,80	7,00	
Herramienta Menor (5% M/O)					2,76	
TOTAL M					<b>20,26</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>						
DESCRIPCION (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Maestro de obra	0,50	4,64	2,32	2,80	6,50	
Albañil	1,00	4,39	4,39	2,80	12,29	
Oficial	3,00	4,34	13,02	2,80	36,46	
TOTAL N					<b>55,24</b>	
<b>MATERIALES</b>						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
Cemento tipo HE	saco	9,00	7,25	65,25		
Arena homogenizada	m3	0,11	25,00	2,75		
Arena lavada	m3	0,17	20,00	3,40		
Ripio	m3	0,42	13,22	5,55		
Agua	m3	0,19	0,70	0,13		
TOTAL O				<b>77,09</b>		
<b>TRANSPORTE</b>						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
Arena	m3	0,28	7,50	2,10		
Ripio	m3	0,42	7,50	3,15		
TOTAL P				<b>5,25</b>		
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					157,84	
INDIRECTOS Y UTILIDAD 23,00%					36,30	
OTROS INDIRECTOS 0%					0,00	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					194,15	
VALOR OFERTADO					<b>194,15</b>	

## Hormigón con 0.50% de fibra de carbono

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO:	2					UNIDAD: m3
DETALLE:	Hormigón f'c = 280 kg/cm2 con 0.50% fibra de carbono					
<b>EQUIPOS</b>						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Concretera	1,00	3,75	3,75	2,80	10,50	
Vibrador	1,00	2,50	2,50	2,80	7,00	
Herramienta Menor (5% M/O)					2,76	
TOTAL M					<b>20,26</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>						
DESCRIPCION (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Maestro de obra	0,50	4,64	2,32	2,80	6,50	
Albañil	1,00	4,39	4,39	2,80	12,29	
Oficial	3,00	4,34	13,02	2,80	36,46	
TOTAL N					<b>55,24</b>	
<b>MATERIALES</b>						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
Cemento tipo HE	saco	9,00	7,25	65,25		
Arena homogenizada	m3	0,11	25,00	2,75		
Arena lavada	m3	0,17	20,00	3,40		
Ripio	m3	0,42	13,22	5,55		
Agua	m3	0,19	0,70	0,13		
Fibra de carbono	kg	2,20	43,98	96,76		
TOTAL O				<b>173,84</b>		
<b>TRANSPORTE</b>						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
Arena	m3	0,28	7,50	2,10		
Ripio	m3	0,42	7,50	3,15		
TOTAL P				<b>5,25</b>		
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					254,60	
INDIRECTOS Y UTILIDAD				23,00%	58,56	
OTROS INDIRECTOS				0%	0,00	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					313,16	
VALOR OFERTADO					<b>313,16</b>	

**Anexo 2. Ensayos previos a dosificación.**



**Anexo 3. Elaboración de hormigón y probetas.**



**Anexo 4. Curado de probetas y ensayos.**



**Anexo 5. Supervisión del docente tutor.**



## Anexo 6. Reporte ensayo flexocompresión hormigón patrón a 7 días.



Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

# LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

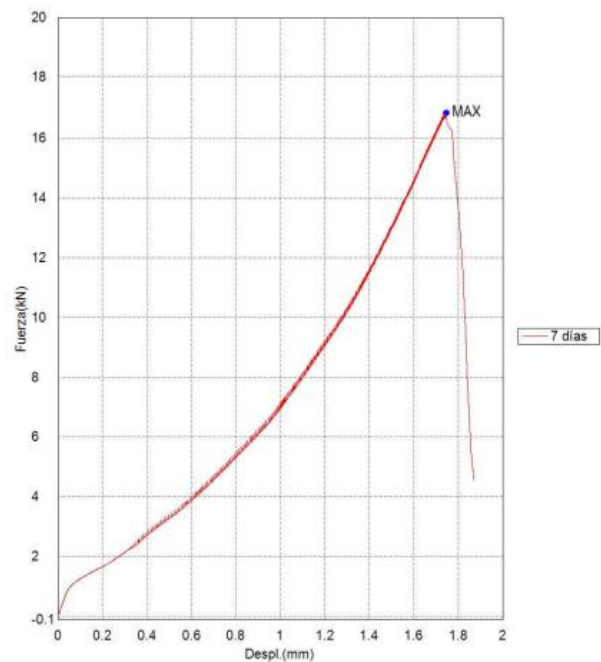
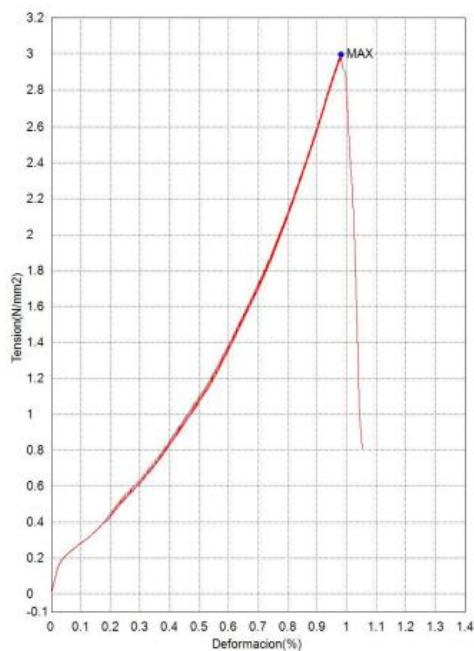
<b>Nombre de producto</b>		<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Test A Flexion 3p vigas hormigón normado.xmux
<b>Operador</b>	Ing Javier Bravo	<b>Fecha de informe</b>	8/1/2025
<b>Fecha de ensayo</b>	8/1/2025	<b>Temperatura</b>	20°C
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Tipo de ensayo</b>	Flexión 3 ptos.
<b>Velocidad</b>	0.05N/mm2/sec	<b>Forma</b>	Plana
<b>N°de partidas:</b>	1	<b>N°de muestras:</b>	1

### Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
7 días	150.0000	150.0000	400.0000

Nombre	Max._Fuerza	Max._Tension	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	N/mm2	mm	%
7 días	16.8397	2.99373	1.74563	0.98191
Media	16.8397	2.99373	1.74563	0.98191
Desviacion Estandar	-.-	-.-	-.-	-.-
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

### Graficos



## Anexo 7. Reporte ensayo flexocompresión hormigón patrón a 14 días.



# LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

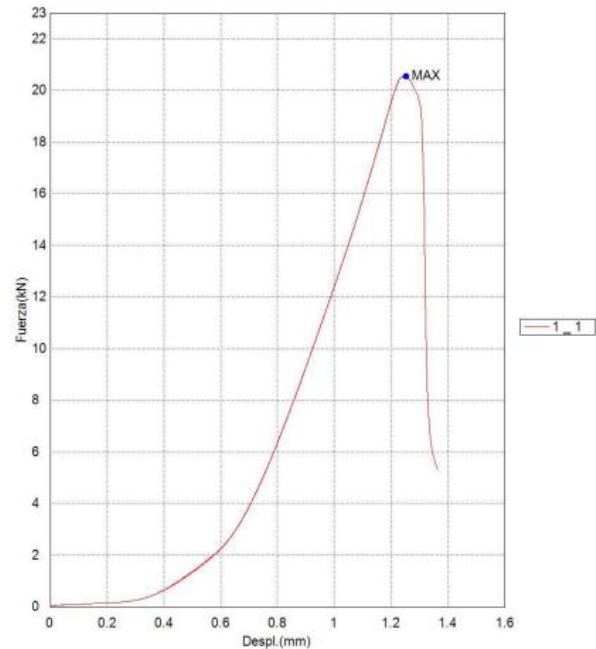
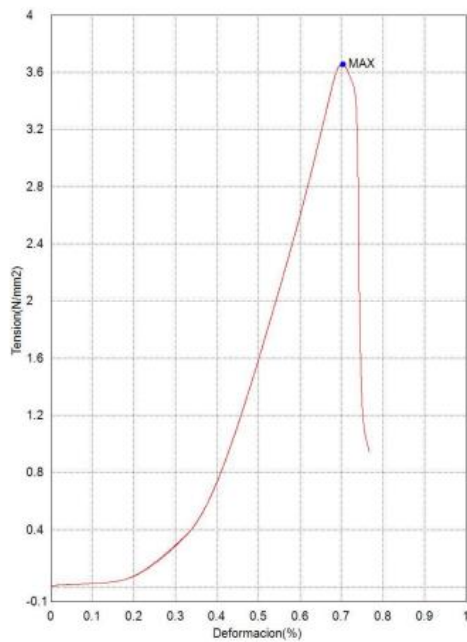
<b>Nombre de producto</b>	Viga hormigón simple 14 días	<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Test A Flexion 3p vigas hormigón normado.xmux
<b>Operador</b>	Ing Javier Bravo	<b>Fecha de informe</b>	11/21/2025
<b>Fecha de ensayo</b>	11/21/2025	<b>Temperatura</b>	20°C
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Tipo de ensayo</b>	Flexión 3 ptos.
<b>Velocidad</b>	0.05N/mm2/sec	<b>Forma</b>	Plana
<b>N°de partidas:</b>	1	<b>N°de muestras:</b>	1

### Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
1_1	150.0000	150.0000	400.0000

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	N/mm2	mm	%
1_1	20.5492	3.65319	1.25213	0.70432
Media	20.5492	3.65319	1.25213	0.70432
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

### Graficos



## Anexo 8. Reporte ensayo flexocompresión hormigón patrón a 21 días.



Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

# LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

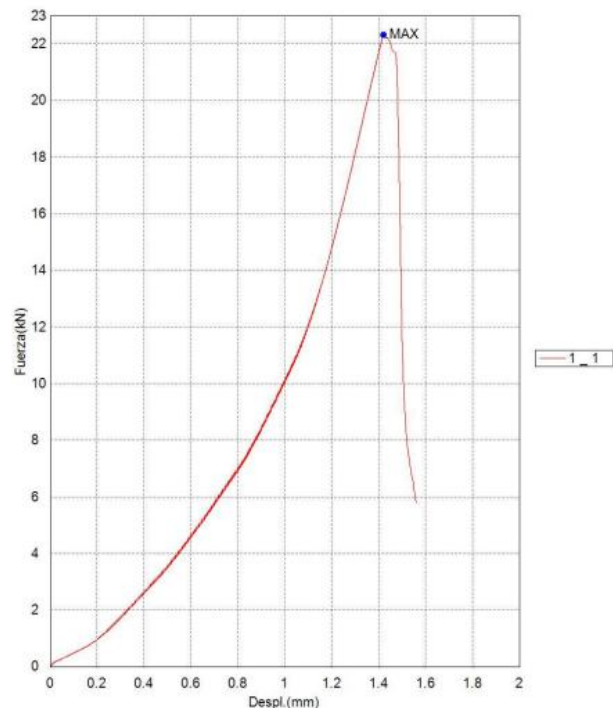
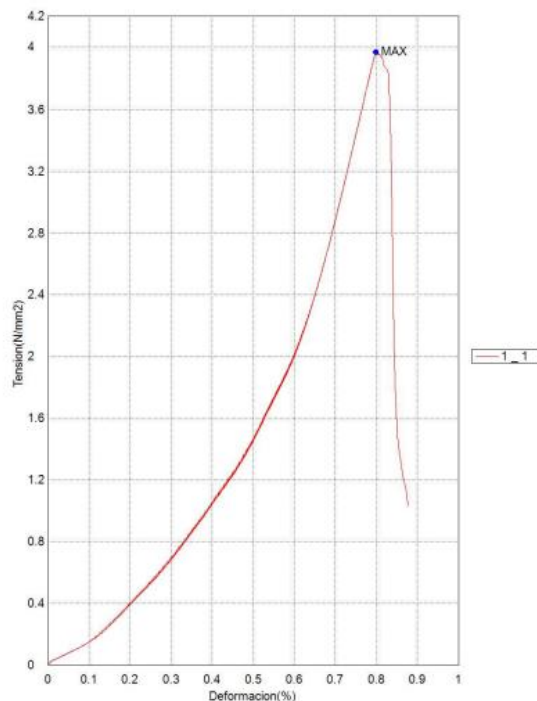
<b>Nombre de producto</b>	Viga Hormigón simple 21 días	<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Test A Flexion 3p vigas hormigón normado.xmux
<b>Operador</b>	Ing Javier Bravo	<b>Fecha de informe</b>	12/2/2025
<b>Fecha de ensayo</b>	12/2/2025	<b>Temperatura</b>	20°C
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Tipo de ensayo</b>	Flexión 3 ptos.
<b>Velocidad</b>	0.05N/mm2/sec	<b>Forma</b>	Plana
<b>N°de partidas:</b>	1	<b>N°de muestras:</b>	1

### Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
1_1	150.0000	150.0000	400.0000

Nombre	Max._Fuerza	Max._Tension	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	N/mm2	mm	%
1_1	22.3066	3.96562	1.42138	0.79952
Media	22.3066	3.96562	1.42138	0.79952
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

### Graficos



## Anexo 9. Reporte ensayo flexocompresión hormigón patrón a 28 días.



Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

# LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

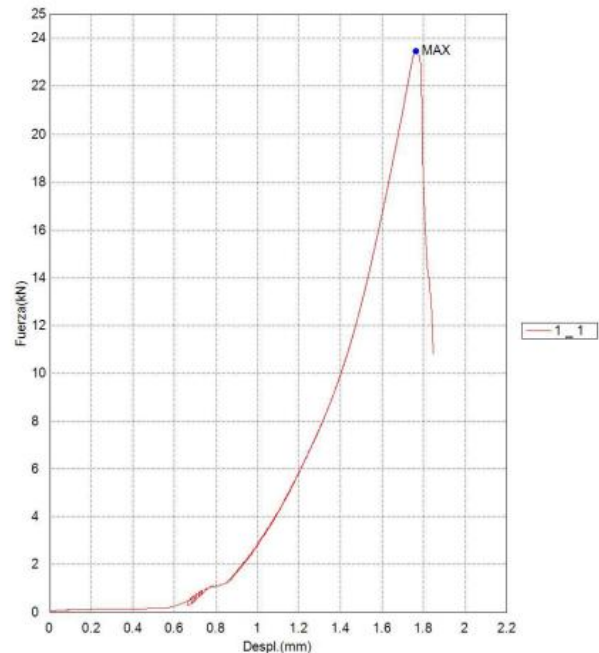
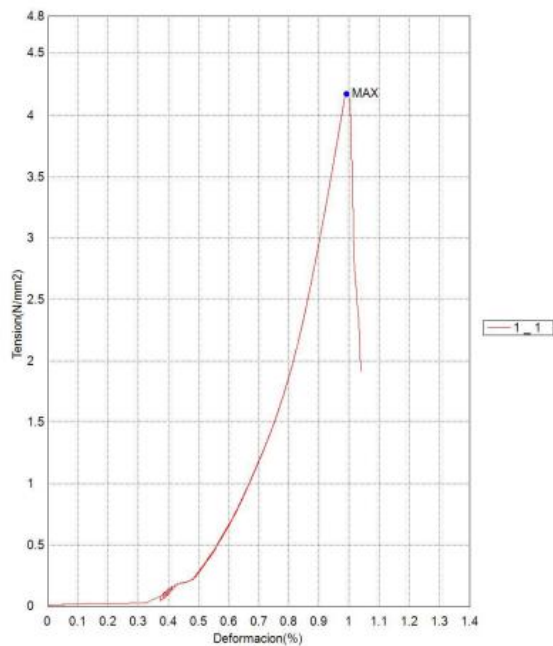
Nombre de producto	HORMIGÓN SIMPLE 280 Kg/cm <sup>2</sup> A 28 DÍAS	Nombre de metodo de ensayo	Test A Flexion 3p vigas hormigón normado.xmux
Operador	Ing Javier Bravo	Fecha de informe	12/9/2025
Fecha de ensayo	12/9/2025	Temperatura	20°C
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexión 3 ptos.
Velocidad	0.05N/mm <sup>2</sup> /sec	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

### Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
1_1	150.0000	150.0000	400.0000

Nombre	Max._Fuerza	Max._Tension	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm	%
1_1	23.4419	4.16744	1.76325	0.99183
Media	23.4419	4.16744	1.76325	0.99183
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

### Graficos



## Anexo 10. Reporte ensayo flexocompresión hormigón 0.50% fibra de carbono a 7 días.



Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

# LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

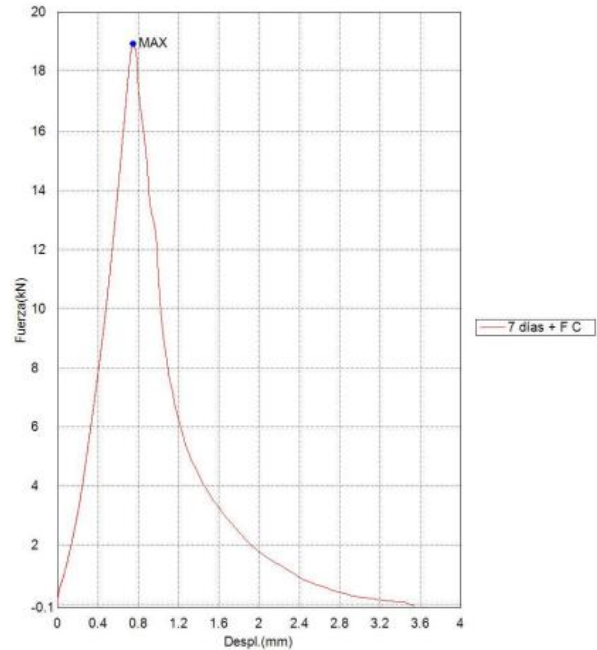
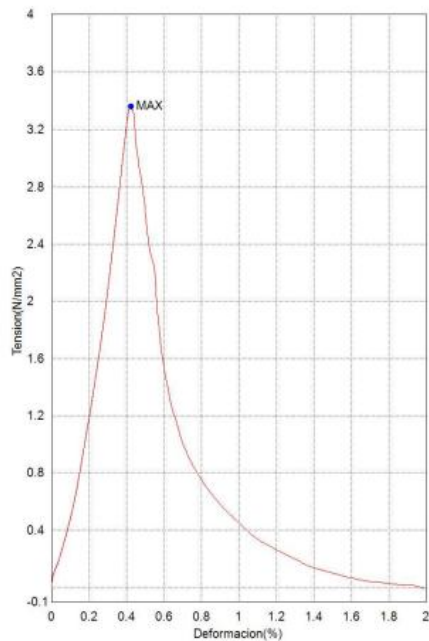
<b>Nombre de producto</b>		<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Test A Flexion 3p vigas hormigón normado.xmux
<b>Operador</b>	Ing Javier Bravo	<b>Fecha de informe</b>	8/1/2025
<b>Fecha de ensayo</b>	8/1/2025	<b>Temperatura</b>	20°C
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Tipo de ensayo</b>	Flexión 3 ptos.
<b>Velocidad</b>	0.05N/mm2/sec	<b>Forma</b>	Plana
<b>N°de partidas:</b>	1	<b>N°de muestras:</b>	1

### Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
7 días + F C	150.0000	150.0000	400.0000

Nombre	Max. Fuerza	Max. Tension	Max. Desplazamiento	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	N/mm2	mm	%
7 días + F C	18.9247	3.36439	0.75250	0.42328
Media	18.9247	3.36439	0.75250	0.42328
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

### Graficos



## Anexo 11. Reporte ensayo flexocompresión hormigón 0.50% fibra de carbono a 14 días.



# LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

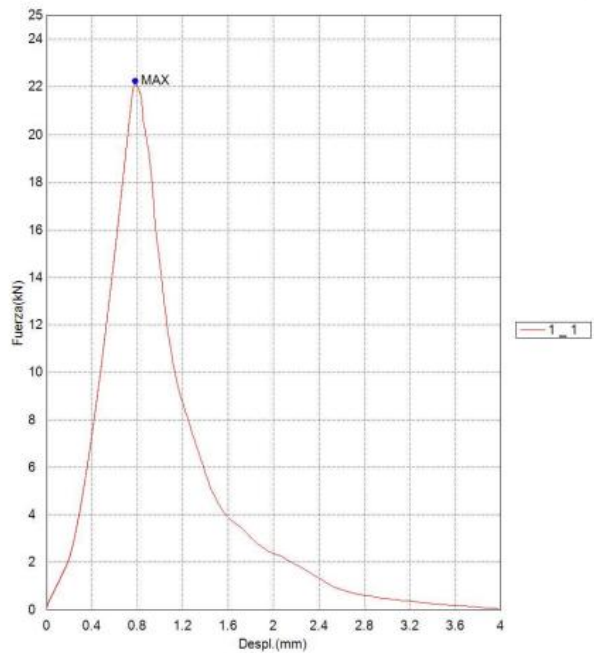
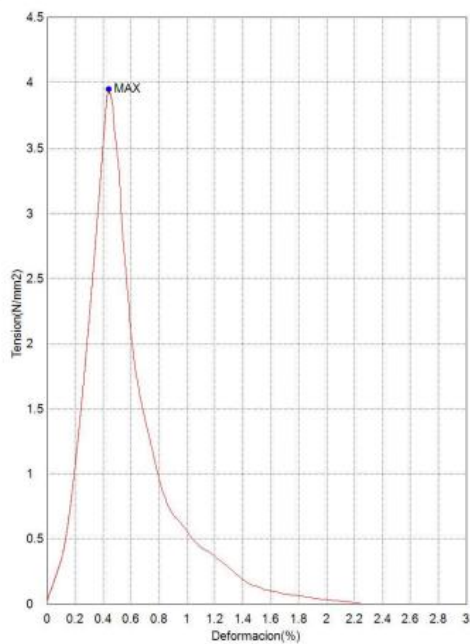
<b>Nombre de producto</b>	Viga hormigón + 0.5 % fibra de carbono	<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Test A Flexion 3p vigas hormigón normado.xmux
<b>Operador</b>	Ing Javier Bravo	<b>Fecha de informe</b>	11/21/2025
<b>Fecha de ensayo</b>	11/21/2025	<b>Temperatura</b>	20°C
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Tipo de ensayo</b>	Flexión 3 ptos.
<b>Velocidad</b>	0.05N/mm2/sec	<b>Forma</b>	Plana
<b>Nº de partidas:</b>	1	<b>Nº de muestras:</b>	1

### Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
1_1	150.0000	150.0000	400.0000

Nombre	Max. Fuerza	Max. Tension	Max. Desplazamiento	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	N/mm2	mm	%
1_1	22.2102	3.94848	0.78250	0.44016
Media	22.2102	3.94848	0.78250	0.44016
Desviacion Estandar	-.-	-.-	-.-	-.-
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

### Graficos



## Anexo 12. Reporte ensayo flexocompresión hormigón 0.50% fibra de carbono a 21 días.



# LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

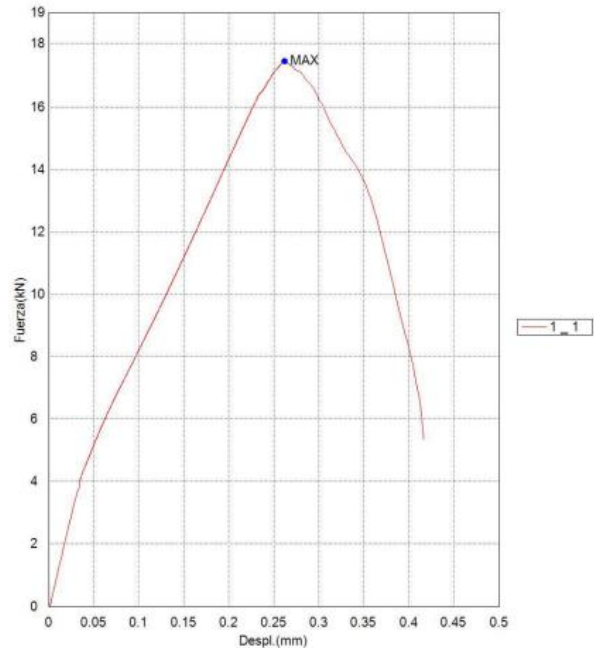
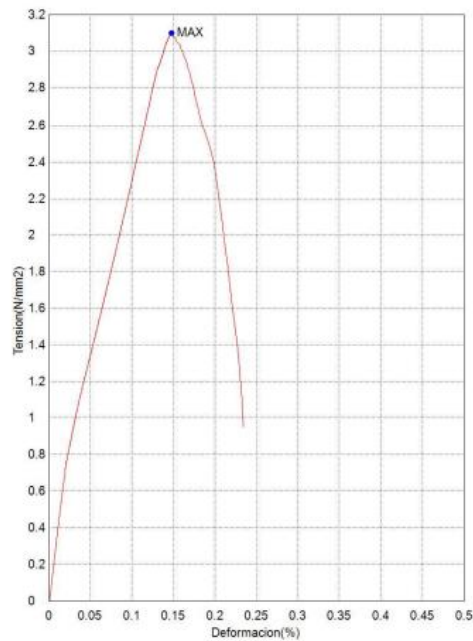
<b>Nombre de producto</b>	Viga hormigón + 0.5% fibra de carbono 21 días	<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Test A Flexion 3p vigas hormigón normado.xmux
<b>Operador</b>	Ing Javier Bravo	<b>Fecha de informe</b>	12/2/2025
<b>Fecha de ensayo</b>	12/2/2025	<b>Temperatura</b>	20°C
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Tipo de ensayo</b>	Flexión 3 pto.
<b>Velocidad</b>	0.05N/mm2/sec	<b>Forma</b>	Plana
<b>Nºde partidas:</b>	1	<b>Nºde muestras:</b>	1

### Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
1_1	150.0000	150.0000	400.0000

Nombre	Max._Fuerza	Max._Tension	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	N/mm2	mm	%
1_1	17.4223	3.09729	0.26225	0.14752
Media	17.4223	3.09729	0.26225	0.14752
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

### Graficos



## Anexo 13. Reporte ensayo flexocompresión hormigón 0.50% fibra de carbono a 28 días.



# LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

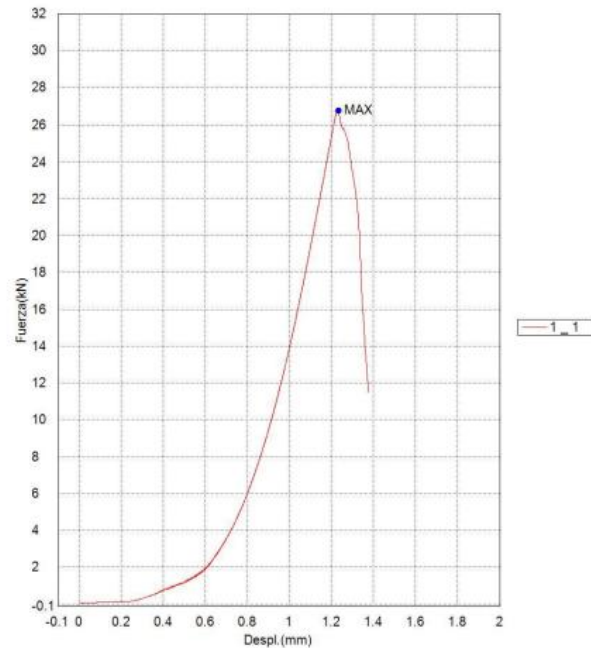
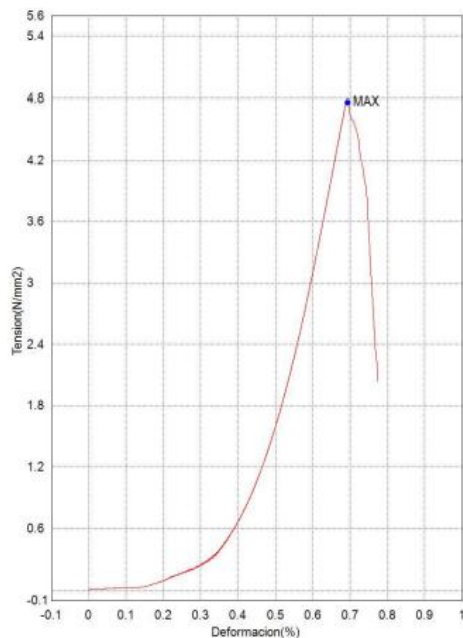
<b>Nombre de producto</b>	Viga de hormigón + 0.5% fibra de carbono	<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Test A Flexion 3p vigas hormigón normado.xmux
<b>Operador</b>	Ing Javier Bravo	<b>Fecha de informe</b>	12/9/2025
<b>Fecha de ensayo</b>	12/9/2025	<b>Temperatura</b>	20°C
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Tipo de ensayo</b>	Flexión 3 ptos.
<b>Velocidad</b>	0.05N/mm2/sec	<b>Forma</b>	Plana
<b>Nº de partidas:</b>	1	<b>Nº de muestras:</b>	1

### Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
1_1	150.0000	150.0000	400.0000

Nombre	Max._Fuerza	Max._Tension	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	N/mm2	mm	%
1_1	26.7812	4.76110	1.23288	0.69349
Media	26.7812	4.76110	1.23288	0.69349
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

### Graficos



## Anexo 14. Reporte ensayo flexocompresión hormigón 1% fibra de carbono a 7 días.



# LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

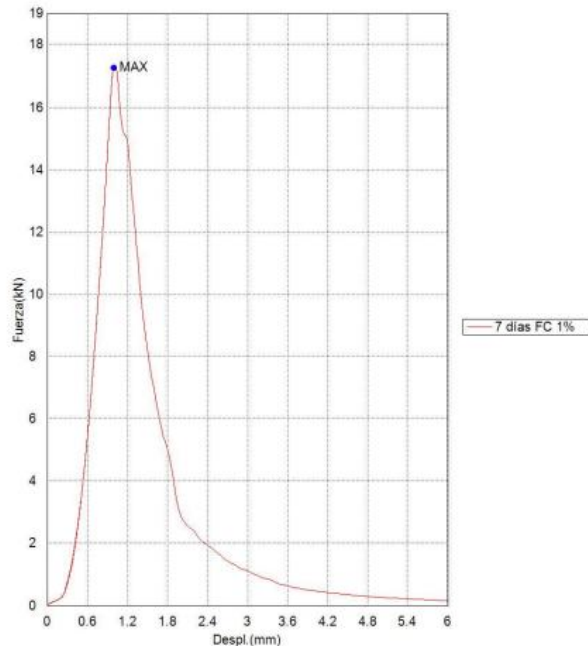
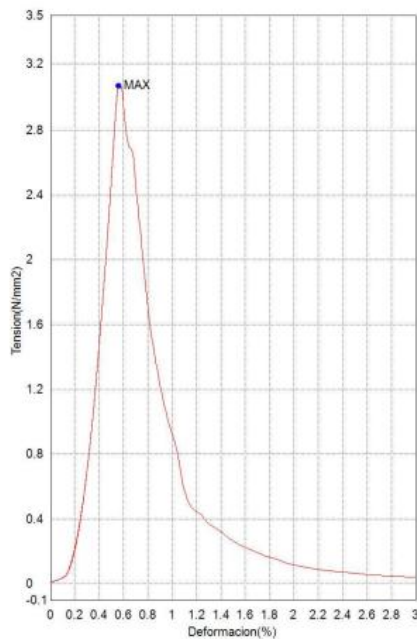
<b>Nombre de producto</b>		<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Test A Flexion 3p vigas hormigón normado.xmux
<b>Operador</b>	Ing Javier Bravo	<b>Fecha de informe</b>	11/19/2025
<b>Fecha de ensayo</b>	11/19/2025	<b>Temperatura</b>	20°C
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Tipo de ensayo</b>	Flexión 3 ptos.
<b>Velocidad</b>	0.05N/mm2/sec	<b>Forma</b>	Plana
<b>N°de partidas:</b>	1	<b>N°de muestras:</b>	1

### Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
7 días FC 1%	150.0000	150.0000	400.0000

Nombre	Max._Fuerza	Max._Tension	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	N/mm2	mm	%
7 días FC 1%	17.2362	3.06421	0.99875	0.56180
Media	17.2362	3.06421	0.99875	0.56180
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

### Graficos



## Anexo 15. Reporte ensayo flexocompresión hormigón 1% fibra de carbono a 14 días.



# LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

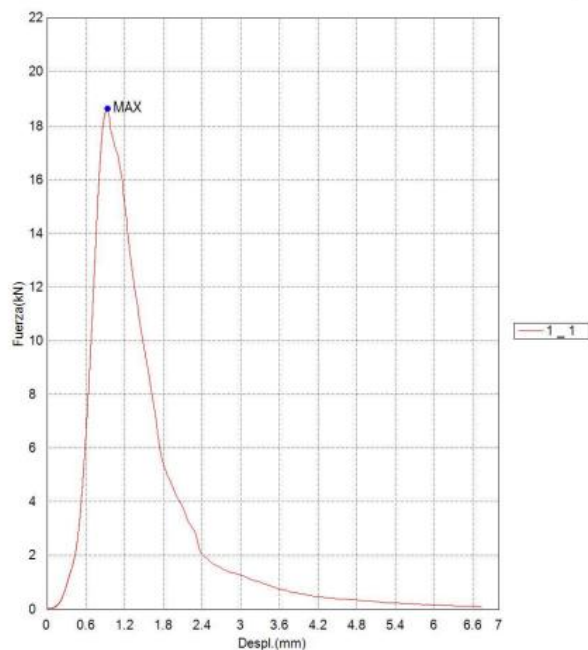
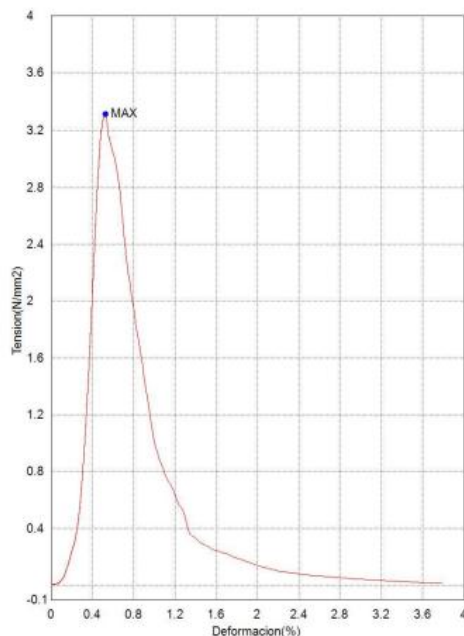
<b>Nombre de producto</b>	Viga hormigón + fibra de carbono 1% 14 días	<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Test A Flexion 3p vigas hormigón normado.xmux
<b>Operador</b>	Ing Javier Bravo	<b>Fecha de informe</b>	11/27/2025
<b>Fecha de ensayo</b>	11/27/2025	<b>Temperatura</b>	20°C
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Tipo de ensayo</b>	Flexión 3 ptos.
<b>Velocidad</b>	0.05N/mm2/sec	<b>Forma</b>	Plana
<b>Nºde partidas:</b>	1	<b>Nºde muestras:</b>	1

### Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
1_1	150.0000	150.0000	400.0000

Nombre	Max._Fuerza	Max._Tension	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	N/mm2	mm	%
1_1	18.6579	3.31696	0.93600	0.52650
Media	18.6579	3.31696	0.93600	0.52650
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

### Graficos



## Anexo 16. Reporte ensayo flexocompresión hormigón 1% fibra de carbono a 21 días.



Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

# LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

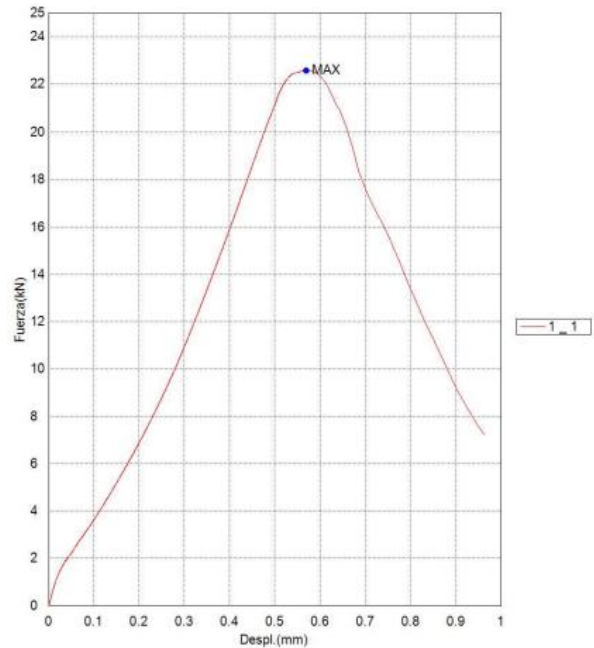
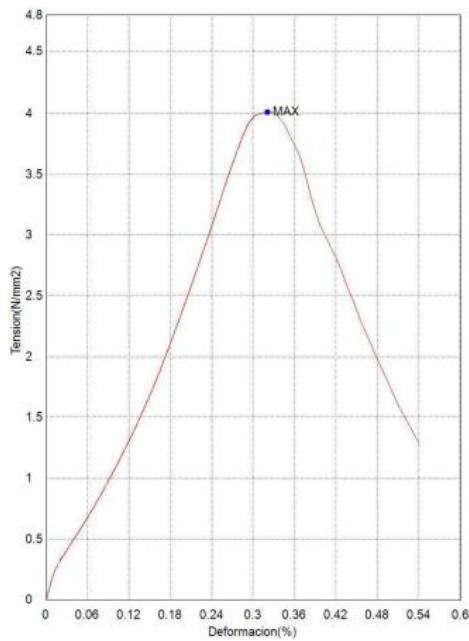
<b>Nombre de producto</b>	Viga hormigón + 1% fibra de carbono 21 días	<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Test A Flexion 3p vigas hormigón normado.xmux
<b>Operador</b>	Ing Javier Bravo	<b>Fecha de informe</b>	12/2/2025
<b>Fecha de ensayo</b>	12/2/2025	<b>Temperatura</b>	20°C
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Tipo de ensayo</b>	Flexión 3 pto.
<b>Velocidad</b>	0.05N/mm2/sec	<b>Forma</b>	Plana
<b>Nºde partidas:</b>	1	<b>Nºde muestras:</b>	1

### Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
1_1	150.0000	150.0000	400.0000

Nombre	Max._Fuerza	Max._Tension	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	N/mm2	mm	%
1_1	22.5582	4.01035	0.57013	0.32070
Media	22.5582	4.01035	0.57013	0.32070
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

### Graficos



## Anexo 17. Reporte ensayo flexocompresión hormigón 1% fibra de carbono a 28 días.



# LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

<b>Nombre de producto</b>	VIGAS HORMIGÓN+1% FIBRA DE CARBONO 28 DÍAS	<b>Nombre de metodo de ensayo</b>	Test A Flexion 3p vigas hormigón normado.xmux
<b>Operador</b>	Ing Javier Bravo	<b>Fecha de informe</b>	12/10/2025
<b>Fecha de ensayo</b>	12/10/2025	<b>Temperatura</b>	20°C
<b>Modo de Ensayo</b>	Sencillo	<b>Tipo de ensayo</b>	Flexión 3 ptos.
<b>Velocidad</b>	0.05N/mm2/sec	<b>Forma</b>	Plana
<b>Nº de partidas:</b>	1	<b>Nº de muestras:</b>	1

### Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
1_1	150.0000	150.0000	400.0000

Nombre	Max._Fuerza	Max._Tension	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	N/mm2	mm	%
1_1	24.4956	4.35477	1.72000	0.96750
Media	24.4956	4.35477	1.72000	0.96750
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

### Graficos

