UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE MORTERO ARMADO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI

Tesis para optar título profesional de

INGENIERO CIVIL

ROJAS FASANANDO, RIDER ELEODORO

Pucallpa – Perú

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 01-2026

GRADUANDO :
ROJAS FASANANDO, Rider Eleodoro

TEMA : ***"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE MORTERO ARMADO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"***

ASESOR : **Mg. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ**

CRITERIOS	PUNTAJE			
	3	2	1	0
I- PRESENTACION				
* MOTIVACION	X			
* TONO DE VOZ		X		
* CALIDAD DE MATERIAL AUDIOVISUAL		X		
II- DESARROLLO DE CONTENIDO				
* SECUENCIA	X			
* DOMINIO DE VOZ		X		
* USO ADECUADO DEL MATERIAL	X			
* VALIDEZ DE LOS HALLAZGOS	X			
III- ABSOLUCION DE PREGUNTAS				
* RESPONDE A LAS PREGUNTAS FORMULADAS POR EL JURADO		X		
IV- APORTE CIENTIFICO Y TECNOLOGICO				
* AL DESARROLLO DE LA COMUNIDAD		X		
* A LA PROFESION	X			

EVALUACION

- EXCELENCIA 26 A 30 PUNTOS
- UNANIMIDAD 21 A 25 PUNTOS
- MAYORIA 16 A 20 PUNTOS
- DESAPROBADO 15 A MENOS

CALIFICACION FINAL:
PUNTAJE : 25 / 30

CONCLUSIONES:
APROBADO POR : **UNANIMIDAD**
DESAPROBADO POR :

JURADO EVALUADOR

Dr. HORACIO SORIANO ALAVA
PRESIDENTE

Mg. Mijael Gabriel MERCADO ROJAS
MIEMBRO

Dr. David Abel GONZALEZ MANRIQUE DE LARA
MIEMBRO

M.SC. CLOTILDE RÍOS HIDALGO DE CERNA
SECRETARIA ACADÉMICA

PUCALLPA, 13 DE ENERO DEL 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

COMISION DE GRADOS Y TITULOS

TESIS TITULADA:

"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE MORTERO ARMADO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

ELABORADO POR:

Bach. ROJAS FASANANDO, Rider Eleodoro

APROBADO POR:

Dr. HORACIO SORIANO ALAVA
Presidente

MG. MIJAEL GABRIEL MERCADO ROJAS
Primer Miembro

Dr. DAVID ABEL GONZALEZ MANRIQUE DE LARA
Segundo Miembro

Dr. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/567-2025.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE MORTERO ARMADO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

Autor(es)	:	**ROJAS FASANANDO, RIDER ELEODORO**
Facultad	:	**INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL**
Escuela	:	**ING. CIVIL**
Asesor(a)	:	**Mg. DONAYRE HERNANDEZ, DEVYN OMAR**

Presenta un **porcentaje de similitud de 9%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación presenta un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 06/10/2025

Dr. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Rider Eleodoro Rojas Fasanando

Autor de la tesis titulada : Mejoramiento de la resistencia a la flexión de vigas de mortero armado reforzado con fibra de polipropileno en el departamento de Ucayali

Sustentada el año.....

Asesor(a): Mg. Donoyre Hernandez, Devyn Omar

Facultad: Facultad de Ingeniería de Sistemas y de Ingeniería Civil

Escuela Profesional: de Ingeniería Civil

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 13/01/2026

Email: ruthrojasfasanando@gmail.com Firma:

Teléfono: 970028181 DNI: 76730260

DEDICATORIA

A Dios que es mi guía. A mis padres que siempre están apoyándome y motivándome para lograr mis objetivos. A mis hermanos por su apoyo incondicional. A mi mascota que siempre me alegra mis días.

Rider Eleodoro.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios, por la vida y la salud para seguir adelante, y por ser mi guía y fortaleza en este camino y hacer posible la realización de esta tesis.

Mis más sinceros agradecimientos a todos lo que contribuido de manera significativa en la realización de esta investigación, en especial a mis padres y hermanos, por el apoyo incondicional, por sus consejos que fueron fundamentales para por seguir mis objetivos y alcanzar esta meta y sobre todo por enseñar a ser una persona con principios y valores.

Mi agradecimiento para todos los catedráticos de esta prestigiosa facultad de ingeniería de sistemas y de ingeniería civil, de la Universidad Nacional de Ucayali, por brindarme sus experiencia y enseñanzas que contribuyeron en mi formación profesional.

Mis más sinceros agradecimientos.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar el contenido óptimo de fibra de polipropileno para mejorar la resistencia y el comportamiento a flexión de vigas de mortero armado en el departamento de Ucayali. Se aplicó un método experimental cuantitativo, elaborando y ensayando especímenes y cuatro vigas de mortero armado con diferentes dosificaciones de FPP: 0 (control), 3, 5 y 7 kg/m³. En los ensayos de compresión a los 28 días, la resistencia promedio del mortero control fue 22.27 MPa, y las adiciones de fibra la incrementaron hasta 25.09 MPa con dosis de 7 kg/m³. El módulo de elasticidad experimental con 7 kg/m³ fue 17,713 MPa, validando el modelo teórico normativo para su densidad real. En los ensayos de flexión, la viga con 7 kg/m³ alcanzó la carga máxima (40.04 kN), seguida por la viga con 5 kg/m³ (38.98 kN) y la de control (38.85 kN), demostrando un ligero aumento en la resistencia con dosificaciones altas. La adición de fibras incrementó drásticamente la ductilidad; la deflexión en la carga máxima aumentó desde 5.16 mm (control) hasta 10.29 mm (7 kg/m³), mientras que la máxima deflexión registrada (ductilidad total) se incrementó de 56.97 mm (control) a 83.27 mm (7 Kg/m^3). La ductilidad de curvatura se incrementó en un 67 %, pasando de 9.70 a 16.23 para la misma dosificación. El control de agrietamiento fue notable, reduciendo el ancho máximo de fisura a 9.1 mm (dosis de 7 kg/m³). Se concluye que 5 kg/m³ de FPP ofrece el balance óptimo, al incrementar ligeramente la resistencia máxima a la flexión, mejorar sustancialmente la ductilidad (deflexión máxima de 10.53 mm y máxima deflexión registrada de 83.48 mm) y el control de fisuración (ancho de fisura de 15.5 mm).

Palabras clave: Mortero armado, flexión, fibra de polipropileno, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, ductilidad, fisuración.

ABSTRACT

The research aimed to determine the optimal polypropylene fiber (PPF) content to improve the strength and flexural behavior of reinforced mortar beams in the department of Ucayali. A quantitative experimental method was applied, fabricating and testing specimens and four reinforced mortar beams with different PPF dosages: 0 (control), 3, 5, and 7 kg/m³. In the 28-day compression tests, the average strength of the control mortar was 22.27 MPa, and the fiber additions increased it to 25.09 MPa with the 7 kg/m³ dosage. The experimental modulus of elasticity with 7 kg/m³ was 17,713 MPa, validating the normative theorical model for its actual density. In the flexural tests, the beam with 7 kg/m³ reached the highest maximum load (40.04 kN), followed by the 5 kg/m³ beam (38.85 kN) and the control beam (38.85 kN), demonstrating a slight increase in strength at high dosages. The addition of fibers drastically increased ductility; the deflection at maximum load increased from 5.16 mm (control) to 10.29 mm (7 kg/m³), while the maximum recorded deflection (total ductility) increased from 56.97 mm (control) to 83.27 mm (7 kg/m³). Curvature ductility increased by 67 %, rising from 9.70 to 16.23 for the same dosage. Crack control was notable, reducing the maximum crack width to 9.1 mm (7 kg/m³ dosage). It is concluded, the 5 kg/m³ of PPF offers the optimal balance, slightly increasing maximum flexural strength, substantially improving ductility (with a deflection at maximum load of 10.53 mm and a maximum recorded deflection of 83.48 mm), and crack control (crack width of 15.5 mm).

Keywords: Reinforced mortar, bending, polypropylene fiber, compressive strength, modulus of elasticity, ductility, cracking.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA ..... *vi*
AGRADECIMIENTO ..... *vii*
RESUMEN ..... *viii*
ÍNDICE DE TABLAS ..... *xiii*
ÍNDICE DE FIGURAS ..... *xv*
CAPÍTULO I **17**
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **17**
1.1 Descripción y fundamentación del problema 17
1.2 Formulación del problema 20
1.2.1 Problema general *20*
1.2.2 Problemas específicos *20*
1.3 Objetivos 21
1.3.1 Objetivo general *21*
1.3.2 Objetivos específicos *21*
1.4 Justificación e importancia 22
1.4.1 Justificación práctica *22*
1.4.2 Justificación teórica *23*
1.4.3 Justificación metodológica *23*
1.4.4 Importancia de la investigación *24*
1.5 Limitaciones y alcances 25
1.5.1 Limitaciones *25*
1.5.2 Alcances *25*
1.6 Hipótesis 27
1.6.1 Hipótesis general *27*
1.6.2 Hipótesis específicas *27*
1.7 Sistema de variables, dimensiones e indicadores 28
1.7.1 Variable dependiente *28*
1.7.2 Variable independiente *28*
1.8 Definición operacional de variables, dimensiones e indicadores 29
CAPÍTULO II **30**
MARCO TEÓRICO **30**
2.1 Antecedentes de la Investigación 30

2.1.1 Antecedentes Internacionales..... *30*
2.1.2 Antecedentes nacionales *34*
2.1.3 Antecedentes locales..... *38*
2.2 Bases teóricas 39
2.2.1 Materiales utilizados..... *39*
2.2.2 Método de diseño..... *44*
2.3 Definición de términos básicos 56
CAPÍTULO III..... **62**
METODOLOGÍA..... **62**
3.1 Metodología y técnicas utilizadas 62
3.1.1 Tipo de investigación..... *62*
3.1.2 Nivel de investigación..... *62*
3.1.3 Diseño de investigación – Esquema de la investigación *63*
3.2 Población y muestra 65
3.2.1 Población..... *65*
3.2.2 Muestra *65*
3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... 67
3.3.1 Técnicas..... *67*
3.3.2 Instrumentos *68*
3.5 Procesamiento de recolección de datos 70
3.6 Tratamiento de datos 76
3.7 Análisis estadístico 77
CAPÍTULO IV **83**
RESULTADOS..... **83**
4.1 Descripción de los resultados 83
4.1.1 Resistencia a la compresión del mortero reforzado con FPP..... *83*
4.1.2 Módulo de elasticidad del mortero reforzado con 7 kg/m³ de FPP *91*
4.1.3 Flexión de vigas de mortero armado con fibras de polipropileno . *96*
4.2. Verificación de hipótesis 125
4.2.1. Hipótesis general..... *125*
4.2.2. Hipótesis específicas *125*
CAPÍTULO V **128**
DISCUSIÓN DE RESULTADOS **128**
Aportes a la Ingeniería Civil y alcance territorial..... 134
CONCLUSIONES..... 138
RECOMENDACIONES 140
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 142

ANEXOS 147
Anexo 1. Matriz de consistencia *148*
Anexo 2. Informe estadístico *151*
Anexo 3. Resultados del ensayo a flexión *157*
Anexo 4. Ficha técnica del cemento portland APU tipo I *163*
Anexo 5. Ficha técnica de la fibra de polipropileno *165*
Anexo 6. Cotización de precios de la fibra de polipropileno *167*
Anexo 7. Constancia del laboratorio de ensayos PUCP *168*
Anexo 8. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas de 6"x12" *171*
Anexo 9. Panel fotográfico *177*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables, dimensiones e indicadores.....29

Tabla 2. Distribución de la muestra.....67

Tabla 3. Peso unitario del concreto con fibras de polipropileno.....71

Tabla 4. Precio de las fibras de polipropileno según el mercado actual 72

Tabla 5. Análisis de costos unitarios por metro cubico de mortero.....73

Tabla 6. Comparativo de precios por metro cubico de mortero y precio del mortero agregando fibras de polipropileno.....73

Tabla 7. Cuadro de Incremento del precio según dosificación de FPP 74

Tabla 8. Resultados individuales de resistencia a la compresión y estadísticas descriptivas por dosificación y edad de curado.....84

Tabla 9. Resultados promedio de la carga soportada, resistencia a la compresión y porcentaje alcanzado comparado a resistencia de diseño para mortero convencional reforzado con FPP por edad de curado.....85

Tabla 10. ANOVA pruebas de los efectos en la resistencia a la compresión 87

Tabla 11. Comparaciones por pareja (Post-Hoc Bonferroni) para la dosificación.....90

Tabla 12. Comparaciones por pareja (Post-Hoc Bonferroni) para la edad 91

Tabla 13. Resultados del ensayo a compresión para el módulo de elasticidad del mortero reforzado con 7 kg/m3 de FPP a los 28 días de curado 92

Tabla 14. Resultados de resistencia a compresión y módulo de elasticidad del mortero reforzado con 7 kg/m³ de FPP 93

Tabla 15. Resultados del módulo de elasticidad de mortero con 7 kg/m^3 de FPP 95

Tabla 16. Verificación de la hipótesis del módulo de elasticidad 95

Tabla 17. Resumen de cargas notables en ensayo de flexión 102

Tabla 18. Resumen comparativo de momentos y ductilidad de curvatura.....109

Tabla 19. *Verificación de las hipótesis del ensayo de flexión: Influencia en la resistencia a la flexión (fuerza máxima)* 112

Tabla 20. Verificación de las hipótesis del ensayo de flexión: Influencia en el comportamiento ante la deflexión (ductilidad) 113

Tabla 21. Resumen comparativo del comportamiento de fisuración en vigas de mortero armado 115

Tabla 22. Prueba de correlación de Pearson: Dosificación vs Ancho de fisura 116

Tabla 23. Verificación de las hipótesis del control de agrietamiento (fisuración) 121

Tabla 24. Resumen consolidado de parámetros de desempeño a flexión 122

Tabla 25. Análisis multicriterio de costo-beneficio 124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva Esfuerzo – deformación del concreto en compresión. 47

Figura 2. Curva Esfuerzo – deformación del acero. 49

Figura 3. Viga simplemente apoyada sometidas a carga concentrada. 50

Figura 4. Viga Simplemente apoyada sometidas a carga concentradas. 51

Figura 5. Diagrama momento – curvatura de una sección. 52

Figura 6. Esfuerzos en una sección rectangular con refuerzo en tensión sometida a flexión. 54

Figura 7. *Esfuerzos en una sección rectangular con refuerzo en tensión sometida a flexión.* 55

Figura 8. *Representación de las muestras para vigas de mortero armado ensayados a flexión a los 28 días de vaciado* 66

Figura 9. *Representación de las muestras para especímenes cilíndricos de 6"x12" de mortero armado ensayados a compresión a los 7, 14 y 28 días de vaciado* 66

Figura 10. *Patrones de tipo de fractura de las probetas cilíndricas* 74

Figura 11. Probetas cilíndricas en la máquina de ensayo a la compresión 83

Figura 12. Interacción entre la dosificación de FPP y la edad de curado sobre la resistencia a la compresión 88

Figura 13. *Viga de mortero armado instalada, instrumentada y enlazada al sistema de recolección de datos* 96

Figura 14. *Gata hidráulica aplicando la carga puntual hasta la falla de la viga* 97

Figura 15. *Curva carga vs deflexión de la viga VM- 1 Control* 97

Figura 16. *Curva Carga vs Deflexión de la Viga VM- 2 con 3kg/m^3 de FPP* 98

Figura 17. *Curva Carga vs Deflexión de la Viga VM- 3 con 5 kg/m³ de FPP*....99

Figura 18. *Curva Carga vs Deflexión de la Viga VM- 4 con 7 kg/m³ de FPP*..100

Figura 19. *Comparación Curva Carga vs Deflexión de 4 Vigas de mortero*....101

Figura 20. *Momento – curvatura de la viga VM - 1 Control*.....104

Figura 21. *Momento – curvatura de la VM- 2 con 3 kg/m³ de FPP* 105

Figura 22. *Momento – curvatura de la viga VM-3 con 5 kg/m³ de FPP* 106

Figura 23. *Momento – curvatura de la viga VM-4 con 7 kg/m³ de FPP* 107

Figura 24. *Comparación de momento – curvatura entre las 4 vigas* 108

Figura 25. Comparación de tenacidad (Energía absorbida) 111

Figura 26. Toma de datos para el control de fisuración, con el fisurómetro y papel mantequilla, en cuadro para realizar el dibujo a escala real 114

Figura 27. Muestra de falla en la viga VM-1 Control 116

Figura 28. Mapa de fisuras de la viga VM – 1 Cara Frontal.....116

Figura 29. Mapa de fisuras de la viga VM – 1 Cara Posterior 117

Figura 30. Muestra de Viga VM-2 con 3Kg/cm³ de FPP.....117

Figura 31. Mapa de fisuras de la viga VM – 2 Cara Frontal.....117

Figura 32. Mapa de fisuras de la viga de VM – 2 Cara Posterior.....118

Figura 33. Muestra de Viga VM-3 con 5 kg/m³ de FPP 118

Figura 34. Mapa de fisuras de la viga VM – 3 cara frontal.....119

Figura 35. Mapa de fisuras de la viga VM – 3 cara posterior 119

Figura 36. Muestra de Viga VM-4 con 7 kg/m³ de FPP 120

Figura 37. Mapa de fisuras de la viga VM – 4 Cara Frontal.....120

Figura 38. Mapa de fisuras de la viga VM – 4 Cara Posterior 120

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y fundamentación del problema

A nivel Internacional, las edificaciones que incorporan vigas de mortero armado, es un sistema constructivo basados en mortero reforzado con barras de acero, han presentado diversas limitaciones que se evidencian especialmente en estructuras antiguas, viviendas autoconstruidas y edificaciones de bajo costo. En los países de Europa, Asia y África, donde este sistema fue utilizado extensivamente durante las décadas de 1950 a 1980, se ha observado que el comportamiento mecánico del mortero reforzado e inferior al del concreto armado convencional. Entre los principales problemas identificados destacan la Baja capacidad portante y resistencia a flexión frente a cargar gravitacionales crecientes, sensibilidad a fisuración prematura, debido tanto a retracción del mortero como a deficiencias en las adherencias acero – mortero, corrosión acelerada del refuerzo y desempeño sísmico limitado, dado que la ductilidad del mortero armado es menor que la de los sistemas contemporáneos o de concreto reforzado.

En América Latina, las vigas de mortero armado fueron ampliamente utilizadas en viviendas social, infraestructura educativa y estructura de autoconstrucción, especialmente entre las décadas de 1960 y 1990, en esta región confluyen factores que incrementan la vulnerabilidad estructural, disponibilidad limitada de materiales y mano de obra calificada, alta sismicidad en países como chile, ecuador, México y

Perú, lo que exige niveles de resistencia y ductilidad que las vigas de mortero armado suelen no cumplir, climas húmedos y salinos (zonas costeras del caribe y Pacifico), que aceleran la corrosión del refuerzo.

En el Perú, el uso del mortero armado en vigas, ha sido frecuente en viviendas autoconstruidas, edificaciones educativas antiguas, este problema estructural se agrava debido a características locales bien documentadas, alta sismicidad del territorio peruano, condiciones climatológicas, falta de mantenimiento estructural, lo que acelera la aparición de fisuras, deformaciones y fallas localizadas en vigas, estas condiciones han llevado a que numerosas edificaciones muestren patologías estructurales severas, tales como, deflexiones excesivas en vigas, fisuración diagonal y vertical, perdida de sección por corrosión del acero, falla frágil ante cargas sísmicas moderadas, desprendimiento del recubrimiento y exposición del refuerzo.

En varios distritos del departamento de Ucayali como Masisea, Iparia, Tahuanía, Yurua y Purús se carece de la existencia de agregado grueso, donde la mezcla de concreto es elaborada sin agregado grueso. En dichos lugares no se dispone de cantera de agregado grueso, su transporte desde las canteras más cercanas encarece el costo del proyecto. Debido a esto, la edificación de estructuras de uso primordial, incluyendo centros educativos, instalaciones médicas y tanques de almacenamiento elevados, se ha llevado a cabo utilizando principalmente hormigón y armaduras de acero.

El problema al trabajar con mortero en la elaboración de elementos estructurales es que siempre se va a presentar fisuras. Cabe aclarar que estudios realizados a las vigas de mortero armado en el departamento de Ucayali, mostraron que dichas vigas tienden a presentan mayores números y espesores de fisuras, además de tener mayores deflexiones con respecto a una viga de concreto armado convencional.

La industria del concreto está cada vez acostumbrada a proponer nuevas tecnologías en materias de aditivos y adiciones con fines de mejorar la calidad del concreto y mejorar sus características acordes a las exigencias, una de ellas es la inclusión de las fibras de polipropileno en la mezcla de mortero, que constituye un proceso que no es muy conocido, esto sumado, a que no se tiene respaldo experimental que pueda validar su eficacia como una posible solución confiable en la elaboración de elementos estructurales a base de este material.

La carencia de información obliga a plantear ensayos de laboratorio para conocer el comportamiento del mortero armado reforzado con fibra de polipropileno frente a diferentes tipos de esfuerzos, para comprobar su confiabilidad antes de ser usado en el diseño estructural.

En este sentido, el presente trabajo de investigación se pretende obtener un indicador que conlleve al aprovechamiento de la fibra de polipropileno en vigas de mortero armado para que se utilice como referencia en el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de elementos estructurales a base de mortero.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cuál es el contenido óptimo de fibra de polipropileno para mejorar la resistencia a la flexión de vigas de mortero armado en el departamento de Ucayali?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo influye la adición de diferentes dosificaciones de fibra de polipropileno en la resistencia a la compresión del mortero en distintas edades de curado?
- ¿Cuál es el valor del módulo de elasticidad del mortero reforzado con una dosificación de 7 kg/m³ de fibra de polipropileno, determinado a partir de ensayos de compresión axial en probetas?
- ¿De qué manera la adición de fibra de polipropileno afecta el comportamiento a flexión de las vigas de mortero armado, específicamente en su resistencia máxima y su capacidad de deformación (ductilidad)?
- ¿De qué manera la adición de diferentes dosificaciones de fibra de polipropileno modifica el patrón y control de fisuración en vigas de mortero armado sometidas a flexión?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Determinar el contenido óptimo de fibra de polipropileno para mejorar la resistencia a la flexión de vigas de mortero armado en el departamento de Ucayali.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la resistencia a la compresión del mortero convencional y del reforzado con diferentes dosificaciones de (3, 5 y 7 kg/m³) de fibras de polipropileno en distintas edades de curado.
- Determinar el módulo de elasticidad del mortero reforzado con una dosificación de 7 kg/m³ de fibra de polipropileno, con base en los resultados de ensayos de compresión axial.
- Evaluar la influencia de la fibra de polipropileno en el comportamiento a flexión de las vigas de mortero armado, midiendo su resistencia máxima y su capacidad de deformación (deflexión).
- Caracterizar y comparar el patrón de fisuración de las vigas de mortero armado con diferentes dosificaciones de fibra de polipropileno para evaluar la influencia de las fibras en el control del agrietamiento.

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Justificación práctica

La fisuración es un problema muy común y frecuente en la construcción de elementos estructurales, tanto en el estado plástico como en el estado endurecido del mortero. Para contrarrestar la fisuración del mortero, se propone utilizar fibra de polipropileno como un refuerzo secundario. Al colocar este elemento de refuerzo en la mezcla de mortero, se hace necesario analizar su comportamiento, evaluando el efecto que produce la incorporación de las fibras sobre las propiedades mecánicas del elemento estructural.

En la actualidad no se tiene conocimiento sobre el mortero armado con la incorporación de fibras de polipropileno y merece ser atendido a través de investigaciones científicas, de tal forma, obtener un indicador que conlleve al aprovechamiento de los materiales a través de datos experimentales. El utilizar la fibra de polipropileno en la mezcla de mortero, exige conocer las propiedades de este material compuesto, tales como la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, la resistencia a la flexión, entre otras propiedades.

Conocer las propiedades del mortero armado reforzado con fibra de polipropileno, va a permitir comprender el comportamiento que podría tener el elemento estructural, por lo tanto, va a conllevar a tener un entendimiento del elemento cuando es sometidas a diferentes tipos de solicitaciones. Por tal razón, es necesario evaluar la posibilidad de

extender los alcances y limitaciones del empleo de este material compuesto en la elaboración de elementos estructurales.

La investigación tiene como finalidad evaluar el comportamiento del mortero armado reforzado con fibra de polipropileno en elementos sometidos a flexión, de tal manera que, si la investigación arroja resultados positivos, se obtendría un indicio que al ser complementado con investigaciones adicionales abriría la posibilidad y el respaldo de aprovechas las propiedades de la fibra de polipropileno y servirá como referencia para mejorar el diseño de elementos estructurales a base de mortero.

1.4.2 Justificación teórica

La esencia de la investigación nos permitirá generar un análisis y discusión sobre las características de la fibra de polipropileno de refuerzo en el mortero armado, para construcciones en áreas donde no se dispone de agregado grueso.

1.4.3 Justificación metodológica

Metodológicamente se utiliza de parámetros normativos para el procedimiento de los ensayos del laboratorio, la cual se recurrió al enfoque científico. La justificación metodológica de esta investigación radica en la adopción de un enfoque cuantitativo con un diseño experimental, considerado el más apropiado para evaluar el efecto de la adición de fibras de polipropileno en las propiedades mecánicas del mortero armado. La selección de ensayos estandarizados (NTP, ASTM) para la caracterización de materiales y la evaluación de la

resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y flexión, asegura la replicabilidad y validez de los resultados. La comparación controlada entre muestras con diferentes dosificaciones de fibra y una muestra patrón permite aislar el efecto de la variable independiente y obtener conclusiones basadas en evidencia empírica. Este enfoque sistemático y científico es fundamental para generar conocimiento aplicable en la mejora de las prácticas constructivas en el departamento de Ucayali, donde la optimización del mortero armado es crucial.

1.4.4 Importancia de la investigación

El estudio tiene importancia ya que se busca analizar el mortero armado reforzado con una dosificación optima de fibras de polipropileno adecuada, para atender las problemáticas de las infraestructuras construidas tradicional mente con mortero armado a falta de carencia del agregado grueso que son en varios distritos del departamento de Ucayali como Masisea, Iparia, Tahuania, Yurua y Purús, donde la mezcla de concreto es elaborada sin agregado grueso, la cual el mortero se reforzara con una dosificación optima de fibras de polipropileno para mejorar la resistencia a compresión, módulos de elasticidad del concreto, la flexión y controlar el agrietamiento en estado plástico y endureciendo de las viga de mortero armado convencional y con dosificaciones de fibras de polipropileno, y es por ello se busca determinas su efectividad mediante los ensayos de laboratorio para evaluar la dosificación optima de la fibra de polipropileno.

1.5 Limitaciones y alcances

1.5.1 Limitaciones

Las limitaciones metodológicas de la investigación incluyen la estandarización de las muestras, utilizando un solo tipo de viga con longitud y sección constantes para todos los ensayos. Adicionalmente, el alcance del estudio no contempla la ejecución de pruebas de tracción en el acero de refuerzo ni el análisis de los efectos de la fuerza constante sobre las vigas de mortero. Los parámetros de la fibra de polipropileno serán obtenidos de tablas especificadas por el proveedor de la gama.

1.5.2 Alcances

La investigación tiene los siguientes alcances:

- La arena gruesa fue extraída de la cantera del rio Ucayali.
- El agregado fino se tomó del estudio complementario a la tesis de Pérez (2023) la granulometría según la (NTP 400.012), contenido de humedad (NTP 339.185), peso unitario (NTP 400.017) peso específico y absorción (NTP 400.022).
- El cemento utilizado es el Portland Tipo I de la marca Andino.
- La relación agua cemento se tomó del estudio complementario a la tesis de Pérez (2023).
- El diseño de mezcla del mortero de compresión f’c=20.6 MPa a los 28 días, utilizando en estructuras de vigas de mortero armado, el análisis es basado en método del comité del ACI 211.

- La muestra de las vigas de mortero armado, fueron reforzadas con fibras de polipropileno de la marca BarChip 48, fibras sintéticas estructural de alto rendimiento para refuerzo del concreto, denominadas macrofibras, con dosificación de 3, 5 y 7 kg/m^3.

- Para la trabajabilidad del mortero se trabajó entre los valores de 3 a 4 pulgadas de slump.

- El armado de las vigas de prueba consistió en un refuerzo principal de acero corrugado longitudinal de 8mm y estribos (refuerzo transversal) de 6mm.

- Para la evaluación de la resistencia a compresión, se realizaron 9 probetas con mortero simple, 9 probetas con mortero reforzados con fibras de polipropileno de 3kg/m^3, 9 probetas con mortero reforzado con fibras de polipropileno de 5kg/m^3, y 9 probetas con mortero reforzado con fibras de polipropileno de 7kg/m^3, que se realizara los ensayos a los 7, 14 y 28 días.

- La determinación del módulo de elasticidad requirió la elaboración de 5 muestras de mortero las que fueron reforzadas con fibras de polipropileno con dosificación de 7kg/m^3 de dimisiones de 6”x12” con resistencia a la compresión de 20.6 MPa, con el método de ensayo indicado en la norma ASTM C-469.

- Los ensayos a flexión de vigas fueron en total 4, tres vigas corresponden a la muestra de mortero armado con fibras de polipropileno en dosificaciones de 3, 5 y 7 kg/m^3, y una que es de

mortero armado convencional, dichas vigas tienen una resistencia a compresión de 20.6 MPa, los ensayos se realizaron a los 28 días.

- Para determinar la resistencia a la flexión de concreto en vigas se utilizó la norma técnica peruana NTP 339.078.
- Se realizó el control del agrietamiento de las vigas luego de ser ensayadas.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

- La incorporación de un contenido óptimo de fibra de polipropileno en vigas de mortero armado mejora su comportamiento general a flexión, manifestándose en una mayor capacidad de deformación y un mejor control de la fisuración, en comparación con vigas de mortero armado convencionales sin fibras.

1.6.2 Hipótesis específicas

- La incorporación de fibras de polipropileno contribuye a mejorar la resistencia a la compresión del mortero en comparación con el mortero convencional.
- El mortero reforzado con una dosificación de 7 kg/m³ de fibra de polipropileno exhibe un módulo de elasticidad cuantificable y representativo de la rigidez del material, con un valor cercano a los 22,417 MPa.
- La incorporación de fibras de polipropileno influye positivamente en la resistencia a la flexión de vigas de mortero armado y en su

comportamiento a flexión en comparación con las vigas de mortero convencional.

- La incorporación de fibras de polipropileno en vigas de mortero armado controla eficazmente el agrietamiento por flexión, reduciendo el ancho máximo de las fisuras de manera más efectiva a medida que se incrementa la dosificación.

1.7 Sistema de variables, dimensiones e indicadores

1.7.1 Variable dependiente

- Resistencia a la compresión simple: Describe la medición de la resistencia a la compresión del mortero.

- Módulo de elasticidad: Se define como un parámetro que caracteriza el comportamiento elástico del elemento. Este valor se calcula mediante el ensayo de compresión axial a partir de la curva esfuerzo-deformación del concreto.

- Resistencia a la flexión simple: Describe la capacidad que tiene el elemento de soportar esfuerzos internos a tracción cuando es sometido a cargas perpendicularmente a su eje longitudinal.

1.7.2 Variable independiente

- Fibra de polipropileno: Se define como fibras sintéticas que son empleadas para reforzar el concreto, además se caracterizan por ser hidrofóbicas y no corrosivas, resistentes a los álcalis del cemento y presenta una baja conductividad térmica.

1.8 Definición operacional de variables, dimensiones e indicadores

Tabla 1.

Operacionalización de variables, dimensiones e indicadores

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Escala	Instrumento
VI					
Fibras de Polipropileno	Dosificación de fibras de polipropileno	Cantidad de fibra de polipropileno añadida por volumen de mortero: 0 kg/m^3, 3 kg/m^3, 5 kg/m^3, 7 kg/m^3	kg/m³	Razón	Balanza digital (para pesaje de fibras). Diseño de mezcla.
VD					
Diseño de viga de mortero armado	Resistencia a la compresión del mortero	Esfuerzo máximo de compresión soportado por probetas cilíndricas a los 7, 14 y 28 días.	MPa	Razón	Prensa hidráulica (Máquina de Ensayo Universal) según NTP 339.034.
	Módulo de elasticidad del mortero	Resistencia a la deformación.	MPa	Razón	Máquina de Ensayo Universal con sistema para Módulo de Elasticidad según ASTM C-469.
Comportamiento a flexión de las vigas de mortero armado	Resistencia a la flexión	Fuerza máxima soportada por la viga en el ensayo de flexión en cuatro puntos.	kN	Razón	Máquina de Ensayo Universal (Prensa Hidráulica con celda de carga) según NTP 339.078.
	Deformabilidad a Flexión	Deflexión en la fuerza máxima. Máxima deflexión registrada.	mm	Razón	Transductor de desplazamiento (LVDT) o similar, integrado en máquina de ensayo.
	Control de Fisuración	Ancho máximo de fisura post-ensayo. Patrón de fisuración.	mm; Cualitativo/ Numérico	Razón Nominal/ Razón	Fisurómetro; Inspección visual, Mapeo de fisuras, Registro fotográfico

Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Arriola Donis (2009), su investigación denominada “Diseño de morteros con cementos hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería”, buscó diseñar y evaluar diferentes proporciones de muros de mampostería. La metodología fue de carácter experimental, preparando diversas mezclas para crear una muestra de cubos de ensayo y prismas de mampostería sobre los cuales midieron propiedades en estado fresco y endurecido. Los resultados más relevantes en el contexto del estudio de morteros indican que la adición de cal tiene un doble efecto; por un lado, mejora notablemente la retención de agua, lo que aumenta la trabajabilidad y retrasa el fraguado; por otro lado, disminuye la adherencia entre el mortero y la unidad de mampostería. Por ello la conclusión central demuestra que el uso de la cal si bien beneficia las propiedades de mortero en estado plástico, puede ser perjudicial para la adherencia de la mampostería, un factor clave para la integridad estructural que también depende de la humedad del ladrillo (p.107).

Bentur, A., & Mindess, S. (2007). Fibre Reinforced Cementitious Composites (2nd ed.). Taylor & Francis, Este libro es una referencia internacional fundamental que compila investigaciones experimentales sobre morteros y concretos reforzados con diferentes

tipos de fibras, incluyendo fibras de polipropileno. Los autores demuestran que la incorporación de PPF reduce significativamente la fisuración por retracción plástica, mejora la tenacidad post-falla y aumenta la capacidad de absorción de energía en elementos sometidos a flexión.

Aunque el texto no se limita exclusivamente a vigas, sí presenta resultados aplicables al diseño y análisis del comportamiento de elementos flectados con matrices cementicias reforzadas con fibras.

Relevancia para el problema: Sus conclusiones respaldan el uso de PPF en vigas de mortero armado como estrategia para mejorar ductilidad, controlar fisuras y mitigar fallas frágiles.

El estudio de Gómez (2006), planteó el objetivo de evaluar y comparar las características físicas y mecánicas de morteros para levantando y acabado, elaborados con agregados provenientes del municipio de San Cristóbal Verapaz. La investigación buscaba determinar si los materiales locales cumplían con las normativas estándar para su uso en construcción. La metodología se basó en preparar mezclas de mortero en proporciones definidas para ambos usos (levantando y acabado). Estos morteros fueron sometidos a una serie de ensayo de laboratorio estandarizados por la ASTM para medir propiedades clave como la resistencia a la comprensión, contenido de aire y retención de agua a diferentes edades.

Gómez concluye que los agregados de San Cristóbal Verapaz son adecuados para la fabricación de morteros, ya que sus

resistencias superan los estándares mínimos. El mortero para levantado alcanzó 111.95 kg/cm^2, un 49.26 % sobre la norma, mientras que el de acabado llegó a 56.62 kg/cm^2. Al evaluar el comportamiento en mampostería, los prismas ensayados obtuvieron una resistencia a la compresión (f´m) de 22.1 kg/cm^2 sobre el área bruta y 34.7 kg/cm^2 sobre el área neta. Los datos revelan la importancia del curado, ya que la resistencia del mortero en campo fue un 6.7 % menor que la obtenida en laboratorio. Finalmente, el esfuerzo de adherencia fue modesto, alcanzando solo un 53 % del valor medio comparado con otros resultados de investigaciones similares (pp.69-70).

Hidalgo Yánez (2017), en su investigación titulada “Evaluación de parámetros incidentes en la respuesta post agrietamiento del hormigón proyectado reforzado con fibras de polipropileno” presentada en la Universidad de Chile planteó como objetivo principal analizar como la adición de fibras de polipropileno afecta el comportamiento y desempeño del hormigón estructural después de que se agriete. Su metodología se basó en la fabricación de probetas de hormigón con distintas combinaciones de las variables) diferentes resistencias y dosis de fibra).

La investigación arriba a la conclusión de que el uso de fibra de polipropileno en dosis de 4 y 6 kg/m^3 en hormigón de alta calidad puede ofrecer un rendimiento estructural aceptable, pero solo si se evalúa bajo ciertos criterios específicos como los de este estudio. Esto sugiere que dicho refuerzo podría ser insuficiente para clasificar estas

mezclas como aptas para funciones plenamente estructurales; por otro lado, la adición de estas fibras aporta beneficios secundarios que no se consideran en el diseño estructural tradicional. Entre estas ventajas se encuentran una mejor resistencia térmica y la capacidad de controlar la fisuración por retracción del hormigón. Gracias a estas propiedades adicionales, su uso en elementos de construcción es cada vez más viable y justificado.

Sarwary et al. (2019), tuvo como objetivo evaluar la capacidad de autodetección de daños en vigas de mortero reforzadas con acero a gran escala bajo cargas de flexión en su investigación “Auto detección de daños por flexión en vigas de mortero”. Los investigadores incorporaron fibras de carbono cortadas (CF) y nanotubos de carbono de paredes múltiples (CNT) en las vigas para otorgarles propiedades de autodetección. Midieron los cambios en la resistividad eléctrica en relación con la deformación de las vigas durante pruebas de flexión. La muestra consistió en vigas de mortero a gran escala reforzadas con acero de 100 x 150 x 1000 mm.

Entre los principales resultados, se observó una buena correlación entre la resistividad eléctrica y la deformación de la viga a niveles bajos de daño. A niveles altos de daño, las vigas con fibras de carbono mostraron cambios abruptos más claros en la resistividad, un comportamiento no observado en las vigas con nanotubos de carbono. Las conclusiones del estudio indican que el uso de fibras de carbono es más ventajoso que los nanotubos de carbono para la autodetección eficiente en estructuras, debido a su menor costo, mejor

rendimiento y mayor facilidad para mezclarse en sistemas de cementos densos (p.219).

Soroushian, P., & Bayasi, M. (1987). Fiber-reinforced concrete beams subjected to cyclic flexural loading. ACI Materials Journal, 84(4), 325–333, Este estudio experimental analiza el comportamiento de vigas de matriz cementicia reforzadas con fibras sintéticas, entre ellas fibras de polipropileno, sometidas a carga cíclica de flexión. Los resultados indican que la presencia de PPF incrementa la resistencia residual post-fisuración, reduce la propagación de grietas y mejora el desempeño bajo cargas repetidas en comparación con vigas sin refuerzo fibroso.

Relevancia para el problema: Proporciona evidencia directa de cómo las fibras de polipropileno mejoran el desempeño estructural en elementos tipo viga, información valiosa para estudios que evalúan vigas de mortero armado en zonas sísmicas.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Córdova Rosario y Veliz Torres (2021), realizaron en la ciudad de Lima la investigación “Fibra de polipropileno monofilamento para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto” con el objetivo de determinar la dosis optima de fibra de polipropileno monofilamento para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto. La metodología se basó en una investigación de tipo descriptiva explicativa, sonde se analizaron datos de tesis y artículos científicos sobre el efecto de la fibra en el asentamiento, contracción

plástica, la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y la durabilidad del concreto. Aunque no se detalla una muestra experimental propia, el estudio se fundamenta en los resultados de diversas pruebas de laboratorios reportados en la literatura. Los principales resultados basados en los estudios analizados indican que una dosis de 400 gr/m^3 de fibra de polipropileno puede reducir el potencial de fisuración hasta en un 90 %, disminuir el asentamiento en un 50 % e incrementar la resistencia a la compresión y a la flexión en aproximadamente un 3 % y 14 % respectivamente, a los 28 días. Concluyen que, la adición de fibras de polipropileno monofilamento mejora significativamente las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

Carranza Rivas (2010), en la investigación titulada “Ferrocemento: Estudio del mortero reforzado con malla de alambre y sus aplicaciones”, el autor publicó un análisis exhaustivo sobre las características y comportamiento de los morteros empleados en la construcción de estructuras de ferrocemento. El objetivo principal fue analizar las propiedades que deben reunir los morteros para este tipo de construcción y ofrecer recomendaciones para su aplicación. Para lograrlo, se llevó a cabo una metodología que incluyo la preparación de tres diseños, se obtuvieron relaciones agua/cemento de 0.48, 0.55 y 0.65 respectivamente.

La muestra fue sometida a una serie de ensayos tanto en su estado fresco se incluyeron pruebas de consistencia, peso unitario y tiempo de fraguado. Para el mortero endurecido, se realizaron ensayos

de compresión, tracción, módulo de elasticidad, flexión y permeabilidad, así como el estudio de la fisuración. Los resultados mostraron que, después de un curado de 28 días, los morteros con relaciones cemento/agregado de ½, 1/3 y ¼ alcanzaron resistencias a la compresión promedio de 495, 432 y 320 kg/cm^2 respectivamente; además se observó que estos morteros alcanzaron una alta resistencia a temprana edad (408, 312 y 235 kg/cm^2) a los 7 días, lo que permite un desencofrado prematuro.

Sin embargo, al comparar el módulo de elasticidad estático del mortero de ferrocemento con la fórmula teórica del módulo de elasticidad del concreto, se encontró que el del mortero era significativamente inferior, con reducciones de 60 %, 58 % y 56 % para cada una de las relaciones cemento/agregado estudiadas. a edad (las cuales dependen del tiempo de estructura a las condiciones de servicio). El módulo de rotura de los especímenes de ferrocemento en el ensayo de flexión se incrementó desde un 10 % hasta un 43 % respecto a la muestra de mortero patrón sin reforzar. En conclusión, la investigación demostró que los morteros con mallas de alambre pueden alcanzar altas resistencias a la compresión tanto a corto como a largo plazo, lo que los hace adecuados para ser desencofrados de manera temprana; no obstante, se debe considerar que su módulo de elasticidad es considerablemente menor en comparación con el concreto.

Casas Tuanama (2015), en la investigación titulada “El módulo de elasticidad en morteros de cemento con arenas de las canteras de

la ciudad de Iquitos” de se planteó el objetivo de establecer una expresión numérica para el módulo de elasticidad del mortero utilizando agregados locales, dada la escasez de agregado grueso en la región. La metodología se basó en la recolección de arenas de cantera de la ciudad de Iquitos, las que se analizaron en la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima para realizar los ensayos. Se elaboraron morteros con diferentes dosificaciones para alcanzar resistencias de 140, 175 y 210 kg/cm^2. Como resultado principal, se determinó que el módulo de elasticidad experimental para estas resistencias fue de 123,837 kg/cm^2, 139,339 kg/cm^2 y 153,041 kg/cm^2. En conclusión, el módulo de elasticidad para los morteros estudiados se puede calcular de manera fiable median la expresión E=11,0000 * √f’c lo que proporciona una herramienta técnica valiosa para la construcción en la selva peruana (pp.105-106).

Ñaupa Tello (2017), realizó su investigación en la ciudad de Huánuco titulada “Evaluación del comportamiento a la flexión de vigas de concreto reforzados con mortero sin contracción” con el objetivo de determinar la influencia del refuerzo con mortero sin contracción en el comportamiento a la flexión de vigas de concreto. Los ensayos se desarrollaron en los laboratorios de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, donde las vigas patrón y vigas reforzadas con una capa de 5 cm de mortero. Los resultados demostraron la eficacia del refuerzo; la resistencia promedio a la flexión de las vigas reforzadas fue de 41.72 Kg/cm^2 a las 24 horas, 57.44 kg/cm^2 a los 7 días, y 77.33 kgf/cm^2 a los 28 días. Estos valores representan incrementos del 89 %, 122 % y 165

% respectivamente, en comparación con la viga de control (46.99 kgf/cm^2). La conclusión principal es que el mortero sin contracción influye significativamente, aumentado la resistencia a la flexión de las vigas y garantizando una adherencia adecuada y transferencia de esfuerzos, logrando el monolitismo de la sección reforzada (pp.171-172).

2.1.3 Antecedentes locales

Pérez Nascimento (2024), en su investigación “Propuesta metodológica de diseño de vigas de mortero armado en el departamento de Ucayali” tuvo como objetivo desarrollar una metodología de diseño estructural para vigas de mortero armado, adaptada a los materiales y condiciones constructivas del departamento de Ucayali, La metodología se basó en los principios del diseño por resistencia, similares a los del concreto armado, pero ajustados a las propiedades mecánicas del mortero. Se realizaron ensayos de laboratorio para caracterizar la resistencia a la compresión del mortero (f´m) y el esfuerzo a fluencia del acero (fý). Como resultado principal, se formularon expresiones de cálculo y se propuso un procedimiento de diseño que considera las particularidades del mortero. Los morteros alcanzaron resistencias promedio a la compresión de 175 kg/cm2. En conclusión, se asevera que es seguro diseñar vigas de mortero armado para viviendas económicas en la región, siempre que se sigan los parámetros y la metodología propuesta (p.117).

Pérez Zumaeta y Ochoa Ramírez (2021), en la investigación de titulada “Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un mortero adicionado con ceniza de cascara de arroz con respecto a un mortero patrón de calidad f’c=175 kg/cm2” se planteó el objetivo de determinar la variación en la resistencia a la compresión del mortero al sustituir parcialmente el cemento por ceniza de cascara de arroz. Los ensayos se realizaron en la Universidad Nacional de Ucayali. Se elaboraron probetas de mortero patrón con 100 % cemento y probetas con sustituciones del 5 %, 10 % y 15 % de cemento con cascara de arroz para luego ensayarlas a los 7, 14 y 28 días. Los resultados mostraron que la adición de 5 % de cascara de arroz incrementó la resistencia a la compresión en un 4.17 % a los 28 días, alcanzando un valor de 182.33 kg/cm^2 frente a los 175 kg/cm^2 del mortero patrón, Sin embargo, las adiciones del 10 % y 15 % disminuyeron la resistencia. En conclusión, la adición de 5 % de cascara de arroz incrementó la resistencia a la compresión en un 4.17 % a los 28 días, alcanzando un valor de 182.33 kg/cm^2 frente a los 175 kg/cm^2 del mortero patrón, Sin embargo, las adiciones del 10 % y 15 % disminuyeron la resistencia (p.133).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Materiales utilizados

Mortero. Producto artificial constituido por la mezcla básicamente de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, resultante de la combinación química del material cementante con el agua, está compuesta de cemento portland y agua, une los agregados

finos, los cuales conforman el cuerpo del material, creando una masa que al endurecer forma una roca artificial (Ríos, 2011).

La pasta constituye la fase continua del concreto y los agregados la fase discontinua, pues éstos no se encuentran unidos y en contacto sino, se hallan separados por espesores diferentes de pasta endurecida. La normativa E.060 referente al Concreto Armado, describe al concreto como la unión de un cemento hidráulico como el tipo Portland, agregados finos y gruesos, y agua, con la posible incorporación de aditivos.

Cemento. La Norma de Estructura E.060 Concreto Armado – 2009, conceptualiza al cemento Portland como un material que resulta de la molienda fina de Clinker Portland, al que opcionalmente se le puede incorporar sulfato de calcio. Se permite el agregado de otras sustancias hasta un límite del 1 % de la masa total, bajo la condición de que la normativa aplicable certifique que dicha incorporación no altera las características del producto final. Todos los componentes añadidos deben ser molidos simultáneamente con el clinker. Al agregarle una proporción adecuada de agua, ese cemento crea una pasta aglutinante con la capacidad de fraguar y solidificarse tanto en ambientes aéreos como acuáticos.

Agregado fino. Material, originada por la descomposición de las rocas, ya sea de forma natural (arena natural) o artificial (manufacturada) de las rocas, que atraviesa al Tamiz 3/8” (9.51 mm) y es retenido en el tamiz N° 200 (74µm), como se indica en la Norma

Técnica Peruana 400.011. Deberá estar graduado dentro de los límites establecidos en la Norma Técnica NTP 400.037, en concordancia con la Norma ASTM C-33, es sugerible que el tamaño de las partículas cumpla con las especificaciones y los valores establecidos en la tabla granulométrica relevante (Barba, 2018).

Las características principales del agregado fino son las siguientes: Peso unitario, peso específico y absorción, contenido de humedad, granulometría, módulo de finura, superficie específica, material que pasa la malla # 200.

Acero corrugado. Para suplir la debilidad del concreto ante la tracción, a pesar de su notable resistencia a la compresión, se le incorporan varillas de acero con resaltes. Este refuerzo metálico otorga a los componentes de hormigón armado la ductilidad y la aptitud por sí mismo. En la industria peruana, prevalecen las varillas de acero estriado Grado 60 según la norma ASTM A615, las cuales deben poseer un límite de fluencia (fy) de, como mínimo, 420 MPa (4200 kg/cm2).

Fibras de polipropileno. Para Intor (2015), la fibra de polipropileno es elaborada exclusivamente con materia prima 100 % virgen. Este material se presenta en formato de hebras de monofilamento que, al ser integradas en el concreto, funcionan como una armadura multidireccional. Su principal función es mitigar la aparición de fisuras y grietas en la masa de hormigón.

El hormigón es un material versátil que reduce la tensión y evita la formación de grietas de diferentes maneras. Su composición cohesiva ayuda a que las resinas se contraigan de forma uniforme cuando aún están frescas, lo que minimiza el agrietamiento por retracción. A medida que se endurece, el hormigón absorbe y distribuye el calor, lo que previene el agrietamiento térmico. Dentro de la composición de la fibra de polipropileno se encuentra una sustancia antimicrobiana integral. Su función es interferir los procesos metabólicos de los microbios, evitando que se desarrollen y se reproduzcan (pp. 30-31).

La norma ASTM C1116 describe las fibras como hebras delgadas y alargadas de origen natural o artificial, que pueden dispersarse homogéneamente en una mezcla de concreto fresco. Según el estándar, las fibras se clasifican principalmente en tres grupos por su composición: de acero, de vidrio y sintéticas. Estas últimas se elaboran a partir de materiales como el polipropileno, nylon o carbono, y se distinguen por su elevada resistencia a la tracción, dividiéndose en categorías de alto y bajo módulo de elasticidad. La incorporación de fibras sintéticas aporta beneficios clave: en estado fresco, mitiga la contracción plástica, mientras que, en estado endurecido, aumenta la tenacidad y la resistencia al impacto.

Dentro de este grupo, las macrofibras están diseñadas para controlar la fisuración en el concreto endurecido. Su dosificación habitual varía entre 2 y 9 kg/cm^3) o del 0.2 % al 0.8 % del volumen), y sus diámetros suelen estar entre 0.05 y 2.00 mm. En general, existe

una amplia diversidad de fibras, que se diferencian por su material, longitud, diámetro, rugosidad y propiedades mecánicas.

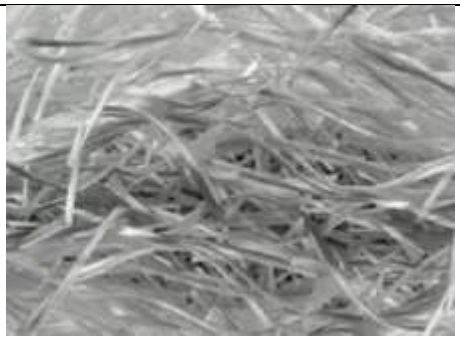
MICROFIBRAS



Microfibras de polipropileno



Microfibras metálicas laminadas



Microfibras Sintéticas



Microfibras Metálicas

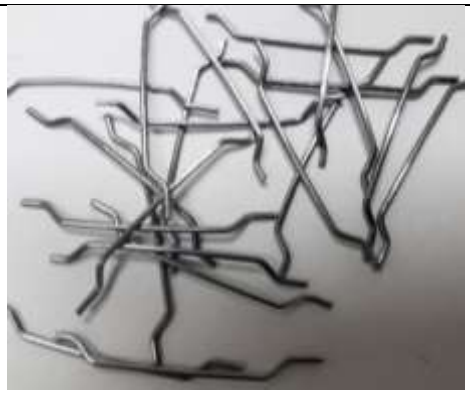
MACROFIBRAS



Macrofibras de polipropileno



Microfibras de acero anclado pegadas



Macrofibras metálicas trenzadas



Fibras de vidrio

Algunos tipos de fibras usados en el mercado (fuente propia)

2.2.2 Método de diseño

En la actualidad existen dos métodos para el diseño de concreto armado:

- **Diseño elástico o por cargas de servicio**. Este método parte del supuesto de que, bajo cargas de trabajo normales, tanto el concreto como el acero se comportan de manera elástica, permitiendo predecir la distribución de tensiones. El objetivo del diseño es asegurar que estas tensiones de trabajo no superen los límites permisibles, los cuales son un porcentaje de la capacidad máxima de los materiales) la resistencia a compresión del concreto y el límite de fluencia del acero). Si bien es crucial la frágil), una limitación clave de este método es que no analiza el tipo de falla ni la carga última que causa el colapso, por lo que el factor de seguridad real permanece desconocido.
- **El diseño por rotura o carga ultima.** Este método de diseño se enfoca en predecir la carga última que un elemento puede soportar y en analizar su modo de colapso. A diferencia de otros enfoques,

considera el comportamiento inelástico no lineal tanto del concreto como del acero, lo que permite una estimación más precisa de la capacidad de carga real. Sus principales beneficios son el control sobre el mecanismo de falla, la posibilidad de evaluar la ductilidad de la estructura y la obtención de diseños más eficientes al aprovechar toda la capacidad de los materiales; sin embargo, su gran limitación es que se centra exclusivamente en la resistencia, por lo que debe ser complementado con verificaciones adicionales para asegurar que, bajo cargas de servicio normales, no se produzcan deflexiones excesivas o fisuraciones críticas.

- **Método de diseño propuesto por el código ACI**

  La normativa ACI 2019 da prioridad al diseño por resistencia última. Este enfoque establece factores de seguridad explícitos mediante dos acciones simultáneas: amplifica las cargas de trabajo y, a la vez, aplica un factor de reducción a la resistencia nominal del componente. El proceso inicia con la determinación de las cargas de servicio, que luego son incrementadas. Tras diseñar la estructura para estas cargas mayoradas, se debe comprobar su comportamiento bajo condiciones de uso normal, específicamente el control de agrietamiento y las deformaciones. Si estas verificaciones de serviciabilidad no son satisfactorias, es necesario replantear el diseño original.

- **Propiedades mecánicas del Concreto**

  Relación esfuerzo – deformación del concreto a compresión

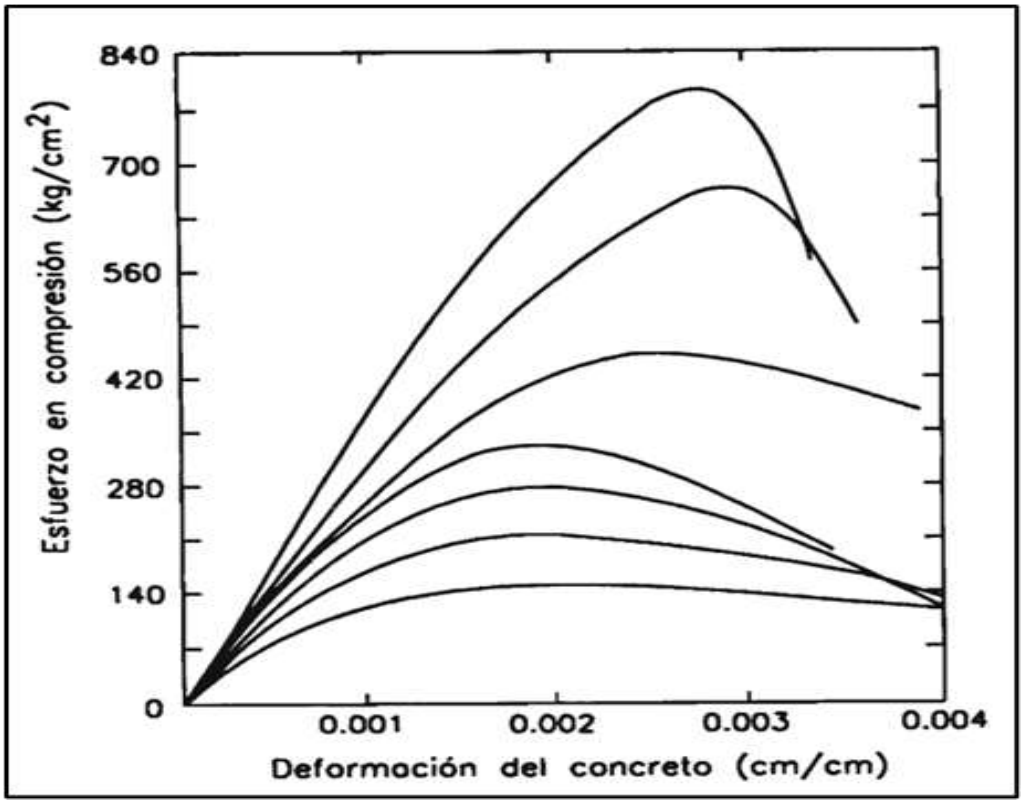
Para presentar la curva esfuerzo – deformación del concreto hay diversas sugerencias, estas se fundamentan en las pruebas de compresión axial de muestras de 6”x12 de concreto, además se efectúen modificaciones para que puedan representar de manera prudente el comportamiento del concreto sin confinamiento en sus diferentes fases

Cuando se ejerce una fuerza axial en un ángulo recto sobre el concreto, este comienza a sufrir deformaciones debido al efecto de Poisson, y se agrieta cuando la tensión excede la adherencia entre sus componentes. Al continuar aumentando la carga, las fisuras se vuelven incontrolables hasta que el componente ya no pueda resistir más la carga.

En la figura 1 se presenta la curva esfuerzo – deformación del concreto para distintos niveles de resistencia a la compresión, comenzando con una forma que es prácticamente lineal y se extiende hasta alrededor de 1/3 del f’c, luego se ajusta a la forma de una parábola invertida, donde el punto máximo representa el esfuerzo de compresión más alto.

Figura 1.

Curva Esfuerzo – deformación del concreto en compresión.



Fuente: Harmsen (2002)

- **El módulo de elasticidad** de un material es una medida que nos ayuda a evaluar la deformación dentro del límite elástico, y depende del ángulo de la gráfica de esfuerzo versus deformación. Este coeficiente evalúa la rigidez o resistencia a la deformación del material y se determina mediante el modelo secante y el modelo tangente.

El comité ACI emplea el módulo de elasticidad secante del concreto y propone:

$$E_C = 0.14w^{1.5}\sqrt{f'c}$$

Donde:

E_c: Módulo de elasticidad del concreto

w : Peso unitario del concreto en kg/m3 (para valores entre 1440 y 2480 kg/m3)

f'c: Resistencia a la compresión del concreto

El módulo de elasticidad para concreto normales, con pesos unitarios de 2300 kg/m3 aproximadamente se utiliza la siguiente formula:

$$E_C = 15100\sqrt{f'c}$$

Para la norma E.060 en el capítulo 8, propone que el módulo de elasticidad del concreto para pesos unitarios normales se debe considerar la siguiente expresión:

$$E_C = 15000\sqrt{f'c}$$

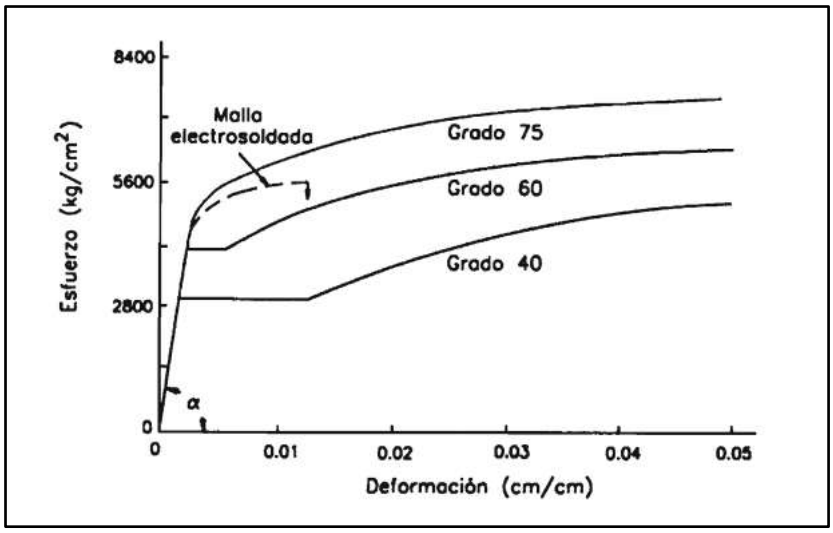
- **Propiedades mecánicas del acero**
  - ✓ **Relación esfuerzo – deformación del acero**

    El comportamiento de una barra de acero se define principalmente por su límite de fluencia (fy) y su módulo de elasticidad (Es). Está comprobado, tanto teórica como experimentalmente, el rol crucial que juega el acero en la ductilidad de los elementos de concreto armado. En este sentido, una investigación de Otrazzi y Muñoz demostró que para secciones con porcentajes de refuerzo moderados, la relación momento-curvatura del elemento replica la forma de la curva tensión-deformación del acero. Su estudio concluyó también que los aceros con un extenso escalón de cendencia (plataforma de fluencia) y bajo endurecimiento por deformación confieren una elevada ductilidad a la sección. Es

importante notar que, si bien los distintos grados de acero se comportan de manera idéntica en su rango elástico, sus curvas de tensión-deformación divergen una vez que ingresan a la zona inelástica.

Figura 2.

Curva Esfuerzo – deformación del acero.



Fuente: Harmsen (2002)

Según la normativa ACI, el límite de fluencia (fy) del acero se debe tomar como la tensión correspondiente a una deformación unitaria especifica de 0.0035. Por su parte, la norma peruana E 0.60 en su capítulo 8, establece que el módulo de elasticidad (Es) para el acero de refuerzo es de 2,000,000 kg/cm^2.

- **Diseño por flexión**

Según Harmsen (2002), el análisis y el diseño por flexión son procesos inversos que, aunque se basan en los mismos principios, siguen metodologías distintas. El análisis consiste en calcular la capacidad del momento de una viga cuyas dimensiones y esfuerzo ya se conocen; en cambio, el diseño busca dimensionar

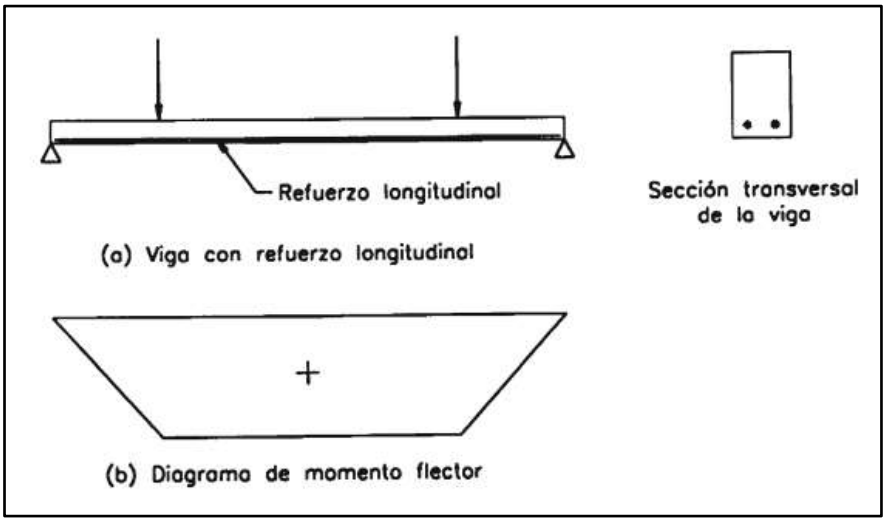
una sección (definir su tamaño y cantidad de acero) para que pueda soportar un momento actuante conocido (p. 77).

Comportamiento de una viga de concreto armado sometido a flexión

Un elemento estructural de forma rectangular, con apoyos simples y reforzado en la parte inferior, soporta dos cargas concentradas idénticas. Esto crea un diagrama de momento flector en la parte inferior donde la fibra superior está en compresión y la inferior en tracción.

Figura 3.

Viga simplemente apoyada sometidas a carga concentrada.

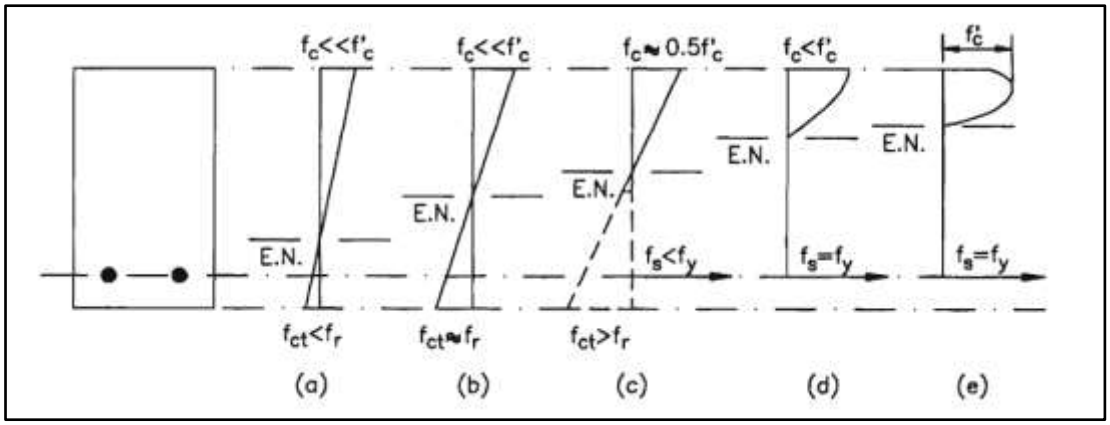


Fuente: Harmsen (2002)

En la fase inicial del proceso, cuando las cargas aplicadas son aún bajas, las tensiones generadas en la viga, tanto de compresión como de tracción, se mantienen por debajo de la capacidad de resistencia del concreto. Como resultado, en esta etapa la sección de la viga se conserva integra y no aparecen fisuras. En la figura 4(a) se muestra la distribución de esfuerzo de la sección.

Figura 4.

Viga Simplemente apoyada sometidas a carga concentradas.



Fuente: Harmsen (2002)

Segunda etapa: El esfuerzo de tracción en el hormigón se aproxima a su límite de resistencia. El material aun soporta la tensión generada por su propia deformación sin que aparezcan fisuras. Debido a la fuerte adherencia, el acero y el hormigón experimentan la misa deformación. La relación entre los esfuerzos de ambos materiales se define por el coeficiente de equivalencia n, donde el esfuerzo en el acero es igual al hormigón multiplicado por n. durante toda esta etapa, la sección de la viga presenta una conducta completamente elástica.

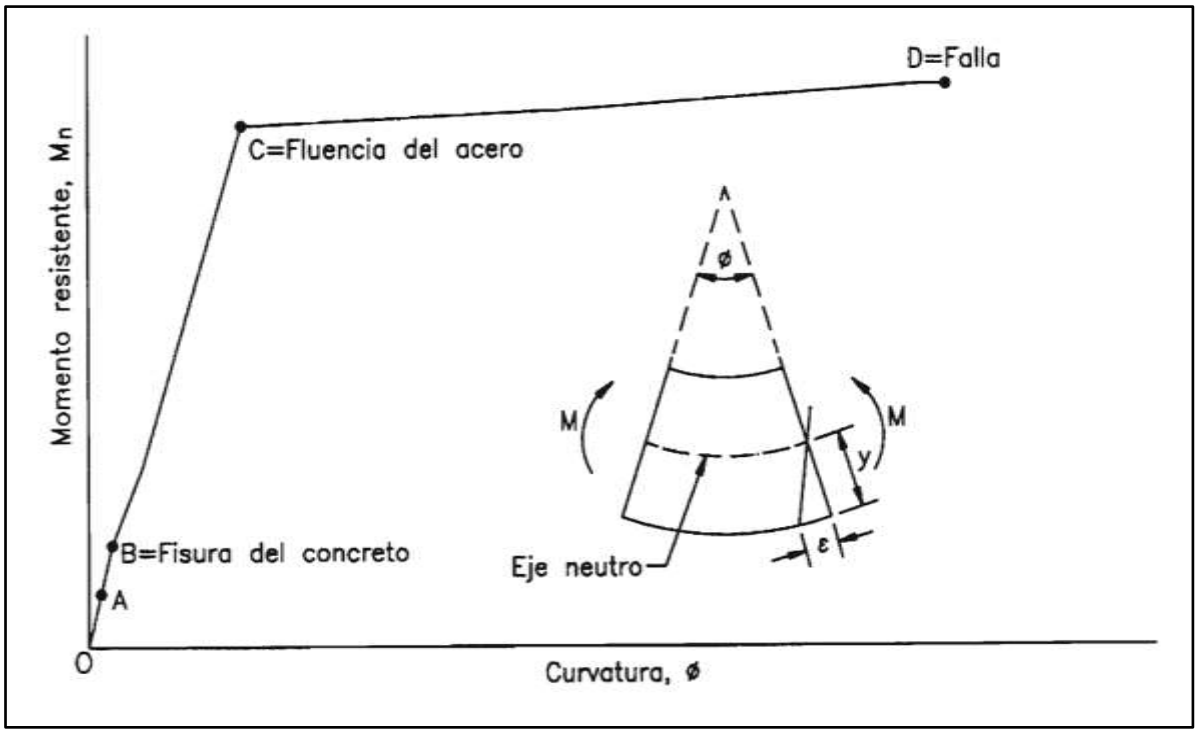
Tercera etapa: Esta etapa comienza cuando la sección alcanza el momento de agrietamiento, lo que provoca la aparición de las primeras fisuras en la zona central inferior de la viga. A medida que la carga se incrementa, el eje neutro se desplaza hacia la zona de compresión. El hormigón, incapaz de soportar la tracción, se fisura la tensión es transferida y asumida por la armadura de acero. En este punto, la distribución de los esfuerzos en el hormigón es todavía casi lineal y su valor máximo llega aproximadamente a la mitad de su resistencia total. Con más carga, las grietas existentes aumentan su apertura y

se propagan hacia el eje neutro. Si la carga se eliminara, las fisuras se cerrarían, pero volverían a abrirse de inmediato al aplicar la carga nuevamente.

Cuarta etapa: En esta etapa la armadura de acero llega a su punto de cedencia (fluencia), aunque el hormigón no ha alcanzado su máxima capacidad a compresión. Los esfuerzos en el bloque de hormigón comprimido adoptan una distribución parabólica, la deflexión de la viga aumenta y las fisuras se hacen anchas. A medida que la carga siga aumentando, el acero entra en una fase de endurecimiento por deformación hasta que, finalmente el hormigón colapsa por aplastamiento en la zona de compresión. Estas cuatro fases del comportamiento se pueden visualizar claramente en una gráfica de momento-curvatura.

Figura 5.

Diagrama momento – curvatura de una sección.



Fuente: Harmsen (2002)

La curvatura se define con la siguiente ecuación:

$$ø = \frac{\varepsilon}{y}$$

Donde:

ε: Deformación unitaria de la sección a una distancia del eje neutro.

Se parte del supuesto de que la distribución de las deformaciones es lineal, lo que implica una proporcionalidad directa entre "ε" e “y”; por consiguiente, la curvatura se mantiene invariable para cualquier momento resistente.

- **Análisis de elementos de sección rectangular con refuerzo en tracción sometidos a flexión.**

Para poder calcular la capacidad de momento de una sección es primordial corroborar si el refuerzo de acero ha alcanzado su límite de fluencia, Los componentes sometidos a esfuerzos de flexión se diseñan para que su falla ocurra por tensión, ya que se considera una modalidad de colapso más conveniente. De este modo, se presenta el método de análisis para esta situación específica.

- **Análisis de una sección rectangular con comportamiento dúctil**

Según la distribución de tensiones que se muestra en la figura 5, se puede determinar la siguiente condición de equilibrio:

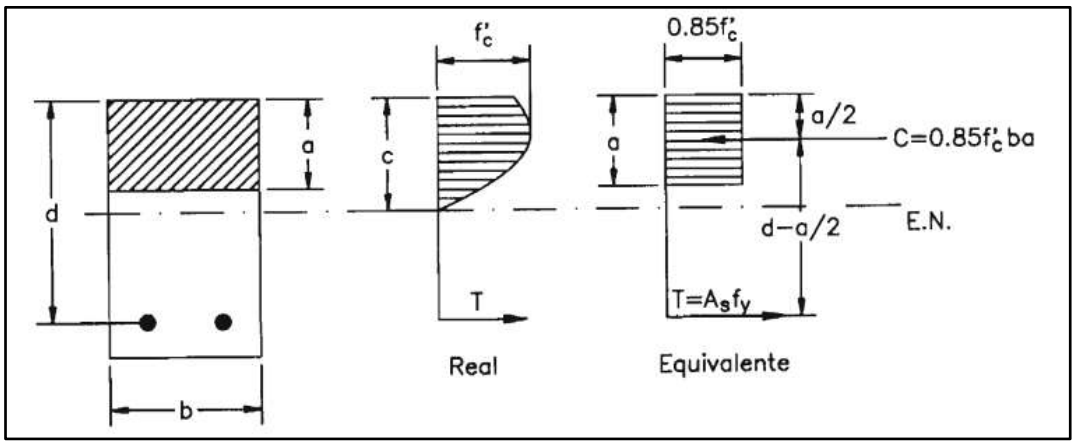
$$(0.85f'c)b * a = A_s * f_y$$

Despejando el valor de “a” se obtiene:

$$a = \frac{A_s * f_y}{(0.85f'c)b}$$

Figura 6.

Esfuerzos en una sección rectangular con refuerzo en tensión sometida a flexión.



Fuente: Harmsen (2002)

A partir de la misma gráfica también se determina el momento último; este valor se obtiene al multiplicar el momento resistente por un coeficiente de reducción de resistencia, para el cual se adopta un valor de 0.90 en el diseño por flexión.

$$M_u = \phi M_n = \phi A_s * f_y(d - \frac{a}{2})$$

Mediante las dos ecuaciones anteriores, e posible calcular la cuantía de acero de refuerzo necesario para la viga como parte de un proceso iterativo inicial; sin embargo, existen otras fórmulas que permiten obtener el área de manera directa.

$$A_s = \frac{2 * M_u}{\phi f y * (d + \sqrt{d^2 + g})}$$

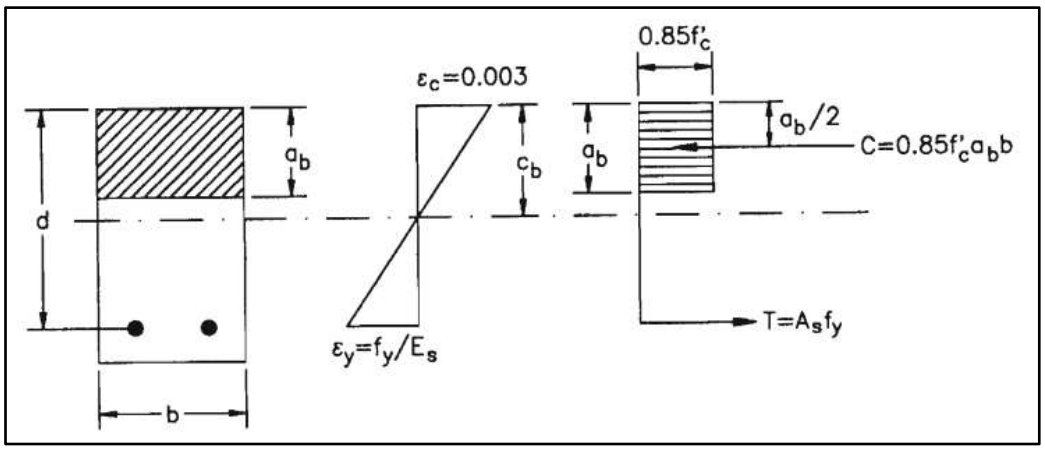
$$g = \frac{2 * M_u}{0.85 \phi f' c * b}$$

- **Determinación de la cuantía balanceada**

La figura 7 ilustra las propiedades de una sección rectangular con falla balanceada. A partir del diagrama de deformaciones, es posible establecer por semejanza de triángulos la siguiente relación:

Figura 7.

Esfuerzos en una sección rectangular con refuerzo en tensión sometida a flexión.



Fuente: Harmsen (2002)

$$\frac{0.003}{c} = \frac{\varepsilon_y}{d+c} = \frac{f_y/Es}{d-c}$$

Se despeja el valor de “c” y se reemplaza Es=2000000 kg/cm2

$$c = \frac{0.003dEs}{f_y + 0.003Es} = \frac{6300d}{f_y + 6300}$$

Se conoce que a= β, por lo tanto, se obtiene:

$$a = \beta c = \frac{A_s * f_y}{(0.85f'c)b} * \frac{d}{d} = \left(\frac{A_s}{bd}\right) * \frac{f_y d}{(0.85f'c)} = (\rho_b)\frac{f_y d}{(0.85f'c)}$$

Despejando el valor de la cuantía balanceada y reemplazando el valor de "c" en la última ecuación se obtiene la siguiente formula:

$$\rho_b = \frac{(0.85f'c)\beta c}{f_y d} = \frac{(0.85f'c)\beta}{f_y d} * \frac{6300d}{f_y + 6300} = \frac{(0.85\beta f'c)}{f_y} * \frac{6300}{f_y + 6300}$$

Diseñar una sección de viga con la cuantía balanceada resulta poco rentable, por lo que en la práctica se prefiere utilizar porcentajes de refuerzo inferiores a a $0.5\rho_b$.

Refuerzo mínimo requerido:

En ciertas ocasiones, por motivos arquitectónicos o de funcionalidad, los elementos estructurales se dimensionan con secciones más grandes de lo estrictamente necesario para soportar las cargas. Este ocasiona que la cuantía de acero requerida disminuya, lo que puede llevar a una falla súbita y frágil si se supera el momento de agrietamiento de la sección. Para revenir este tipo de rotura, es fundamental establecer una cuantía de acero mínima que garantice que el momento resistente de la vía sea superior a su momento de agrietamiento.

El RNE E0.60 proporciona para calcular el área de acero mínima en la zona de tracción para vigas rectangulares, utilizando la ecuación:

$$A_{s\,min} = \frac{0.7\sqrt{f'c}}{f_y} bd$$

2.3 Definición de términos básicos

- **Acero de refuerzo:** El acero de refuerzo empleado en estructuras de concreto reforzado, se puede dividir por su forma en corrugado y liso. Por la reglamentación dada en la norma E.060 solo se admite el acero de

refuerzo corrugado; el liso puede utilizarse solamente en estribos, espirales o tendones y refuerzo de repartición o temperatura. (Aguilar Chama & Cari Montoya, 2019, p.16)

- **Agregados:** Según menciona la N.T.P E.060 Concreto Armado (2009) los agregados son materiales granulares, de origen natural o artificial, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico. (p.13)
- **Agregado Fino:** Es proveniente de la desintegración de las rocas y por su tamaño son retenidas por el tamiz 3/8". "Tanto el agregado fino como el grueso constituyen los elementos inertes del concreto, ya que no intervienen en las reacciones químicas entre cemento y agua. El agregado fino debe ser durable, fuerte, limpio, duro y libre de materias impuras como polvo, limo, pizarra, álcalis y materias orgánicas. No debe tener más de 5% de arcilla o limos ni más de 1.5% de materias orgánicas". (Harmsen, 2017, p.12)
- **Agua:** Este es un componente esencial para activar la reacción de hidratación del cemento, proceso que permite el desarrollo de sus propiedades aglomerantes; por esta razón, la calidad del agua es un factor que debe cumplir con ciertos requisitos para asegurar que la combinación química se realice correctamente, ya que de ella dependen directamente la resistencia y durabilidad del concreto una vez endurecido.
- **Cemento portland:** Es un producto que al combinarse con agua tiene la capacidad de reaccionar lentamente para crear una sustancia solidificada. Esencialmente es un clinker finamente molido, producido por

la cocción a elevadas temperaturas, de mezcla de contiene cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas (Abanto, 2002, p.15).

- **Fisuración:** Es la rotura en la masa del mortero que se manifiesta exteriormente en forma lineal. Se produce mayormente por la tensión, generado por la tracción a la que se encuentra sometido al material, donde sobrepasa su resistencia ultima.
- **Fibras de polipropileno:** Son fibras sintéticas de filamentos individual de polipropileno, diseñadas para trabajar como refuerzos secundarios para el concreto, estas fibras brindan una solución práctica y económica para gestionar las fisuras causadas por la contracción que se forman en el concreto durante su fase plástica mediante la introducción de miles de fibras individuales dentro del concreto. Este refuerzo genera resistencia a las grietas en toda la masa del concreto.
- **Curado:** El curado es el procedimiento para mantener el concreto húmedo, asegurando que los poros llenos de agua sean ocupados por los compuestos generados durante la hidratación del cemento. Su finalidad es regular la temperatura y la humedad del material, además de prevenir la aparición de fisuras por contracción hasta que el concreto desarrolle la resistencia suficiente para soportar estas tensiones (Harmsen, 2017).
- **Diseño de Mezcla:** Se refiere a la aplicación de conocimientos científicos sobre los componentes del concreto y sus interacciones. El objetivo es crear un material que cumpla de forma eficiente con las necesidades específicas de un proyecto de construcción (Pasquel, 1998).
- **Diagrama momento curvatura:** El diagrama muestra la relación que existe entre el momento flector aplicado y la curvatura que se ostenta en

la sección ante cada aumento de momento. En el diagrama se puede destacar el momento de agrietamiento de la sección, el momento de fluencia y el momento ultimo o máximo de la sección.

- **Módulo de Elasticidad:** Es la resistencia que opone el material a ser deformado, y corresponde a la pendiente de la parte inicial de la curva esfuerzo deformación unitaria del concreto y aumenta con la resistencia del concreto a compresión (Aguilar Chama & Cari Montoya, 2019, p.12).
- **Mortero:** Es toda mezcla de [cemento + arena + agua] que puede tener función estructural, o no tenerla. Los pañetes (mortero para revestimiento), por ejemplo, no poseen función estructural; los morteros usados en mampostería (pega o relleno), o los usados para fundir elementos estructurales, sí poseen tal función. (Salamanca, 2001, p. 42)
- **Mortero Armado:** Consiste en la combinación de dos materiales, el mortero y el acero de refuerzo, estos se combinan para actuar juntos en fuerzas de resistencia a la compresión y a la tracción, tiene el fin de conformar elementos estructurales.
- **Mortero armado reforzado con fibra de polipropileno:** Es una alternativa eficaz ante la necesidad de reforzar y mejorar el comportamiento estructural de un elemento de mortero armado. El incorporar las fibras de polipropileno en la mezcla de mortero, pueden reducir significativamente las fisuras y mejorar sus propiedades mecánicas.
- **Patrón de fisuración:** Es la gráfica de la separación entre fisuras y su espesor. depende de varios factores, tales como los materiales de

refuerzo, la cuantía, la resistencia a tracción del mortero y la capacidad de adherencia entre los dos componentes.

- **Resistencia:** la resistencia del elemento se define como la capacidad de poder soportar las cargas aplicadas sin poder llegar a su estado de rotura, consiguiendo deformaciones transitorios o permanentes. Su definición puede variar según al tipo de carga que se aplique, al tipo de ensayo o al tipo de diseño.
- **Resistencia requerida:** Es la resistencia que un elemento o una sección transversal debe poseer la capacidad para soportar las cargas amplificadas, así como los momentos y fuerzas internas, tal como lo exige la normativa peruana vigente (N.T.P E.060 Concreto Armado, 2009, p.17).
- **Resistencia nominal:** Se refiere a la capacidad de carga de un componente o sección, determinada a partir de los principios y supuestos del método de diseño por resistencia según lo estipulado en la normativa peruana vigente N.T.P E.060 Concreto Armado (2009) antes de aplicar cualquier factor de reducción de resistencia.
- **Resistencia de diseño:** Es la resistencia nominal multiplicada por el factor de reducción resistencia que corresponda, según lo estipulado en la normativa peruana vigente. (N.T.P E.060 Concreto Armado, 2009, p.17)
- **Resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2) a una edad de 28 días se le designe con el símbolo f'c. (Aguilar Chama & Cari Montoya, 2019, p. 12)

- **Resistencia a la flexión:** Como menciona Ottazzi Pasino (2004), la resistencia a la flexión del concreto es una medida proveniente de la resistencia a la tracción. La resistencia en tracción directa o en tracción por flexión del concreto, es una magnitud muy variable. La resistencia a la tracción directa del concreto varía entre el 8 % y el 15 % de la resistencia en compresión (f′c). (p.19).
- **Agregados**

  Son partículas de origen natural o artificial que pueden ser procesadas, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma Técnica Peruana 400.011 (Ari Queque, 2002). Sus características físicas más importantes incluyen peso unitario, peso específico, contenido de humedad, porosidad y la distribución granulométrica de las partículas, conocida como granulometría, el módulo de finura; para las cuales existen una serie de ensayos de laboratorio estandarizados, para su comparación con valores de referencia establecidos en las Normas o para establecerlo en los diseños de mezcla de concreto (Chávez, 2015).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Metodología y técnicas utilizadas

3.1.1 Tipo de investigación

La naturaleza de la investigación fue aplicada, dado que su propósito fue generar conocimiento para la solución de problemas específicos en el contexto de la construcción en el departamento de Ucayali, específicamente en el mejoramiento de la resistencia a la flexión de vigas de mortero armado.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo. De acuerdo con Hernández (2018), este enfoque se caracteriza por la aplicación de procedimientos sistemáticos y empíricos al estudio de un fenómeno. Tamayo (2007) complementa indicando que el enfoque cuantitativo se basa en el contraste de hipótesis que emergen como respuestas anticipadas a los fenómenos, donde la investigación cuantifica y analiza los datos obtenidos en función del objeto de estudio. Por tanto, este estudio se fundamentó en la medición numérica y el análisis estadístico de los datos recopilados mediante ensayos de laboratorio para evaluar las propiedades del mortero armado reforzado con fibra de polipropileno.

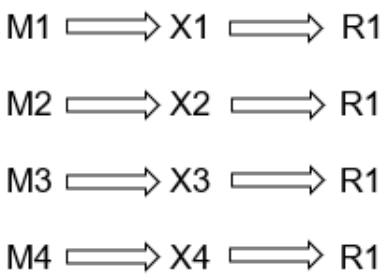
3.1.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación fue principalmente explicativo, con aspectos descriptivos y exploratorios. Arias (2006) expresa que el nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se analiza

un fenómeno. En su componente explicativo, se buscó determinar las causas y efectos de la adición de diferentes dosificaciones de fibra de polipropileno en la resistencia a la flexión de las vigas de mortero armado. Desde una perspectiva descriptiva, se caracterizó el comportamiento de las vigas sometidas a esfuerzos de flexión. Finalmente, el componente exploratorio indagó el efecto de las fibras en este tipo particular de mortero en el contexto local. La naturaleza experimental del estudio permitió la manipulación deliberada de las dosificaciones de fibra de polipropileno (variable independiente) para observar su efecto en la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión (variables dependientes) de las vigas de mortero armado.

3.1.3 Diseño de investigación – Esquema de la investigación

Se empleó un diseño de investigación experimental, específicamente con grupo de control y mediciones postest. Este diseño implicó la comparación entre grupos sometidos a diferentes tratamientos (dosificaciones de fibra de polipropileno) y un grupo control (mortero convencional). Se manipularon las dosificaciones de fibra de polipropileno para medir su efecto en las propiedades mecánicas del mortero armado. El esquema general de la investigación fue el siguiente:



Donde:

M1 = Grupo Control (GC)

Viga de mortero armado convencional - 0 kg/m³ de fibra de polipropileno.

M2 = Grupo Experimental 1 (GE1)

Viga de mortero armado con 3 kg/m³ de fibra de polipropileno.

M3 = Grupo Experimental 2 (GE2)

Viga de mortero armado con 5 kg/m³ de fibra de polipropileno.

M4 = Grupo Experimental 3 (GE3)

Viga de mortero armado con 7 kg/m³ de fibra de polipropileno.

R1 = Observación

Medición de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión.

X = Tratamientos experimentales

Dosificaciones de fibra de polipropileno (0, 3, 5, 7 kg/m³)

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población, definida por Briones (2002) como el conjunto de unidades que componen el colectivo en estudio, estuvo constituida por el universo de todas las posibles vigas de mortero armado y especímenes cilíndricos que podrían ser fabricados bajo las condiciones controladas y materiales especificados en esta investigación, destinados a evaluar la mejora de propiedades mecánicas en el contexto de Ucayali.

La población total del estudio estuvo constituida por 45 unidades experimentales, divididas de la siguiente manera: 4 elementos estructurales horizontales (vigas) de mortero armado de dimensiones 20.00 x 12.50 x 160.00 cm de las cuales 1 es de mortero armado convencional (control) y 3 son con dosificaciones de fibras de polipropileno con 3, 5 y 7 kg/m^3, y 41 especímenes cilíndricos de 6”x12” de mortero.

3.2.2 Muestra

La muestra comprendió un conjunto específico de unidades experimentales fabricadas y ensayadas. Dada la naturaleza del estudio y los recursos disponibles, se trabajó con la totalidad de las unidades preparadas, configurando un muestreo no probabilístico por conveniencia.

Figura 8.

Representación de las muestras para vigas de mortero armado ensayados a flexión a los 28 días de vaciado

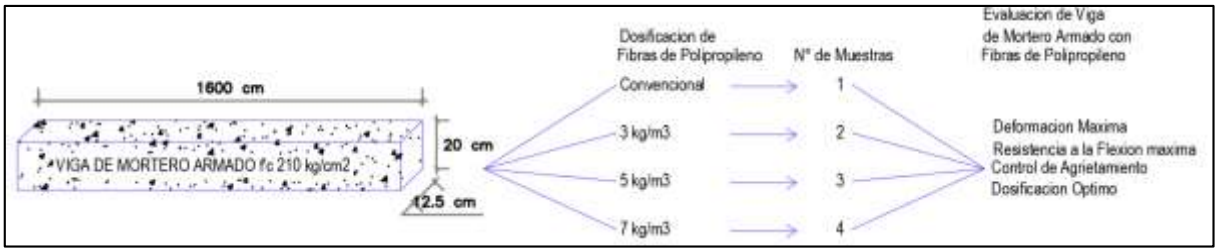
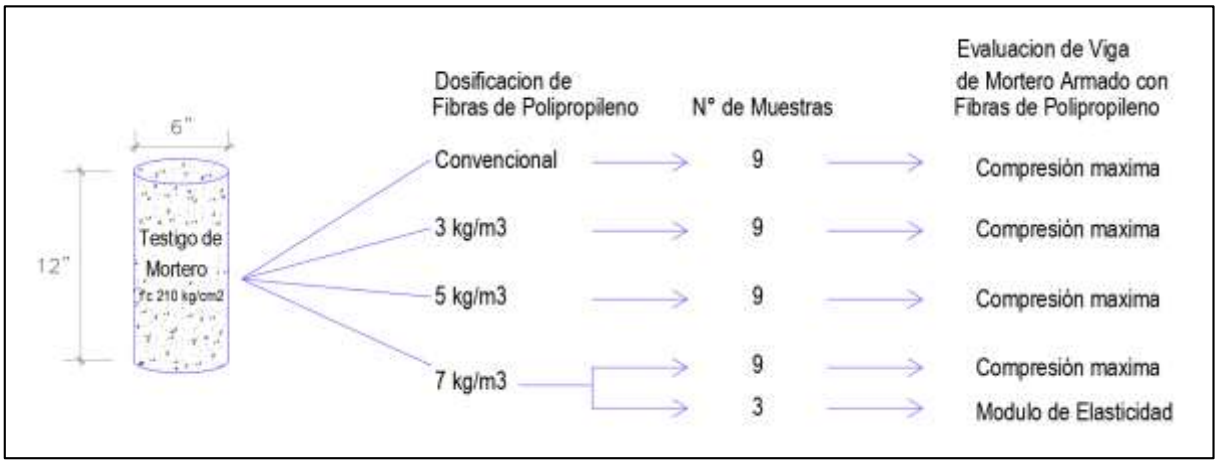


Figura 9.

Representación de las muestras para especímenes cilíndricos de 6”x12” de mortero armado ensayados a compresión a los 7, 14 y 28 días de vaciado



La composición detallada de la muestra para cada tipo de ensayo se presenta en la tabla 2, la cual resume el número de unidades experimentales asignadas a cada dosificación de FPP y a cada ensayo mecánico. Esta distribución fue diseñada para permitir la evaluación de la resistencia a la compresión en tres edades distintas (7, 14 y 28 días), el módulo de elasticidad (principalmente para la dosificación de 7 kg/m³ con réplicas, y valores referenciales para otras dosificaciones incluyendo el control) y la resistencia a la

flexión de las vigas. El diseño contempla un grupo control (0 kg/m³ de fibra) y tres grupos experimentales con diferentes contenidos de fibra (3, 5 y 7 kg/m³), permitiendo así el análisis comparativo del efecto de la adición de FPP:

Tabla 2.

Distribución de la muestra

Dosificación de FPP	Resistencia a la compresión (f'c)			Módulo de elasticidad 28 días	Resistencia a flexión
	7 días	14 días	28 días		
0 kg/m³ (Convencional)	3	3	3	-	1 viga
3 kg/m³	3	3	3	-	1 viga
5 kg/m³	3	3	3	-	1 viga
7 kg/m³	3	3	3	3	1 viga
Total	12	12	12	3	4

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1 Técnicas

Fuentes primarias:

Las fuentes primarias son los ensayos realizados por el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas en la Pontificia Universidad Católica del Perú, a cargo con el jefe de laboratorio al Ing. Daniel Tarrealva Dávila, de acuerdo con la norma de resistencia a la flexión NTP 339.033 y 339.079, para determinar la resistencia a la flexión del mortero armado en vigas simplemente apoyadas con una carga puntal repartida en dos puntos ubicados a 1/3 de cada extremo de la muestra.

Fuentes Secundarias:

Se recopilo información para la recolección de datos fueron el análisis documental para la revisión de normativas técnicas y antecedentes investigativos relevantes; y la observación experimental directa mediante ensayos de laboratorio.

3.3.2 Instrumentos

Para la ejecución de los ensayos y la recolección de datos se utilizaron los siguientes instrumentos y equipos (panel fotográfico del Anexo 4).

- **Balanza digital:** Utilizada para medir con precisión el peso de los materiales componentes de la mezcla de mortero, asegurando las dosificaciones exactas del diseño.
- **Cono de Abrams y flexómetro:** Para medir el asentamiento (slump) del mortero fresco y controlar su consistencia antes del vaciado en los moldes, así como para verificar dimensiones de moldes y recubrimientos. Se buscó un slump entre 3 y 4”.
- **Martillo con cabeza de goma:** Empleado para la compactación del mortero en los moldes, ayudando a liberar burbujas de aire.
- **Herramientas varias:** Se utilizaron baldes, cucharas para concreto, palas y espátulas para la manipulación y traslado de los materiales.
- **Probeta graduada:** Para medir la cantidad exacta de agua requerida en la mezcla según el diseño.

- **Mezcladora electrónica (Trompo):** Para asegurar una mezcla homogénea de los componentes del mortero y la adecuada dispersión de las fibras de polipropileno.
- **Acero de refuerzo corrugado (fy=4200 kg/cm²):** Se habilitaron barras de acero de 8 mm para el refuerzo longitudinal y de 6 mm para los estribos de las vigas.
- **Moldes para vigas y especímenes cilíndricos:** Encofrados de madera para las vigas (0.125 m x 0.20 m x 1.60 m) y moldes cilíndricos estándar (6”x12”) para las probetas.
- **Materiales cementantes y aditivos:** Cemento Portland Tipo I (marca Andino) y Fibras de Polipropileno (macrofibras marca BarChip 48).
- **Máquina de ensayo universal (Prensa Hidráulica):** Utilizada para los ensayos de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos (según NTP 339.034) y para los ensayos de flexión de las vigas (según NTP 339.078) en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).
- **Equipo para ensayo de módulo de elasticidad:** Para determinar el módulo elástico según ASTM C-469 en el laboratorio de la PUCP.
- **Fisurómetro:** Instrumento para medir el ancho de las fisuras en las vigas después de los ensayos a flexión.
- **Hojas de cálculo (Microsoft Excel):** Para el registro, procesamiento y análisis de los datos experimentales, incluyendo el cálculo de la curva momento-curvatura.

- **Sistema de posicionamiento global (GPS):** Para referenciar la ubicación de la cantera del Río Ucayali, de donde se extrajo el agregado fino.

3.5 Procesamiento de recolección de datos

El desarrollo experimental siguió una serie de pasos estructurados y rigurosos:

a) **Preparación de moldes y acero:** Se fabricaron los encofrados para las vigas, asegurando las dimensiones y recubrimientos especificados (2.00 cm). Se aplicó petróleo en el interior para facilitar el desmolde. Paralelamente, se habilitó el acero de refuerzo, cortando y doblando las barras longitudinales (16Ø8mm) y los estribos (Ø6mm: 10@5cm, resto @10cm según esquema).

b) **Dosificación y pesaje de materiales:** Se pesaron los materiales (cemento Tipo I Andino, agregado fino del Río Ucayali y agua potable) de acuerdo con el diseño de mezcla base (obtenido de Pérez, 2023) para una resistencia de f'c = 210 kg/cm². Se calcularon y pesaron las fibras de polipropileno BarChip 48 para las dosificaciones de 3, 5 y 7 kg/m³ según el volumen de mortero a preparar para las vigas y probetas correspondientes.

c) **Mezclado del mortero:** Se introdujeron los componentes en la mezcladora. Las fibras de polipropileno se añadieron gradualmente durante el mezclado para asegurar una distribución homogénea, siguiendo las recomendaciones del fabricante y con un tiempo de

mezclado total de aproximadamente 2 minutos después de añadir todos los componentes para garantizar la uniformidad.

d) **Control de asentamiento (Slump):** Antes del vaciado, se verificó la consistencia del mortero mediante el ensayo del cono de Abrams, buscando un asentamiento de 4 pulg. para todas las mezclas (convencional y con las tres dosificaciones).

e) **Vaciado y compactación:** Se procedió al vaciado del mortero en los moldes de las 4 vigas y las 41 probetas cilíndricas. La compactación se realizó utilizando el martillo de goma y varilla compactadora según normativa.

f) **Desencofrado y curado:** Las muestras de vigas se desencofraron a los 2 días después del vaciado. Tanto las vigas como las probetas cilíndricas se sometieron a un proceso de curado sumergidas en agua hasta un día antes de la fecha de ensayo respectiva (7, 14 y 28 días para compresión; 28 días para módulo de elasticidad y flexión), manteniendo una temperatura controlada según normativa.

g) **Peso y medidas de las probetas cilíndricas:** a las probetas cilíndricas se realizó las mediciones y peso de cada uno de acuerdo con las dosificaciones de fibras de polipropileno

Tabla 3.

Peso unitario del concreto con fibras de polipropileno

Muestra	Diámetro (cm)	Área (cm^2)	Altura (cm)	Volumen (m^3)	Masa (kg)	Peso (kg/m^3)	Promedio (kg/m^3)
Convencional							
C-1	15	176.71	30	0.0053	10.834	2,043.60	**2,061.20**

C-2	15	176.71	30	0.0053	10.976	2,070.38	
C-3	15	176.71	30	0.0053	10.972	2,069.63	
Fibras de polipropileno 3 kg/m^3							
C-1	15	176.71	30	0.0053	10.756	2,028.89	
C-2	15	176.71	30	0.0053	10.864	2,049.26	**2,040.71**
C-3	15	176.71	30	0.0053	10.836	2,043.98	
Fibras de polipropileno 5 kg/m^3							
C-1	15	176.71	30	0.0053	10.724	2,022.85	
C-2	15	176.71	30	0.0053	10.654	2,009.65	**2,025.24**
C-3	15	176.71	30	0.0053	10.832	2,043.22	
Fibras de polipropileno 7 kg/m^3							
C-1	15	176.71	30	0.0053	10.71	2,020.21	
C-2	15	176.71	30	0.0053	10.74	2,025.87	**2,020.84**
C-3	15	176.71	30	0.0053	10.69	2,016.44	

h) Precio del mortero en el mercado más el precio de la fibra: se detallará el precio del mortero y el aumento con el precio de la fibra de polipropileno, por metro cubico de mortero

Se verifica el precio de la fibra de polipropileno en dos marcas muy conocidas, como la de BarChip– 48 y la marca SikaFiber Forcé PP-48

Tabla 4.

Precio de las fibras de polipropileno según el mercado actual

Marca Comercial	Precio por Kg
BarChip48	22.1
SikaFiber Force PP-48	40.4

Según a la cantidad del diseño de mezcla se realizó el análisis de precios unitarios para saber el costo del Mortero por un metro cubico, teniendo el costo de S/ 512.48 por metro cubico de mortero.

Tabla 5.

Análisis de costos unitarios por metro cubico de mortero

Partida: 1	**Concreto f'c=210 kg/cm2 en vigas**				**Rendimiento:12 m³/Día**	
					Costo Unit. por m³	**512.48**

Ind.	Descripción	Unidad	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
MANO DE OBRA						**18.18**
47	Operario	hh	1	1.3333	29.9	3.99
47	Peón	hh	1	6.6667	21.29	14.19
MATERIALES						**482.90**
	Arena gruesa	m³	-	1.3	60	78.00
	Agua puesta en obra	m³	-	0.186	7	1.30
	Cemento portland tipo I (42.50 kg)	bls	-	12.012	33.5	402.40
	Gasolina 90 octanos	gln	-	0.08	15	1.20
EQUIPO						**11.40**
	Herramientas manuales	%mo	-	3	213.16	6.39
	Mezcladora de concreto de 9 -11 p3	hm	1	0.6667	7.5	5.00

Según las cotizaciones realizadas tenemos los siguientes precios y el aumento del costo de la fibra de polipropileno, con la marca BarChip48 la que es más económica y cumple con las mismas características físicas y beneficios para el concreto

Tabla 6.

Comparativo de precios por metro cubico de mortero y precio del mortero agregando FPP

Cantidad de FPP por m³ de concreto (a)	Precio del concreto por m³ (b)	Precio por Kg de FPP (c)	Precio de la FPP según Dosificación d=(axc)	Total, e=(b+d)	Incremento por m³ de Mortero f=(b-e)
3 kg/m³	512.48	22.10	66.30	578.78	**66.30**
5 kg/m³	512.48	22.10	110.5	622.98	**110.50**
7 kg/m³	512.48	22.10	154.7	667.18	**154.70**

De acuerdo con la tabla 6, se verifica el incremento de precio del mortero añadiendo el precio de la fibra de polipropileno, por la cual se detalla lo siguiente para dosificación

Tabla 7.

Cuadro de Incremento del precio según dosificación de FPP

Dosificación de FPP	Precio del Concreto por m^3 (b)	Incremento por m^3 de Mortero f=(b-e)	Precio Total con FPP	Incremento en %
3 kg/m^3	512.48	66.30	**578.78**	11.46
5 kg/m^3	512.48	110.5	**622.98**	17.74
7 kg/m^3	512.48	154.7	**667.18**	23.19

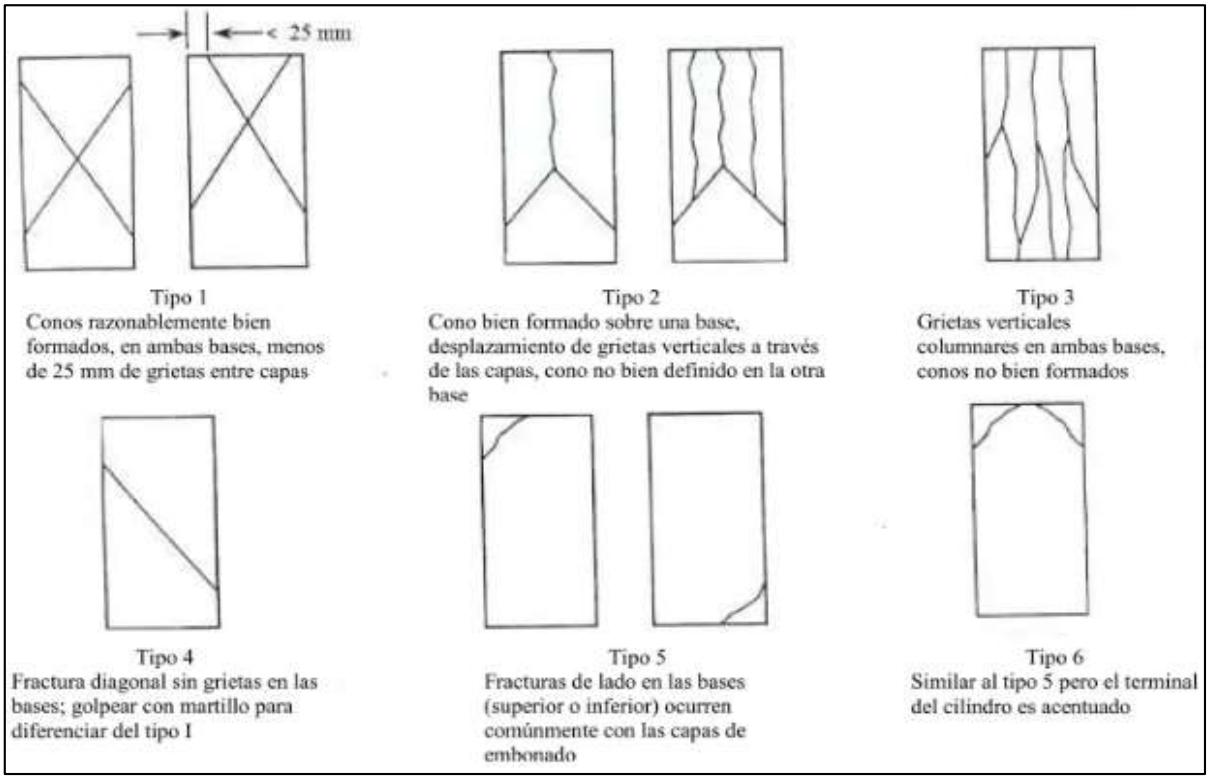
i) Ensayos de laboratorio:

- **Resistencia a la compresión:** Se ensayaron 3 probetas por cada dosificación y edad (7, 14 y 28 días) según la NTP 339.034. Se registraron las cargas máximas y se calcularon las resistencias.

  Se muestran el esquema de los patrones de tipo de fracturas de las probetas cilíndricas, según la NTP 339.034

Figura 10.

Patrones de tipo de fractura de las probetas cilíndricas



Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 339.034 (2008)

- **Módulo de elasticidad:** Se ensayaron 3 especímenes de mortero con dosificación de 7 kg/m³ de fibra de polipropileno a los 28 días, siguiendo la norma ASTM C-469 en el laboratorio de la PUCP.
- **Patrón de fisuración y deflexión:** Posterior al ensayo de flexión, se midieron las fisuras en las vigas utilizando un fisurómetro, registrando su ancho y patrón de distribución. Se registraron continuamente los datos de carga y deflexión en el centro del claro durante el ensayo de flexión para todas las vigas.

j) Control de agrietamiento: Posterior al ensayo de flexión, se midieron las fisuras en las vigas utilizando un fisurómetro, registrando su ancho y patrón de distribución.

3.6 Tratamiento de datos

El tratamiento de los datos recolectados implicó varios niveles de organización y análisis para interpretar los resultados de manera efectiva. Inicialmente, todos los valores medidos y calculados de cada ensayo se organizaron en tablas, incluyendo las deformaciones y la resistencia máximas a la flexión observada para cada viga. A partir de estos datos, se generaron figuras para visualizar el comportamiento de las vigas y probetas, y para facilitar la comparación entre las distintas dosificaciones.

Un parámetro fundamental para evaluar el comportamiento y la capacidad de disipación de energía de las vigas fue la tenacidad. Esta se calculó como el área bajo la curva carga-deflexión obtenida de los ensayos de flexión. Para determinar esta área a partir de los datos discretos del laboratorio, se aplicó el método de integración numérica conocido como la regla del trapecio. Este procedimiento consiste en sumar las áreas de los pequeños trapezoides formados entre cada par de puntos consecutivos de carga y deflexión, permitiendo cuantificar la energía total absorbida por el elemento hasta la falla.

Posteriormente, se realizó una evaluación cruzada de los resultados entre las vigas de mortero convencional y las reforzadas con las distintas dosificaciones de fibra de polipropileno (3, 5 y 7 kg/m³). Los factores clave considerados en este tratamiento fueron las variaciones en la resistencia máxima, las diferencias en las deformaciones y la tenacidad calculada, buscando patrones en los datos que permitieran determinar la dosificación óptima en términos de ductilidad, resistencia y control de fisuración.

Finalmente, se compararon los resultados obtenidos con lo establecido en las normas técnicas nacionales para verificar criterios de diseño estructural. Se evaluó cualitativamente si las vigas exhibieron indicadores de una falla dúctil, tales como deformaciones significativas antes del colapso, una absorción progresiva de energía y la capacidad de mantener la integridad estructural en un rango considerable de deformación.

3.7 Análisis estadístico

3.7.1 Resistencia a la compresión del mortero reforzado con fibras de polipropileno

Para evaluar el efecto de la incorporación de fibras de polipropileno y la edad de curado sobre la resistencia a la compresión del mortero, así como la posible interacción entre estos factores, se utilizó un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores. Este análisis se realizó mediante el procedimiento de Modelo Lineal General (MLG) Univariante en el software estadístico SPSS. Las variables consideradas fueron:

- **Variables Independientes (Factores):**

1. Niveles de dosificación de fibra de polipropileno (0, 3, 5, y 7 kg/m³).
2. Edades de curado del mortero (7, 14, y 28 días).

- **Variable Dependiente:**

1. **Resistencia a la compresión del mortero**

H0: No existen diferencias estadísticamente significativas en la resistencia promedio a la compresión entre los niveles de dosificación de fibra de polipropileno.

- H0D: $\mu 0 kg/m^3 = \mu 3 kg/m^3 = \mu 5 kg/m^3 = \mu 7 kg/m^3$
- H1D: Al menos una media de resistencia a la compresión para un nivel de dosificación difiere significativamente de las demás.

H0E: No existen diferencias estadísticamente significativas en la resistencia promedio a la compresión entre las diferentes edades de curado.

- H0E: μ7 días = μ14 días = μ28 días
- H1E: Al menos una media de resistencia a la compresión para una edad de curado difiere significativamente de las demás.

1. **Efecto de Interacción Dosificación*Edad (H0DE):** No existe una interacción estadísticamente significativa entre la dosificación de fibra de polipropileno y la edad de curado sobre la resistencia a la compresión.

- H1DE: Existe una interacción estadísticamente significativa entre la dosificación y la edad.

Nivel de significancia (α) de 0.05.

Procedimientos Adicionales:

- **Verificación de Supuestos del ANOVA:** Verificación del supuesto de homogeneidad de las varianzas de error mediante la prueba de Levene.

- **Análisis Post-Hoc y de Interacción:**

  En caso de que el efecto de interacción Dosificación*Edad resultara significativo, el análisis se centraría en la interpretación de dicha interacción, utilizando gráficos de interacción y las medias marginales estimadas para cada combinación de tratamiento. Se analizarían los efectos simples.

  Si el efecto de interacción no fuera significativo, pero los efectos principales sí lo fueran, se realizan pruebas de comparaciones múltiples post-hoc para identificar qué niveles específicos de los factores difieren entre sí. El anexo SPSS incluye pruebas post-hoc Bonferroni para los efectos principales.

- **Tamaño del Efecto:** Se consideró el estadístico Eta cuadrado parcial (ηp2) para evaluar la magnitud o importancia práctica de los efectos significativos.

3.7.2 Análisis del Módulo de Elasticidad del Mortero Reforzado con 7 kg/m³ de Fibra de Polipropileno

Para determinar el módulo de elasticidad del mortero reforzado con una dosificación de 7 kg/m^3 de fibra de polipropileno, el análisis de los datos experimentales obtenidos de las tres probetas ensayadas se centró en la estadística descriptiva donde se obtuvieron las medidas de tendencia central y de dispersión, específicamente la media aritmética, desviación estándar y el coeficiente de variación.

Dado que en la hipótesis planteó un valor numérico concreto se aplicó una prueba de estadística inferencial “Prueba t para una muestra” en el software estadístico SPSS con el objetivo de determinar si la diferencia entre la media experimental y el valor hipotético era estadísticamente significativa. Los cálculos se realizaron

Planteamiento de la prueba estadística:

- Hipótesis nula (H0): μ = 22,417 MPa. No existe diferencia estadísticamente significativa entre la media experimental y el valor predicho.
- Hipótesis alternativa (H1): μ ≠ 22,417 MPa. La media experimental es estadísticamente diferente del valor predicho.
- Nivel de significancia: α = 0.05

Reglas de decisión:

Para rechazar la hipótesis nula (H0), se debe cumplir una de dos condiciones:

1. El valor p debe ser menor que el nivel de significancia (α)
2. El valor absoluto del $t_{calculado}$ debe ser mayor que el $t_{critico}$

- Decisión (vía valor p): p (0.020) < α (0.05).
- Decisión (vía valor t): |-6.877| > 4.303.

3.7.3 Análisis de la Flexión de Vigas de Mortero Armado con Fibras de Polipropileno

El análisis de los resultados de los ensayos a flexión se centró en la evaluación de la hipótesis referente a la resistencia máxima y la capacidad de deformación (ductilidad). El diseño experimental contempló una muestra de 1 viga por cada dosificación, por ello no fue metodológicamente viable aplicar un análisis estadístico inferencial para comparar las medias de resistencia; por lo tanto, para esta hipótesis se empleó el método de contrastación empírica directa. El análisis consistió:

- El análisis de los datos de carga y deflexión obtenidos del laboratorio para generar las curvas.
- El cálculo de tenacidad, mediante la integración numérica (regla del trapecio) del área bajo la curva Carga vs Deflexión.
- El cálculo de la ductilidad de curvatura.
- La tabulación y comparación directa de parámetros claves (carga máxima, deflexión máxima, ductilidad, tenacidad) entre las vigas con fibra y la viga de control evaluando diferencias porcentuales.

3.7.4 Análisis del Patrón de Fisuración y Control de Agrietamiento de Vigas de Mortero Armado con Fibra de Polipropileno Sometidas a Flexión

El análisis del agrietamiento se abordó mediante un doble enfoque, combinando la observación cualitativa del daño con la cuantificación estadística de la relación entre la dosificación de fibra y el control del ancho de fisura.

Se realizó una inspección visual detallada y un mapeo de las fisuras post-ensayo, utilizando como evidencia el registro fotográfico y los mapas de fisuración. Este análisis descriptivo-comparativo se centró en caracterizar el modo falla y la distribución de las grietas con el objetivo de comparar el patrón de la viga de control con los patrones de las vigas reforzadas, buscando evidencia de una red de microfisuras más distribuida, lo cual indica un mejor control de daño.

Para la hipótesis que planteó una relación cuantitativa entre el incremento de la dosificación y la reducción del ancho de fisura se aplicó una prueba de estadística inferencial “Correlación de Pearson” para medir la fuerza y la dirección de la relación lineal entre las dos variables.

Planteamiento de la prueba estadística:

- Variable independiente (x): Dosificación de FPP (0, 3, 5, 7 kg/m^3)
- Variable independiente (y): Ancho máximo de fisura (cm)

Reglas de decisión:

- Hipótesis nula (H0): $p = 0$ No existe correlación lineal.
- Hipótesis alternativa (H1): $p \neq 0$. Existe correlación lineal.
- Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Los resultados de esta prueba se utilizaron para determinar si la fuerte relación negativa observada empíricamente era estadísticamente significativa y no producto al azar.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Descripción de los resultados

4.1.1 Resistencia a la compresión del mortero reforzado con FPP

Figura 11.

Probetas cilíndricas en la máquina de ensayo a la compresión



La figura 10 documenta visualmente el procedimiento experimental para la determinación de la resistencia a la compresión de los especímenes de mortero. En los tres paneles se observan las probetas cilíndricas en la máquina de ensayo universal, siguiendo el protocolo establecido por la norma NTP 339.034, exhibiendo el modo de falla característico del mortero sometido a compresión, que se manifiesta a través de la formación de fisuras predominantemente verticales y el posterior aplastamiento o descascaramiento del material. El ensayo permite medir la carga máxima de rotura, dato fundamental para calcular la resistencia a la compresión de cada una de las mezclas de mortero estudiadas

Tabla 8.

Resultados individuales de resistencia a la compresión y estadísticas descriptivas por dosificación y edad de curado

Dosificación de FPP	Edad (días)	Espécimen 1 (MPa)	Espécimen 2 (MPa)	Espécimen 3 (MPa)	Media (MPa)	DE (MPa)	CV (%)
0 kg/m³	7	14.871	14.521	14.638	149.61	0.179	1.22
	14	18.819	18.666	18.619	190.64	0.105	0.56
	28	21.846	22.414	22.544	226.99	0.370	1.66
3 kg/m³	7	15.036	25.222	18.000	153.78	0.119	0.79
	14	19.266	19.409	19.216	196.71	0.100	0.52
	28	23.565	23.352	23.302	238.59	0.138	0.59
5 kg/m³	7	15.788	15.932	15.806	161.49	0.078	0.50
	14	20.240	20.126	20.069	205.35	0.087	0.43
	28	24.083	24.266	23.875	245.41	0.196	0.81
7 kg/m³	7	16.309	16.459	16.381	167.00	0.076	0.46
	14	20.806	20.692	21.089	212.66	0.204	0.98
	28	25.045	25.400	24.820	255.74	0.291	1.16

Nota. Datos provienen del Informe estadístico (Anexo 2)

Esta tabla muestra los resultados de resistencia a la compresión para cuatro dosificaciones de FPP (0, 3, 5 y 7 kg/m³) a tres edades de curado (7, 14 y 28 días). Para todas las dosificaciones, se observa un incremento de la resistencia a la compresión a medida que aumenta la edad de curado de 7 a 28 días. Esto demuestra el proceso normal de hidratación del cemento y ganancia de resistencia del mortero a lo largo del tiempo.

A los 7 días las dosificaciones de 5 y 7 kg/m³ de FPP muestran una resistencia media superior a la del mortero sin fibras (control). La dosificación de 7 kg/m³ alcanza el mayor valor con 16.383 MPa.

A los 14 días, todas las mezclas con adición de fibra superan en resistencia al mortero de control. La tendencia se mantiene, y la dosificación de 7 kg/m³ sigue presentando la resistencia más alta (20.86 MPa).

A los 28 días, se confirma la tendencia observada en las edades tempranas. La resistencia a la compresión aumenta con el incremento de la dosificación de fibra. El mortero con 7 kg/m³ de FPP alcanza la resistencia media más elevada (25.09 MPa), seguido por las dosificaciones de 5 kg/m³ (24.07 MPa), 3 kg/m³ (23.41 MPa) y, por último, el mortero convencional (22.27 MPa).

Los valores del CV son, en su mayoría bajos, lo que indica una baja dispersión en los datos para cada grupo de especímenes y sugiere una alta consistencia en la preparación de las mezclas y en la ejecución de los ensayos, confiriendo fiabilidad a los valores promedio obtenidos.

Tabla 9.

Resultados promedio de la carga soportada, resistencia a la compresión y porcentaje alcanzado comparado a resistencia de diseño para mortero convencional reforzado con FPP por edad de curado

Dosificación de FPP	Edad (días)	Carga (kN)	f'cm (MPa)	% f'c alcanzado
0 kg/m³	7	259.36	14.68	71
	14	330.49	18.70	91
	28	393.51	22.27	108
3 kg/m³	7	266.58	18.09	73
	14	341.01	19.30	94
	28	413.62	23.41	114
5 kg/m³	7	280.00	15.84	77
	14	356.00	20.14	98
	28	425.43	24.07	117
7 kg/m³	7	298.51	16.38	80
	14	368.67	20.86	101
	28	443.34	25.09	122

Nota. Datos provienen del Informe estadístico (Anexo 2)

La tabla resume los resultados promedio de los ensayos de compresión axial realizados sobre especímenes de mortero. Se evalúan cuatro dosificaciones distintas de FPP (0, 3, 5, y 7 kg/m³) en tres edades de curado (7, 14 y 28 días). Los resultados se analizan en términos de la carga máxima soportada, la resistencia a la compresión resultante (f'cm), y el porcentaje de la resistencia de diseño alcanzado, que se establece en 20.60 MPa.

Para todos los tipos de mortero, la resistencia a la compresión y la carga soportada aumentan de manera consistente con el paso del tiempo.

A los 28 días se observa *que,* a mayor dosificación de fibra, mayor es la resistencia final. La dosificación de 7 kg/m³ alcanza la resistencia más alta con 25.09 MPa, un aumento de casi el 13 % sobre el mortero convencional (22.27 MPa).

Todas las mezclas con fibra superan la resistencia del mortero convencional en cada una de las edades de curado. A los 14 días, solo la dosificación más alta (7 kg/m³) logra superar la resistencia de diseño, alcanzando un 101 %. A los 28 días, todas las muestras, incluyendo la convencional, superan con éxito la resistencia de diseño del 100 %. La muestra con 7 kg/m³ de fibra es la que evidencia un mayor grado de cumplimiento, llegando al 122 % de la resistencia esperada.

La tabla evidencia que, si bien todas las mezclas son viables al superar la resistencia de diseño a los 28 días, la adición de fibras de polipropileno mejora significativamente la resistencia a la compresión del mortero. *l*a mezcla con 7 kg/m³ de fibra como la de mayor rendimiento en términos de resistencia final.

Tabla 10.

ANOVA pruebas de los efectos en la resistencia a la compresión

Origen	Tipo III de SC	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	66,052.397	11	6,004.763	1,301.735	.000	.998
Intersección	1,504,878.760	1	1,504,878.760	326,233.276	.000	1.000
Dosificación	8,586.296	3	2,862.099	620.456	.000	.987
Edad de curado	56,200.879	2	28,100.439	6,091.719	.000	.998
Dosificación * Edad	1,265.223	6	210.871	45.713	.000	.920
Error	110.709	24	4.613			
Total	1,571,041.867	36				
Total corregido	66,163.107	35				

Nota. Datos provienen del Informe estadístico (Anexo 2)

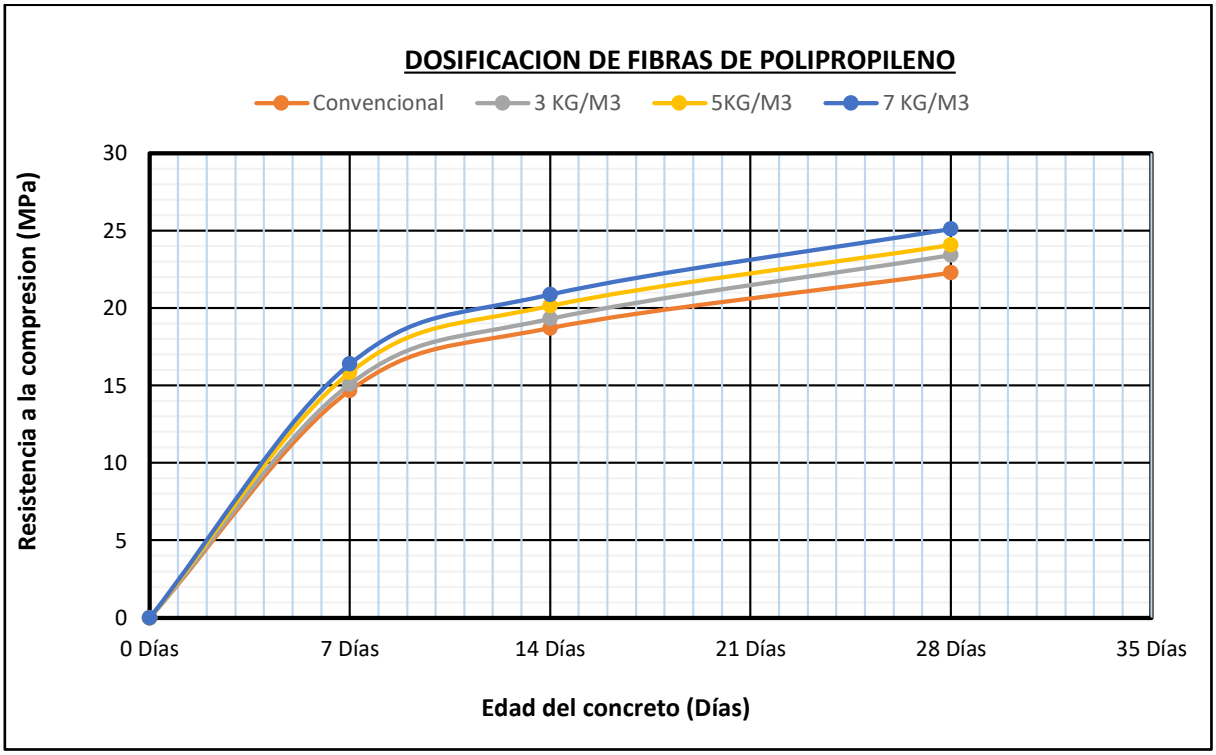
Los resultados del ANOVA indican que el efecto de la dosificación de FPP sobre la resistencia a la compresión fue estadísticamente significativo. Esto significa que existen diferencias reales y medibles en la resistencia promedio del mortero entre al menos dos de los niveles de dosificación probados (0, 3, 5 y 7 kg/m³) es decir, la cantidad de fibra añadida tiene un impacto directo en la resistencia. El efecto es muy grande, lo que indica que la dosificación de fibra explica el 98.7 % (Eta) de la varianza en la resistencia.

El efecto de la edad de curado también tiene un efecto estadísticamente significativo. La RC del mortero no es la misma a los 7, 14 y 28 días de curado confirmando ser un factor determinante. El tamaño del efecto es extremadamente grande (99.8 %), lo que subraya la importancia crítica del tiempo de curado en el desarrollo de la resistencia del material.

Se encontró un efecto de interacción estadísticamente significativo entre dosificación y edad de curado. El efecto de la dosificación de fibra sobre la RC depende de la edad de curado; en otras palabras, la forma en que la resistencia cambia con el tiempo depende de la dosificación de fibra utilizada. La interdependencia entre estos factores es muy fuerte (92 %) y crucial para entender el comportamiento de la resistencia.

Figura 12.

Interacción entre la dosificación de FPP y la edad de curado sobre la resistencia a la compresión



Nota. Datos provienen del Informe estadístico (Anexo 2)

La figura 11 ilustra la interacción estadísticamente significativa entre la dosificación de fibra y la edad de curado sobre la RC. Las líneas muestran una clara tendencia ascendente de izquierda a derecha indicando que independientemente de la dosificación de fibra utilizada, la resistencia a la

compresión del mortero aumenta significativamente a medida que avanza el tiempo de curado.

A los 7 días (fase inicial de curado), el mortero de control (14.68 MPa) y el reforzado con 3 kg/m³ (14.63 MPa) muestran resistencias idénticas; sin embargo, la dosificación de 7 kg/m³ muestra una resistencia notablemente superior (18.16 MPa), destacándose como la de mayor rendimiento en esta etapa temprana.

A los 14 días, todas las dosificaciones con fibra superan al mortero de control. La jerarquía de rendimiento es más definida y dependiente de la dosificación: 7 kg/m³ mantiene la mayor resistencia (22.46 MPa), seguida por 5 kg/m³ (20.14 MPa) y 3 kg/m³ (17.98 MPa). El incremento de resistencia entre los 7 y 14 días es visiblemente más pronunciado para las dosificaciones de 5 y 7 kg/m³.

A los 28 días (en la edad de diseño), todas las mezclas reforzadas son significativamente superiores al control. La dosificación de 7 kg/m³ presenta la mayor resistencia final (26.72 MPa). Las dosificaciones de 3 kg/m³ (25.21 MPa) y 5 kg/m³ (25.32 MPa) convergen a resistencias finales muy similares entre sí a pesar de que a los 14 días la de 5 kg/m³ era superior.

El efecto de la fibra sobre la resistencia no es constante, sino que depende de la edad del mortero. La figura demuestra que la dosificación de 7 kg/m³ de FPP es la más efectiva para aumentar la resistencia a la compresión en todas las edades

Tabla 11.

Comparaciones por pareja (Post-Hoc Bonferroni) para la dosificación

(I) Dosificación	(J) Dosificación	I-J	Desv. Error	Sig.	IC al 95%	
					LI	LS
0 kg/cm^3	3 kg/cm^3	-9.233*	1.012	.000	-12.144	-6.322
	5 kg/cm^3	-18.049*	1.012	.000	-20.960	-15.138
	7 kg/cm^3	-41.572*	1.012	.000	-44.483	-38.661
3 kg/cm^3	0 kg/cm^3	9.233*	1.012	.000	6.322	12.144
	5 kg/cm^3	-8.816*	1.012	.000	-11.726	-5.905
	7 kg/cm^3	-32.339*	1.012	.000	-35.250	-29.428
5 kg/cm^3	0 kg/cm^3	18.049*	1.012	.000	15.138	20.960
	3 kg/cm^3	8.816*	1.012	.000	5.905	11.726
	7 kg/cm^3	-23.523*	1.012	.000	-26.434	-20.612
7 kg/cm^3	0 kg/cm^3	41.572*	1.012	.000	38.661	44.483
	3 kg/cm^3	32.339*	1.012	.000	29.428	35.250
	5 kg/cm^3	23.523*	1.012	.000	20.612	26.434

Nota. Datos provienen del Informe estadístico (Anexo 2)

El análisis Post-Hoc Bonferroni compara cada grupo con todos los demás. Como Sig. es 0.000 para todas las comparaciones, significa que la diferencia de resistencia (RC) entre cualquier par de dosificaciones es estadísticamente real y no producto del azar.

Los datos revelan que las fibras funcionan y que existe una clara y fuerte relación de dosis-respuesta: a más fibra, más resistencia. Así mismo, el incremento de resistencia al pasar de 5 a 7 kg/cm^3 (+23.5 unidades) es mucho mayor que el incremento al pasar de a 5kg/cm^3 (+8.8 unidades). Esto sugiere que, dentro del rango estudiado, el efecto de las fibras no solo es positivo, sino que se vuelve más efectivo a dosificaciones más altas.

Tabla 12.

Comparaciones por pareja (Post-Hoc Bonferroni) para la edad

(I) Edad	(J) Edad	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	IC al 95%	
					LI	LI
7 días	14 días	-39.770*	0.877	0.000	-42.027	-37.513
	28 días	-96.297*	0.877	0.000	-98.554	-94.041
14 días	7 días	39.770*	0.877	0.000	37.513	42.027
	28 días	-56.527*	0.877	0.000	-58.784	-54.271
28 días	7 días	96.297*	0.877	0.000	94.041	98.554
	14 días	56.527*	0.877	0.000	54.271	58.784

Nota. Datos provienen del Informe estadístico (Anexo 2)

Todos los valores de las comparaciones por pares de edad tienen un valor inferior al nivel de significancia ($p < 0.001$). Esto demuestra que la resistencia a la compresión promedio en cada una de las tres edades es estadísticamente diferente de las demás. Es decir, el aumento de resistencia que se produce entre los 7 y 14 días es significativo, al igual que el aumento que ocurre entre los 14 y 28 días.

4.1.2 Módulo de elasticidad del mortero reforzado con 7 kg/m³ de FPP

De acuerdo con las investigaciones realizadas por Peña (2023), se realizó un análisis con la norma E.060 y un comparativo con los resultados obtenidos en el laboratorio.

Alcance de la Norma E.060 Concreto Armado

Para concretos de peso unitario w_c comprendido entre 1450 y 2500 kg/m³, el módulo de Elasticidad (Ec) para el concreto puede tomarse como $Ec = 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f'c}$ (en MPa). Para esta investigación

los datos de diseño son: w_c=2021 kg/m^3 y *f'c*=20.6 MPa. Al reemplazar los datos en la ecuación del módulo de elasticidad, se obtiene:

$$Ec = 0.043(2021)^{1.5}\sqrt{20.6} = \mathbf{17,678\ MPa}$$

Tabla 13.

Resultados del ensayo a compresión para el módulo de elasticidad del mortero reforzado con 7 kg/m³ de FPP a los 28 días de curado

Muestra	Carga de rotura (kN)	Carga promedio de rotura (kN)	40 % Carga promedio de rotura (kN)	Muestra para ensayo
C1	414.12	413.12	165.25	E1
C2	408.86			E1
C3	416.39			E2

Esta tabla detalla los resultados de los ensayos preliminares de compresión y los cálculos realizados para establecer los parámetros del ensayo de módulo de elasticidad, específicamente para las probetas de mortero reforzado con 7 kg/m³ de fibras de polipropileno a los 28 días de curado.

Se realizaron ensayos de compresión hasta la rotura en tres muestras iniciales (C1, C2 y C3) para determinar la resistencia característica del lote. A partir de los valores de las cargas de rotura individuales se calculó una "Carga promedio de rotura" de 413.12 kN el cual es el valor de referencia de la resistencia última del material.

El valor calculado en 165.25 kN es fundamental porque, según la normativa, el ensayo para determinar el módulo de elasticidad se realiza aplicando una carga cíclica que no supera el 40 % de la resistencia máxima del material para asegurar que la medición se realice dentro del rango de comportamiento elástico del mortero de las muestras E1 y E2 que fueron designadas para el ensayo definitivo de Módulo de Elasticidad.

Tabla 14.

Resultados de resistencia a compresión y módulo de elasticidad del mortero reforzado con 7 kg/m³ de FPP

Probeta	R'c (MPa)	E_c (MPa)	Tipo de falla	P.U. (kg/m³)
1	23.82	18,798	1	1,941
2	25.30	17,892	1	1,922
3	23.99	16,449	1	1,906
Promedio	**24.37**	**17,713**		**1,923**
D.E.	**0.80**	**1,184.8**		**17.5**
C.V. (%)	**3.33**	**6.69**		**0.91**

Fuente: Tabla 1 del Informe INF-LE N° 330-24-A

La tabla 14 detalla las propiedades mecánicas clave del mortero con la dosificación más alta de fibra (7 kg/m³ de FPP). El módulo de elasticidad promedio obtenido para el mortero reforzado con 7 kg/m³ de FPP es de 17,713 MPa.

Este módulo de rigidez corresponde a un mortero que, en los mismos ensayos, demostró una resistencia a la compresión (RC) promedio de 24.37 MPa, estos valores se vinculan ya que la rigidez ($\boldsymbol{E_C}$) es una función de la resistencia (RC).

Todas las probetas registraron un tipo de falla 2. Según la NTP 339.034, este tipo de falla es ideal, ya que representa una fractura limpia con conos razonablemente bien formados. Esto valida los resultados y confirma que los ensayos se realizaron correctamente sin fallas prematuras o anómalos.

La resistencia (RC) tiene un C.V. muy bajo de 3.33 %, lo que indica una excelente uniformidad en la mezcla. El Módulo de Elasticidad ($\boldsymbol{E_c}$) tiene un C.V.

de 6.69 %. Este valor es aceptable (menor al 10 % estándar) e indica una buena fiabilidad del promedio. Es normal que la medición de la rigidez (E_c) tenga más variabilidad que la de la resistencia última (RC).

El Peso Unitario promedio fue de 1923 kg/cm^3. Este dato es importante porque caracteriza el material como un mortero ligero, significativamente menos denso que un concreto convencional, lo cual es esperable al no tener agregado grueso.

4.1.2.1. Comparación y análisis del módulo de elasticidad

En esta sección se analiza el módulo de elasticidad obtenido experimentalmente y un valor teórico estimado. Dado que el peso unitario promedio obtenido en los ensayos fue de 1,923 kg/m^3 (ver Tabla 14), el material clasifica como un concreto de peso unitario menor al normal; por lo tanto, según la NTP E.060 y el ACI 318, corresponde utilizar la ecuación que considera la densidad del material:

$$E_c = (w_c)^{1.5} \times 0.043 \times \sqrt{f'c}$$

Donde:

- E_c = Módulo de elasticidad teórico (MPa)
- w_c = Peso unitario del concreto (1,923 kg/m^3)
- f′c′ = Resistencia a la compresión del mortero (24.37 MPa)

Para el cálculo se utilizó la resistencia a la compresión promedio de **24.37 MPa** obtenida de las probetas con 7 kg/m³ de FPP. Al sustituir este valor en la ecuación, se obtiene:

$$E_c = (1923)^{1.5} \times 0.043 \times \sqrt{24.37} = 17{,}900 \text{ MPa}$$

En la tabla 15, se contrasta este valor teórico con el módulo de elasticidad promedio medido experimentalmente (17,713 MPa) y con modelos de investigaciones previas como la de Peña Tolentino con resultados en similares.

Tabla 15.

Resultados del módulo de elasticidad de mortero con 7 kg/m³ de FPP

Muestra	f'c alcanzado (MPa)	Ec (MPa) ensayo experimental - PUCP	Ec (MPa) ecuación propuesta - N.T.P E060	Ec (MPa) ensayo experimental - Peña	% similitud con la E60	% similitud con Peña
7 Kg/m³ de FPP	24.37	17,713	17,900	17,972	98.95	98.55

Al analizar los datos, se observa que el Módulo de Elasticidad experimental (17,173 MPa) representa un 98.95 % del valor teórico calculado con la fórmula de la NTP E.060 ajustada por la densidad (17,900 MPa). Esto indica una alta correlación entre el comportamiento del mortero reforzado y las predicciones normativas cuando se considera correctamente la densidad del material.

Tabla 16.

Verificación de la hipótesis del Módulo de Elasticidad

t_{calc}	gl	Valor	p
-6.877	2	4.303	0.020

La prueba inferencial "t de Student para una muestra" arrojo un p-valor de 0.020 el cual es < 0.05; bajo esta regla de decisión, se rechaza la hipótesis nula, confirmando con alta confianza estadística de que el módulo de elasticidad

medido en laboratorio (17,713 MPa) es verdaderamente diferente al valor teórico planteado en la hipótesis (22,417 MPa).

4.1.3 Flexión de vigas de mortero armado con fibras de polipropileno

Las relaciones momento curvatura se usaron para describir el comportamiento a flexión de las vigas de mortero armado convencional, y las vigas de mortero armado con dosificaciones de FPP en proporciones de 3 kg/cm^3, 5 kg/cm^3 y 7 kg/cm^3 de acuerdo con los resultados de los ensayos que se realizaron en el laboratorio de estructuras antisísmicas (LEDI), especificados en la norma técnica peruana NTP 339.078 “Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios del tramo”.

Figura 13.

Viga de mortero armado instalada, instrumentada y enlazada al sistema de recolección de datos



Figura 14.

Gata hidráulica aplicando la carga puntual hasta la falla de la viga

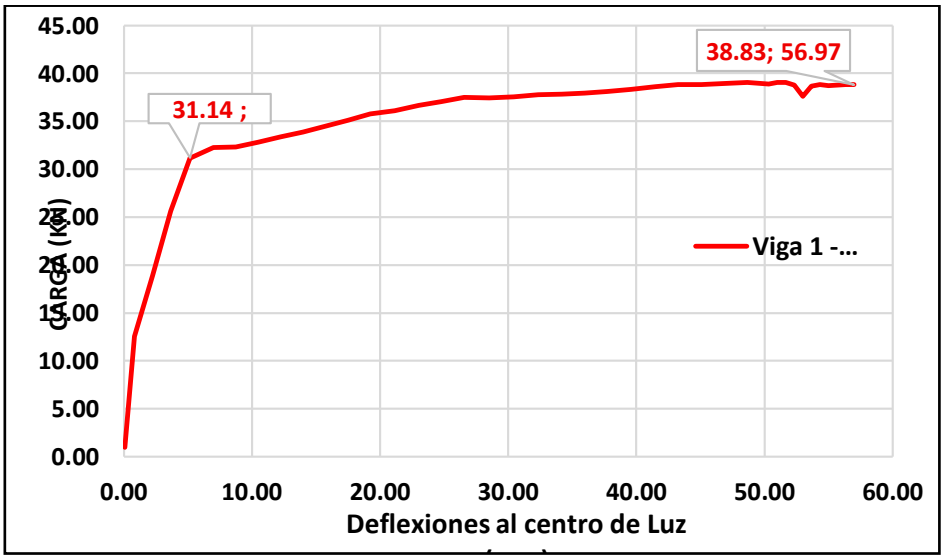


Resistencia a la fuerza (compresión en viga) y deflexión máxima en ensayo de flexión

4.1.3.1 Análisis curva carga - deflexión

Figura 15.

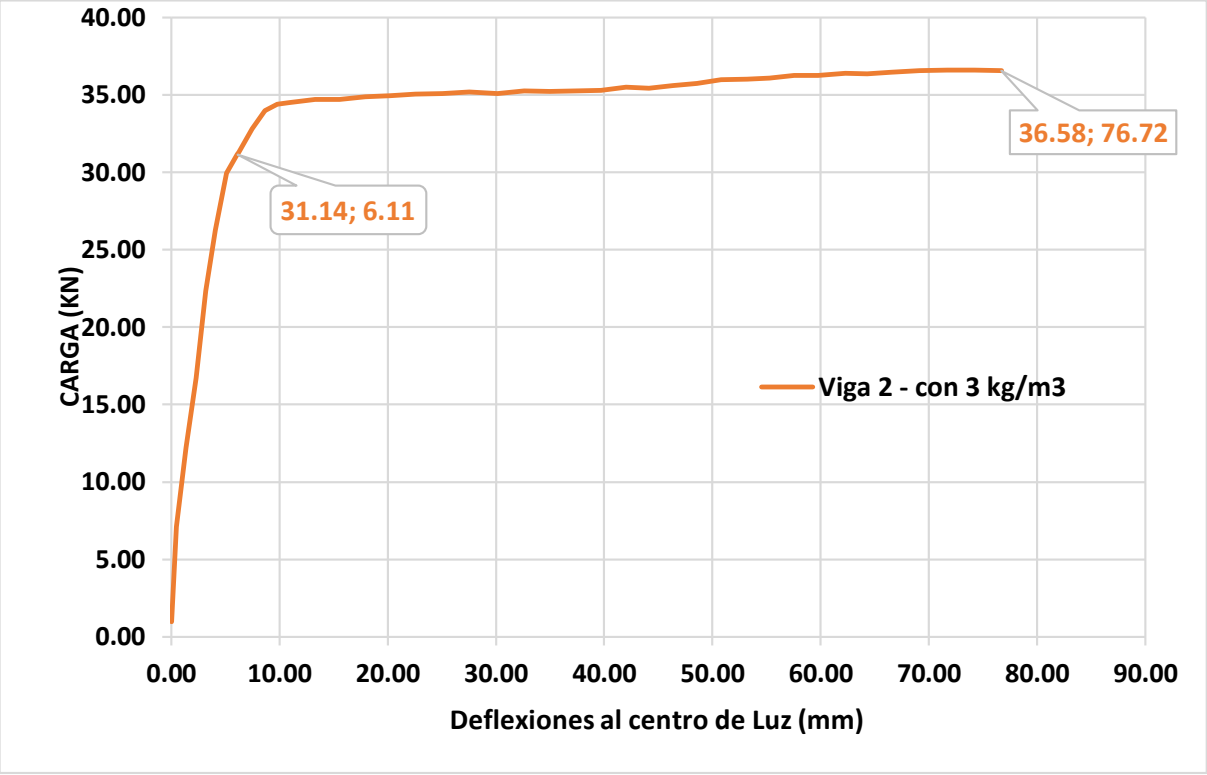
Curva carga vs deflexión de la viga VM- 1 Control



En la figura 15 se exhibe la curva vs deflexión de la viga de control (VM-1) la cual describe el comportamiento del mortero convencional. La viga inicia con una pendiente rígida y lineal (fase elástica) hasta la carga de fisuración aproximada de 12.57 kN. El elemento continúa absorbiendo carga hasta alcanzar el límite de fluencia del acero a 31.14 kN. Al evaluar la servicialidad bajo esta carga crítica, la viga registra una deflexión de 5.16 mm. Dado que este valor es inferior al límite máximo admisible normativo de 6.40 mm (L/250), se confirma que la viga de control CUMPLE con los requisitos de deformación en estado de servicio. Tras la fluencia, el elemento ingresa a la fase plástica, donde la carga máxima de 38.85 kN se alcanza con una deflexión de 56.97 mm, exhibiendo un comportamiento dúctil limitado.

Figura 16.

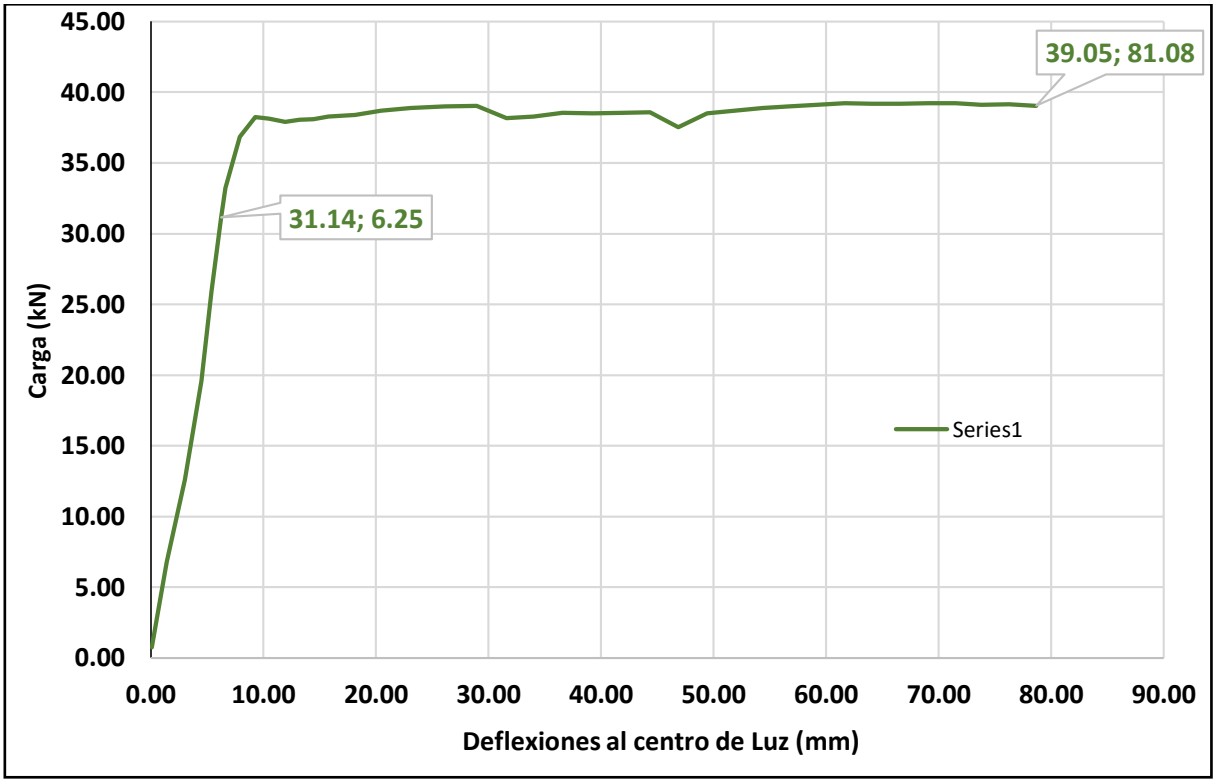
Curva Carga vs Deflexión de la Viga VM- 2 con 3kg/m^3 de FPP



En la figura 16, la curva vs deflexión de la viga de VM-2 con 3kg/m^3 de FPP, se posiciona como óptimo técnico en estado de servicio y último. El elemento exhibe el un agrietamiento inicial a 16.75 kN y la fluencia del acero inicia a 34.00 kN, al realizar la verificación de serviciabilidad bajo la carga de referencia (31.14 kN), la viga registra una deflexión de 6.11 mm manteniéndose dentro del límite normativo de 6.40 mm. La viga alcanza una carga máxima de 36.58 kN y una deflexión total registrada de 76.72 mm. Esto confirma su cumplimiento de serviciabilidad e incrementando la ductilidad con respecto al control, a pesar de la ligera reducción en la resistencia máxima.

Figura 17.

Curva Carga vs Deflexión de la Viga VM- 3 con 5 kg/m^3 de FPP

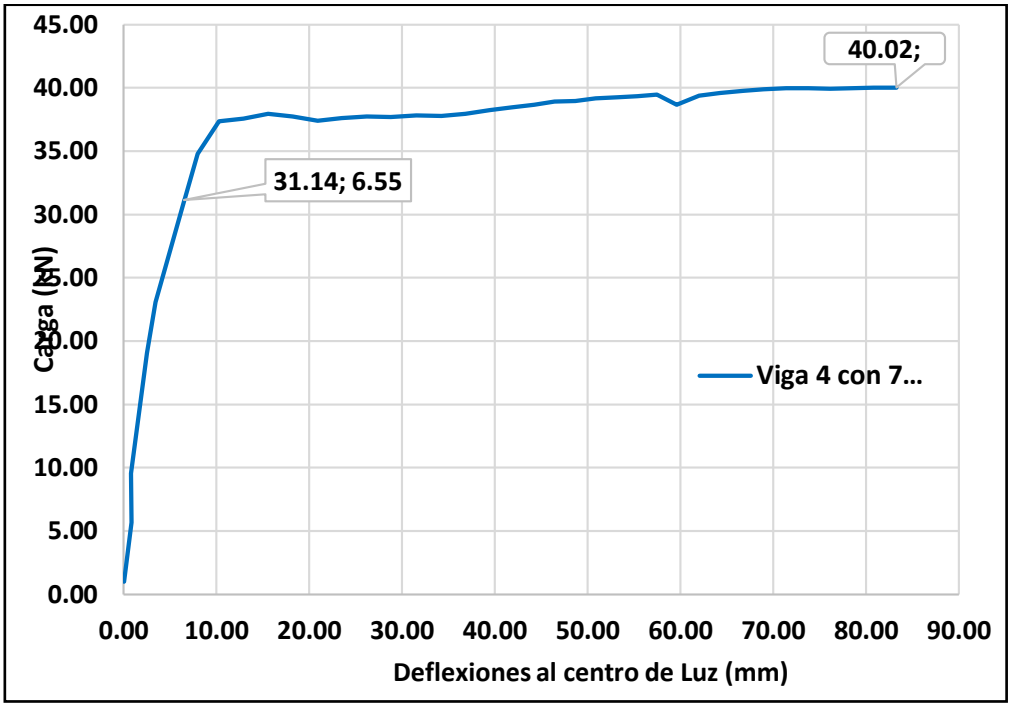


En la figura 17, la curva vs deflexión de la viga de VM-3 con 5kg/m^3 de FPP, se posiciona como el óptimo técnico en estado de servicio y último. El elemento

exhibe el mayor momento de agrietamiento 19.57 kN, reflejando el control de tensión de las fibras. La fluencia del acero se inicia a 38.26 kN, la viga registra una deflexión de 6.25 mm. Este valor se encuentra marginalmente dentro del límite normativo de 6.40 mm. La viga alcanza una carga máxima de 38.98 kN y exhibe la mayor deflexión total registrada en el estudio (83.48 mm). Esto confirma su doble cumplimiento en resistencia y servicio haciendo de esta dosis la más eficiente.

Figura 18.

Curva Carga vs Deflexión de la Viga VM- 4 con 7 kg/m³ de FPP

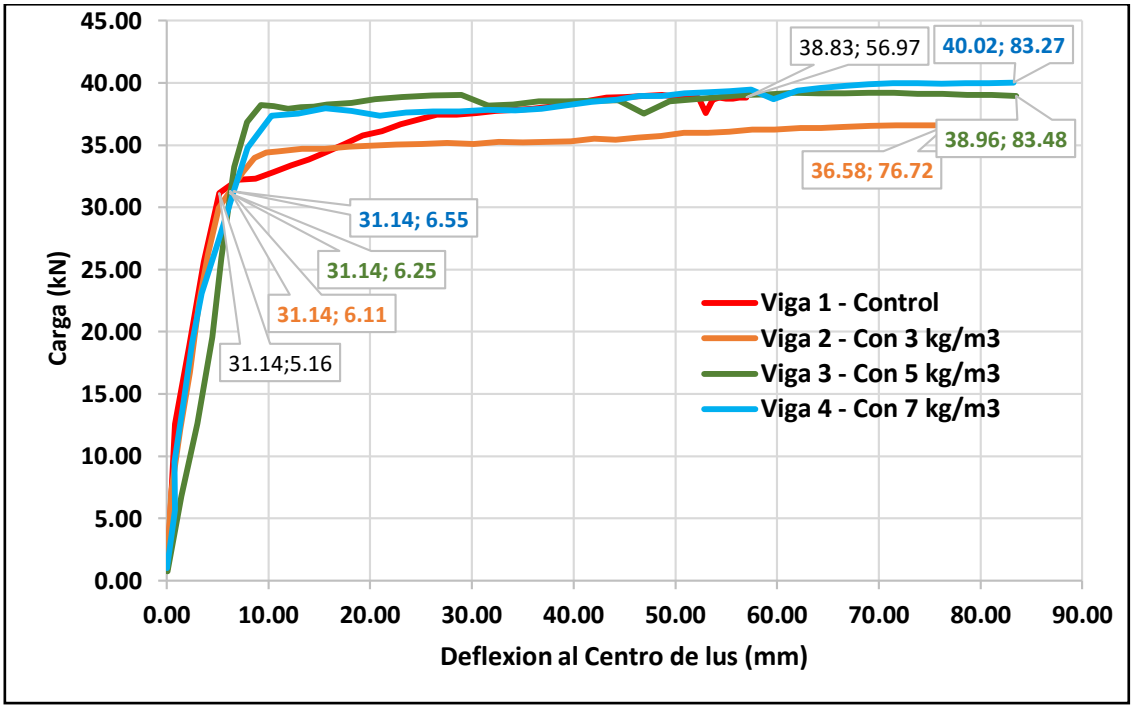


En la figura 18, la curva vs deflexión de la viga VM-4 con 7 kg/m³ representa el máximo desempeño último, pero presenta fallas en serviciabilidad. Si bien la viga registra la mayor resistencia máxima del estudio (40.03 kN) y una ductilidad excepcional, la verificación de serviciabilidad es crítica. Al aplicar la carga de referencia de 31.14 kN, la viga experimenta una deflexión de 6.55 mm. Este valor supera el límite máximo admisible de 6.40 mm (L/250); por lo tanto, a pesar de

ser la más fuerte y tenaz, la Viga VM-4 NO CUMPLE con los requisitos de deformación en estado de servicio, lo que anula su viabilidad como diseño óptimo.

Figura 19.

Comparación Curva Carga vs Deflexión de 4 Vigas de mortero



La figura 19 presenta una superposición de las curvas Carga vs. Deflexión de las cuatro vigas ensayadas permitiendo un análisis integral del comportamiento estructural tanto en el régimen elástico como en el inelástico. El análisis comparativo se fundamentó en la verificación del estado límite de servicio, estableciendo un punto de control isostático a la carga de fluencia de la viga patrón (31.14 kN) para contrastar las deformaciones con el límite normativo (6.40 mm).

En la fase elástica, se observa una pérdida progresiva de rigidez inicial asociada al incremento de la dosificación de fibra. La viga de control (VM-1)

exhibió la mayor rigidez, registrando una deflexión de 5.16 mm bajo la carga de referencia. Las vigas con dosificaciones bajas y medias, VM-2 (3kg/m^3) y VM-3 (5kg/m^3), presentaron deflexiones de 6.11 mm y 6.25 mm respectivamente; si bien estos valores denotan una mayor deformabilidad respecto al control, ambos se mantienen dentro del margen admisible. Por el contrario, la viga con la dosis más alta, VM-4 (7 kg/m^3), registró 6.55 mm ante la misma carga, superando el umbral normativo de 6.40 mm, lo que evidencia que una saturación de fibras puede comprometer el cumplimiento de los requisitos de serviciabilidad.

En contraposición, el análisis del comportamiento post-fluencia revela el aporte positivo de las fibras en la capacidad última y la ductilidad; mientras que la viga de control alcanzó su carga máxima de 38.83 kN con deformación limitada a 56.97 mm, las vigas reforzadas con 5 y 7 kg/m^3 lograron sostener cargas superiores, de 38.96 kN y 40.02 kN respectivamente, extendiendo su capacidad de deformación más allá de los 83 mm. Este comportamiento gráfico permite concluir que la dosificación de 5 kg/m^3 representa el óptimo técnico, pues logra replicar la alta tenacidad y resistencia de la dosis máxima sin incurrir en las deflexiones excesivas que penalizan a la viga 7 kg/m^3 en condiciones de servicio.

Tabla 17.

Resumen de cargas notables en ensayo de flexión

Identificación de viga	Dosificación de FPP (kg/m³)	Carga del Inicio del Agrietamiento (kN)	Carga del Inicio de la fluencia del acero (kN)	Capacidad Máxima (kN)	%
Viga 1	0	12.57	31.16	38.85	
Viga 2	3	16.75	34.00	36.58	94.17
Viga 3	5	19.57	38.26	38.98	100.33
Viga 4	7	19.09	37.37	40.03	103.06

La tabla 17 presenta un resumen de las cargas (fuerzas) críticas registradas durante los ensayos de flexión de las cuatro vigas. Estos valores corresponden directamente a los puntos clave observados en las gráficas de Carga vs. Deflexión.

La adición de FPP incrementa la carga necesaria para iniciar la fisuración. La viga de control se agrietó a una carga de 12.57 kN, mientras que las vigas reforzadas resistieron más, destacando la Viga 3 que alcanzó los 19.57 kN antes de fisurarse.

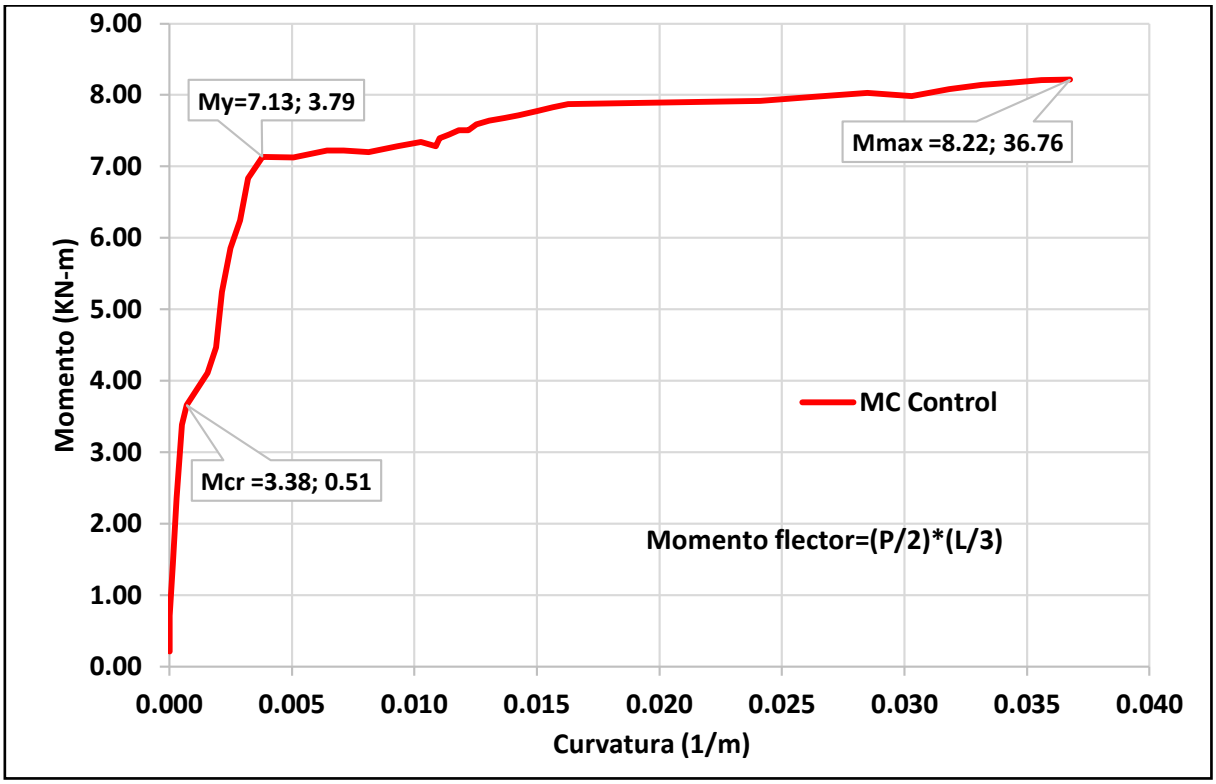
Los resultados muestran que las fibras tienen un efecto moderado sobre la carga máxima. La dosificación de 3 kg/m³ mostró una ligera reducción del 6 % en su capacidad; en cambio, las dosificaciones de 5 kg/m³ y 7 kg/m³ resultaron en un aumento marginal de la resistencia del 0.33 % y 3.06 %, respectivamente.

4.1.3.2 Análisis momento – curvatura

A partir de los datos experimentales obtenidos en el laboratorio, se generaron los diagramas momentos-curvatura para describir el comportamiento seccional de las cuatro vigas ensayadas. Este análisis permite cuantificar la capacidad de deformación inelástica de la sección mediante el cálculo de la ductilidad de curvatura (μ_Φ), definida como la relación entre la curvatura máxima $(\emptyset_{max})$ y la curvatura de fluencia $(\emptyset_y)$:

$$Ductilidad\ (\boldsymbol{\mu}_{\emptyset}\ ) = \frac{\emptyset max}{\emptyset_y}$$

Figura 20. *Momento – curvatura de la viga VM - 1 Control*



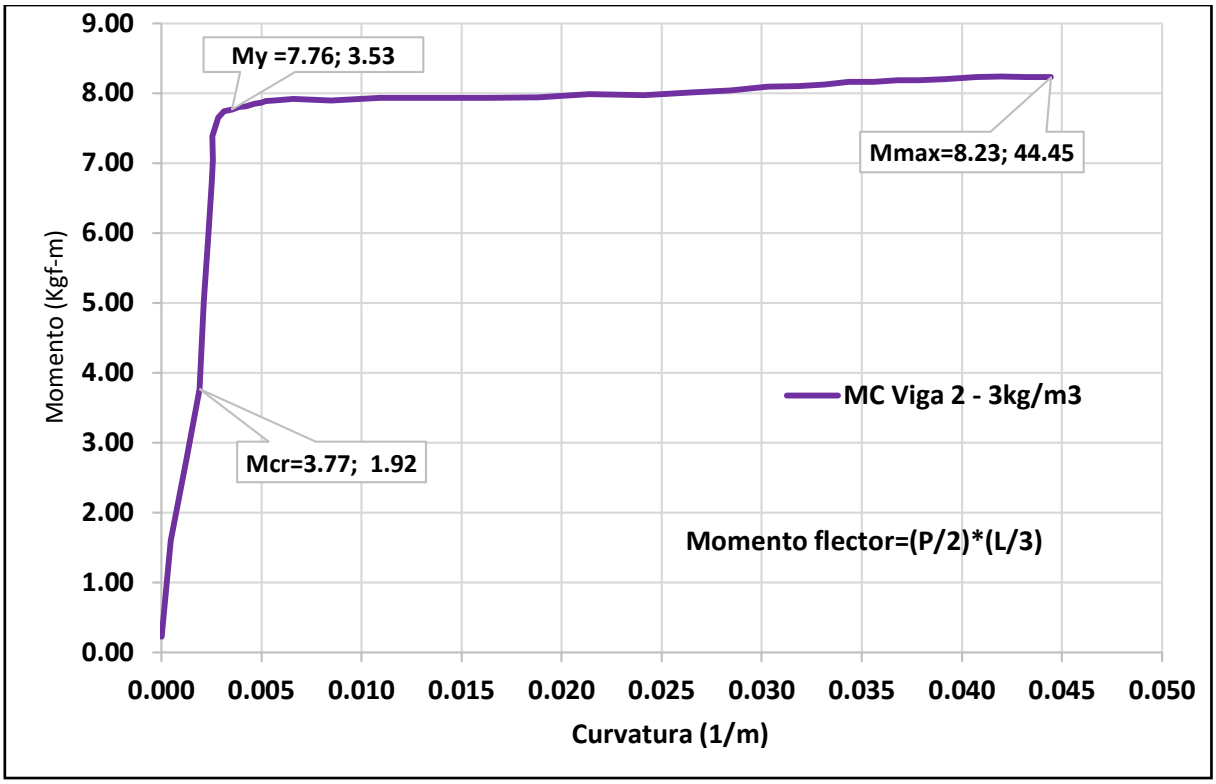
La figura 20 presenta el momento-curvatura (M-φ) de la viga de control (VM-1), el cual describe el comportamiento intrínseco de la sección transversal de mortero armado sometida a flexión. Este análisis permite cuantificar parámetros de diseño fundamentales como la rigidez, la resistencia y la ductilidad de la sección.

Aproximadamente a los 3.38 kN-m, la curva pierde su linealidad inicial, en este punto la tensión en la fibra inferior supera su resistencia del mortero, iniciando el agrietamiento y reduciendo la rigidez en la sección. A los 7.13 kN-m, se observa un cambio drástico en la pendiente que marca el inicio de la fluencia de acero de refuerzo, dando paso al régimen de deformación inelástica.

La sección alcanza un momento máximo de 8.22 kN-m. El análisis arrojó 9.70 de ductilidad de curvatura que indica una notable capacidad de rotación inelástica post-fluencia, asegurando un modo de falla dúctil y predecible.

Figura 21.

Momento – curvatura de la VM- 2 con 3 kg/m³ de FPP



El diagrama Momento-Curvatura para la Viga 2, reforzada con 3 kg/m³ de FPP, describe el comportamiento seccional en una dosificación baja de fibras. El momento de agrietamiento ocurre aproximadamente a los 3.77 kN-m. A partir de este punto, la rigidez de la sección disminuye notablemente.

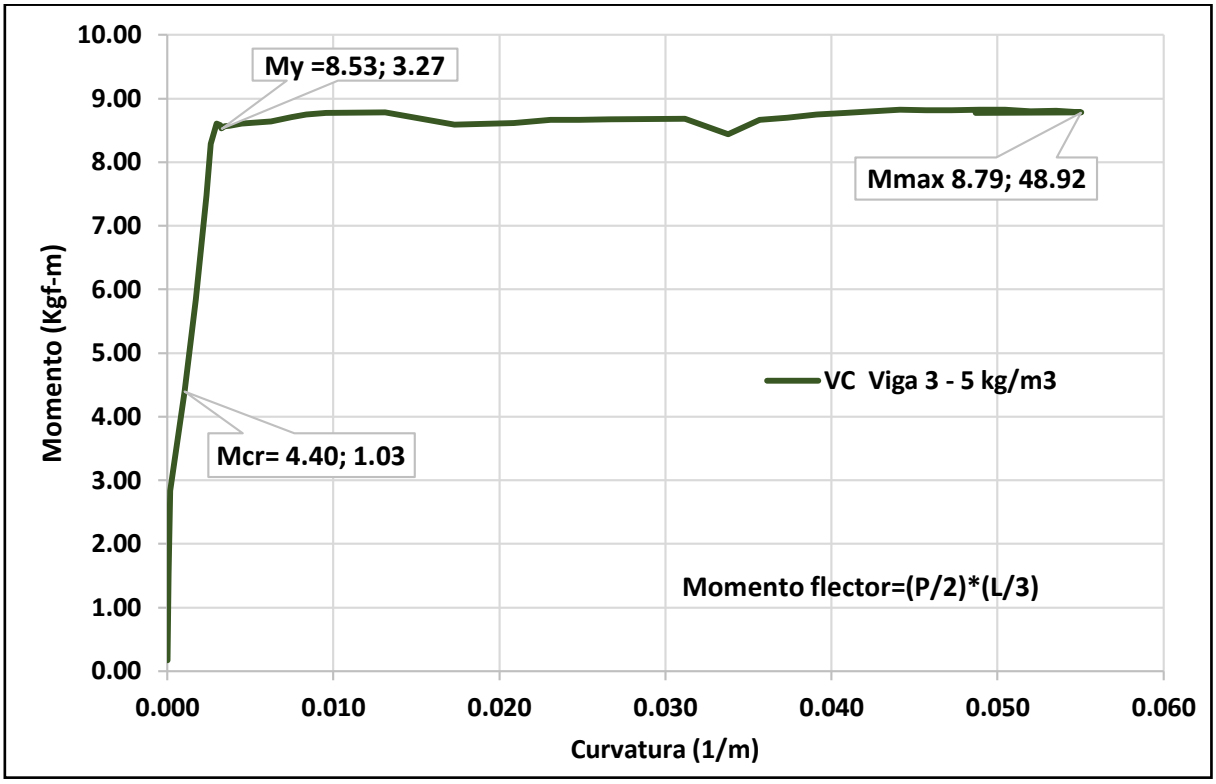
La sección entra al rango inelástico a 7.76 kN-m, momento en el que inicia la fluencia del acero de refuerzo. La viga alcanza una capacidad máxima a flexión de 8.23 kN-m. El análisis de la curva arroja 12.61 de ductilidad de curvatura.

En comparación con la viga de control (ductilidad fue de 9.70), este valor representa un aumento del 30 % en la ductilidad de la sección. Esto demuestra que incluso una dosificación baja de 3 kg/m³ de fibra es eficaz para mejorar la

capacidad de deformación inelástica de la sección, haciéndola más resistente a una falla frágil.

Figura 22.

Momento – curvatura de la viga VM-3 con 5 kg/m³ de FPP



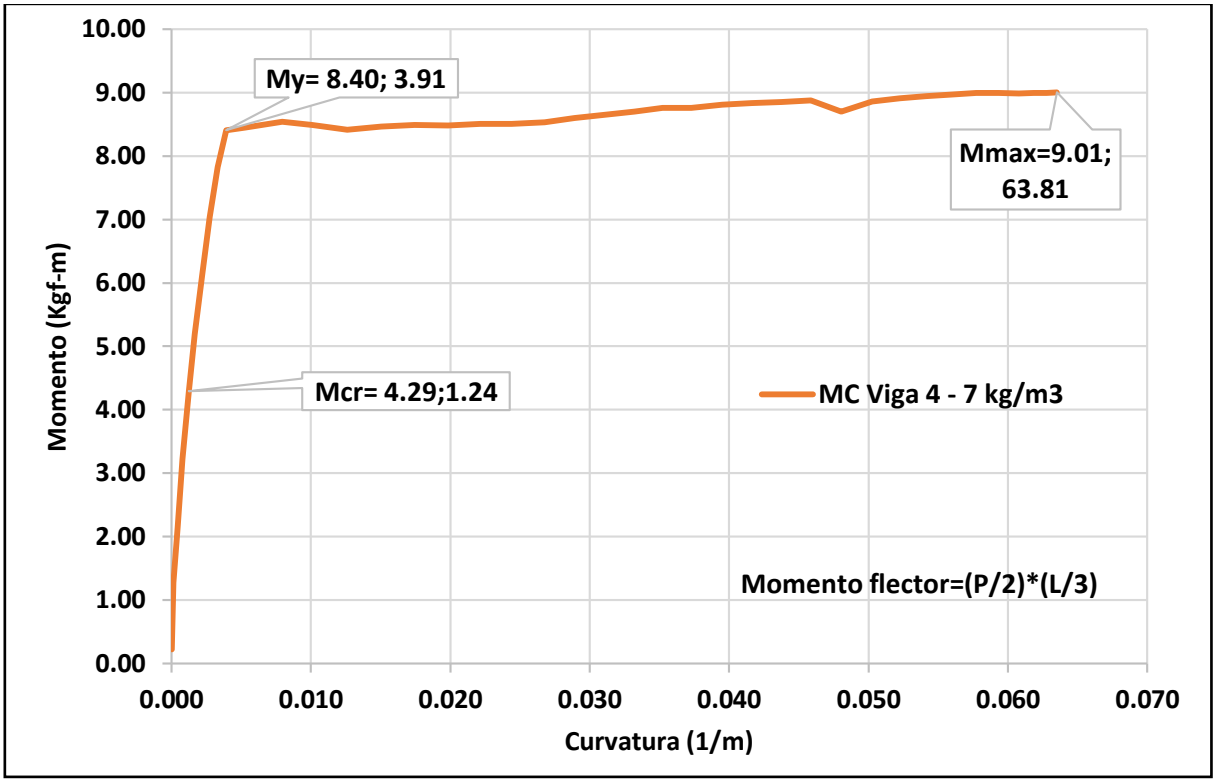
El diagrama Momento-Curvatura (M-φ) de la Viga 3, reforzada con una dosificación de 5 kg/m³ de FPP, cuantifica un desempeño seccional superior.

La respuesta elástica lineal se mantiene hasta un momento de 4.40 kN-m, punto donde el agrietamiento reduce la rigidez de la sección. El acero de refuerzo inicia su fluencia a 8.53 kN-m, marcando el ingreso al rango inelástico. La sección llega a una capacidad máxima a flexión de 8.78 kN-m, mostrando una notable meseta plástica que sostiene la carga a través de grandes curvaturas sin degradación.

El comportamiento altamente dúctil fue de 14.90 representa un incremento del 54 % respecto a la viga de control, confirmando que la adición de 5 kg/m³ de FPP mejora sustancialmente la capacidad de deformación inelástica y la disipación de energía para la seguridad estructural.

Figura 23.

Momento – curvatura de la viga VM-4 con 7 kg/m³ de FPP



La figura 23 de la curva Momento-Curvatura de la Viga 4 (7 kg/m³) evidencia el máximo desempeño seccional y un comportamiento elástico lineal que cesa a los 4.29 kN-m, punto donde inicia la degradación de rigidez por agrietamiento.

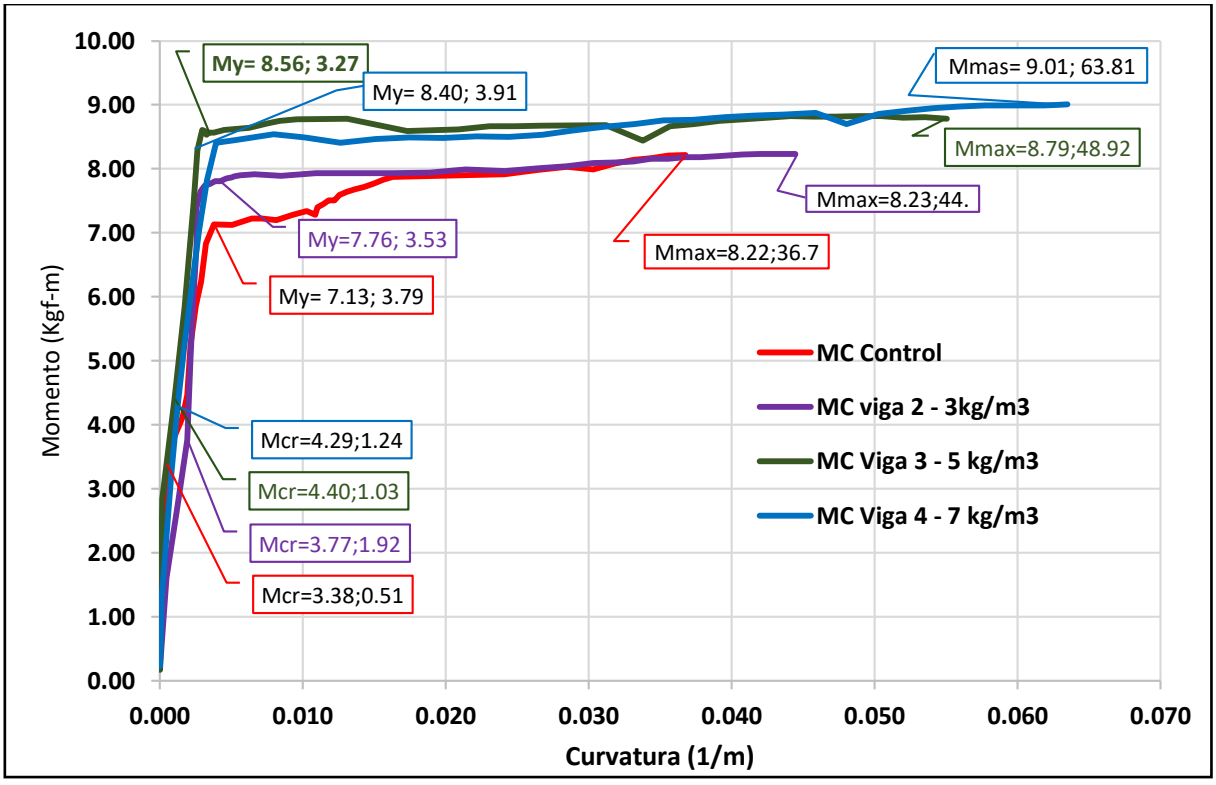
La fluencia del acero ocurre a 8.41 kN-m, marcando el inicio de las deformaciones plásticas significativas. La sección alcanza los 9.01 kN-m que evidencia un claro endurecimiento por deformación, lo que indica que la alta

densidad de fibras cose eficazmente las fisuras, permitiendo aumentar la carga incluso después de la fluencia.

La ductilidad de curvatura alcanza el valor de 16.23, el más alto en el estudio. Esto representa una mejora del 67 % frente a la viga de control, confirmando que la dosificación de 7 kg/m³ es la más efectiva para maximizar la capacidad de rotación plástica y garantizar un modo de falla extremadamente dúctil.

Figura 24.

Comparación de momento – curvatura entre las 4 vigas



La figura 24 superpone los diagramas Momento-Curvatura de las cuatro vigas, permitiendo una evaluación comparativa directa. Todas las curvas exhiben una pendiente inicial prácticamente idéntica. Esto ratifica que la adición de FPP no modifica la rigidez de la sección de mortero armado en la fase previa al agrietamiento.

Se observan incrementos en la resistencia última con las dosis mayores. La Viga 4 alcanza el momento máximo del estudio con 9.01 kN-m, seguida por la Viga 3 con 8.79 kN-m. Las vigas con menor refuerzo (Control y 3 kg/m³) presentan capacidades inferiores (~8.22 kN-m).

La viga de control presenta la meseta de fluencia más corta, indicando una capacidad de deformación limitada. Se observa una clara tendencia a mayor dosificación de fibra, mayor es la ductilidad y más estable es el comportamiento inelástico de la sección, siendo la Viga 4 la que presenta el mejor desempeño en este aspecto.

Tabla 18.

Resumen comparativo de momentos y ductilidad de curvatura

Vigas/Dosificación de FPP (kg/m³)	Mcr (kN-m)	My (kN-m)	φy 1/m*1000	Mmax (kN-m)	φmax 1/m*1000	Ductilidad. Curvatura μφ=φmax/φy	% de Control
Viga 1 (0 kg/m³)	3.67	7.14	3.79	8.22	36.76	9.69	
Viga 2 (3 kg/m³)	3.77	7.76	3.53	8.23	44.45	12.61	130.07
Viga 3 (5 kg/m³)	4.39	8.53	3.27	8.78	48.92	14.97	154.45
Viga 4 (7 kg/m³)	4.29	8.41	3.91	9.01	63.51	16.23	167.42

La tabla 18 resume los parámetros de desempeño obtenidos del análisis Momento-Curvatura. Los resultados confirman una influencia positiva y progresiva de la FPP en el comportamiento seccional. La capacidad máxima a momento (Mmax) es ligeramente superior en las vigas 3 y 4, alcanzando un máximo de 9.01 kN-m.

La adición de fibras incrementa la resistencia al agrietamiento inicial. La dosificación de 5 kg/m³ (4.39 kN-m) logra el mayor desempeño, superando en un 20 % el momento de la viga control (3.67 kN-m). Esto confirma que las fibras

refuerzan la matriz de mortero ante la tensión, retrasando el inicio del daño visible.

Asimismo, el momento de fluencia se incrementa con la adición de fibras, alcanzando un máximo de 8.53 kN-m para la dosis de 5 kg/m³. La capacidad última a flexión muestra un incremento moderado pero constante. Se registra un aumento del 6.80 % en la viga con 5 kg/m³ y un máximo del 9.55 % en la viga con 7 kg/m³, que alcanzó los 9.01 kN-m. Este comportamiento se atribuye a la capacidad de las fibras para "coser" las fisuras, aportando una resistencia a tracción residual post-fisuración que se suma a la capacidad del acero de refuerzo.

El aporte más significativo de las FPP se evidencia en el extraordinario aumento de la ductilidad de curvatura. Este indicador, fundamental para la capacidad de deformación inelástica, pasó de 9.69 en la viga de control a valores sustancialmente mayores según la dosificación: Viga 2: Ductilidad de 12.61 (+30% vs. control), Viga 3: Ductilidad de 14.97 (+54% vs. control), Viga 4: Ductilidad de 16.23 (+67% vs. control).

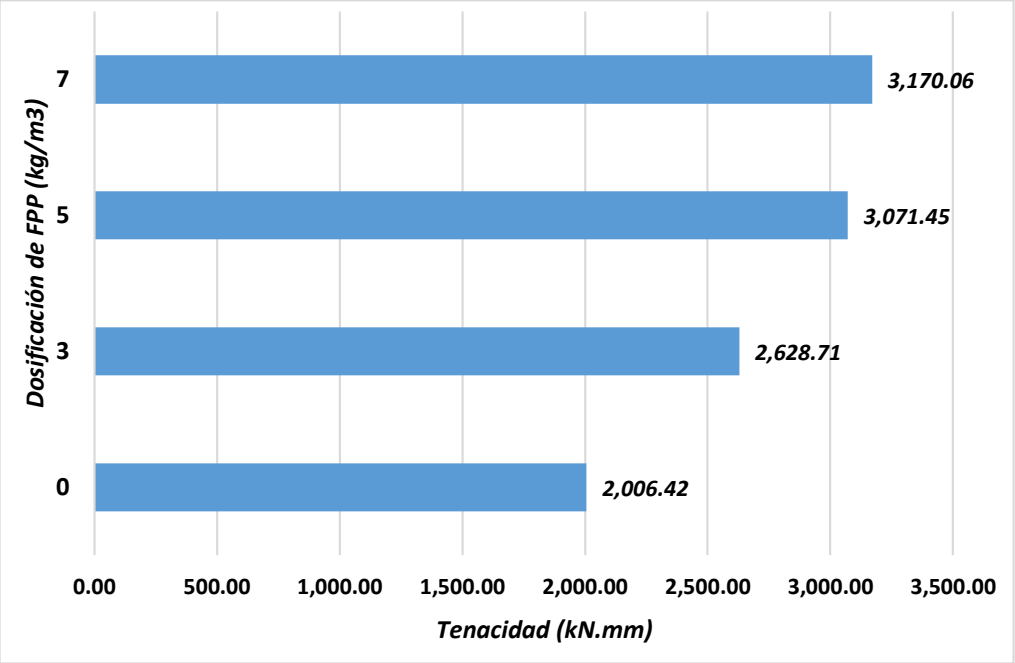
Para cuantificar la capacidad de disipación de energía, se calculó la tenacidad total, definida como al área bajo la curva carga-deflexión. Debido a la naturaleza discreta de los datos experimentales, se empleó el método de integración numérica mediante la regla del trapecio:

$$\text{Tenacidad Total} = \sum\left(\frac{Pi+Pi+1}{2} x\ (di + 1 - di)\right)$$

Donde P es la carga aplicada (kN) y d es la deflexión registrada (mm). Los datos base para este cálculo se extrajeron de los ensayos de flexión presentados en el Anexo 3.

Figura 25.

Comparación de tenacidad (Energía absorbida)



La figura 25 presenta una comparación de la tenacidad de las vigas, calculada como la energía total absorbida (área bajo la curva carga-deflexión), para las cuatro diferentes dosificaciones de FPP.

Se evidencia una relación directa y positiva entre la dosificación de FPP y la tenacidad de las vigas. Se observa un incremento sistemático y muy significativo en la capacidad de absorción de energía a medida que aumenta la cantidad de fibra.

La viga de control sin refuerzo de fibras exhibió la menor tenacidad con un valor de 2,006.42 kN·mm, sirviendo como línea base para la comparación. La adición de 3 kg/m³ de fibra aumentó la tenacidad en más de un 31 %, alcanzando 2,628.71 kN·mm.

El incremento más drástico se produjo con la dosificación de 5 kg/m³, la cual más que duplicó la tenacidad de la dosis anterior, llegando a 3,071.45

kN·mm. Esto representa un aumento de más del 53 % en comparación con la viga sin fibras. Finalmente, la dosificación de 7 kg/m³ alcanzó el valor máximo de tenacidad con 3,170.06 kN·mm, demostrando ser la más eficaz en términos de absorción de energía.

Este aumento exponencial en la tenacidad demuestra que, las fibras incrementaron la carga máxima a flexión, y también en la contribución de mejorar drásticamente el comportamiento post-fisuración. Las fibras actúan como "puentes" que cosen las grietas, permitiendo que la viga continúe deformándose y soportando carga de una manera dúctil, evitando así una falla frágil y súbita.

Tabla 19.

Verificación de las hipótesis del ensayo de flexión: Influencia en la resistencia a la flexión (fuerza máxima)

Viga / Dosificación FPP	Resultado Clave Observado (kN)	Cambio vs Control (%)
Viga 1 (0 kg/m³)	38.83	0
Viga 2 (3 kg/m³)	36.58	-5.83
Viga 3 (5 kg/m³)	38.96	+0.33
Viga 4 (7 kg/m³)	40.04	+3.06

Nota. El valor de 40.04 kN corresponde al incremento del 3.06 % sobre el control (38.85 kN).

El efecto de las fibras sobre la capacidad de carga máxima no es uniforme, pero muestra una tendencia positiva a mayores dosificaciones.

Dosis Baja (3 kg/m³): Se observó una reducción del 5.83 % en la resistencia máxima en comparación con la viga de control. En este caso, la hipótesis de una influencia positiva no se cumple.

Dosis Media (5 kg/m³): Se registró un aumento marginal del 0.33 %. Si bien es un incremento pequeño, indica que esta dosificación no perjudica la resistencia y comienza a mostrar un efecto positivo.

Dosis Alta (7 kg/m³): Esta dosificación mostró el mejor desempeño, con un aumento del 3.06 % en la fuerza máxima, alcanzando los 40.04 kN.

La hipótesis es válida para las dosificaciones de 5 y 7 kg/m³, demostrando que las fibras, en cantidades adecuadas, sí contribuyen a un aumento en la resistencia máxima a la flexión.

Tabla 20.

Verificación deflexiones bajo carga de servicio – Referencia: Fluencia Viga Control

Viga/ Dosificación FPP	Carga de análisis (kN)	Deflexión a 31.14 kN (mm)	Límite Normativo L/250 (mm)	Estado	Análisis comparativo
Viga 1 (0 kg/m³)	31.14	5.16	6.40	CUMPLE	Línea base
Viga 2 (3 kg/m³)	31.14	6.11	6.40	CUMPLE	Incremento de deflexión por presencia de fibra, dentro de norma
Viga 3 (5 kg/m³)	31.14	6.25	6.40	CUMPLE	Se acerca al límite permitido, pero mantiene conformidad
Viga 4 (7 kg/m³)	31.14	6.55	6.40	NO CUMPLE	Excede la deflexión máxima permitida por la norma

En la tabla 20, se desarrolla un análisis comparativo riguroso del comportamiento en estado de servicio, tomando como referencia la carga de fluencia

de la viga de control (31.14 kN) para verificar el cumplimiento del límite de deflexión normativo L/250 (6.40 mm).

La viga 1, registró la menor deflexión con 5.16 mm, confirmando el cumplimiento holgado con el requisito de serviciabilidad. La inclusión de la fibra de polipropileno generó una pérdida progresiva de rigidez inicial en las vigas reforzadas.

La viga 2 y l**a viga 3** registraron deflexiones de 6.11 mm y 6.25 mm respectivamente. Aunque denotan una mayor deformabilidad respecto al control, ambas dosificaciones se mantuvieron dentro del rango permitiendo (<6.40 mm).

La viga 4, experimentó una deflexión de 6.55 mm, superando el límite máximo admisible. Aunque la dosificación de 7kg/cm^3 ofrece la mayor resistencia última y ductilidad final, **no cumple con los requisitos de serviciabilidad (deflexión)** ante cargas de trabajo equivalentes a la fluencia del mortero convencional. Esto posiciona a la dosificación de 5 kg/cm^3 como el límite técnico eficiente que maximiza la ductilidad sin violar los límites normativos de deflexión.

4.1.4 Patrón de fisuración y control de agrietamiento en vigas de mortero armado con fibra de polipropileno sometidas a flexión

Figura 26.

Toma de datos para el control de fisuración, con el fisurómetro y papel mantequilla, en cuadro para realizar el dibujo a escala real.



Tabla 21.

Resumen comparativo del comportamiento de fisuración en vigas de mortero armado

Identificación de viga	VC-1 (Control)	VM-2	VM-3	VM-4
Modo de falla principal	Fluencia del acero, seguida de aplastamiento del mortero en compresión.	Fluencia del acero, seguida de aplastamiento del mortero en compresión.	Fluencia del acero. seguida de aplastamiento del mortero en compresión.	Fluencia del acero, seguida de aplastamiento del mortero en compresión.
Características principales de fisuración (Localización, Distribución)	Fisuras concentradas en zona central inferior (tracción). Patrón típico de mortero armado convencional.	Fisuras en centro inferior (tracción), expandiéndose a extremos inferiores con menor visibilidad.	Fisuras en centro inferior (tracción), expandiéndose a extremos inferiores con menor visibilidad.	Fisuras en zona central e inferior, expandiéndose a extremos inferiores con menor visibilidad.
Ancho máximo de fisura observado	3.61 cm	1.90 cm	1.55 cm	0.91 cm
Control de agrietamiento (Comparativo/ Cualitativo)	Referencia. Número limitado de fisuras que tienden a concentrarse y aumentar su ancho.	Posiblemente mayor número de fisuras más distribuidas y finas en comparación con el control debido a la adición de fibras.	Indicación de mejor control del agrietamiento, con distribución de múltiples fisuras finas.	Evidencia del mayor número de fisuras distribuidas con anchos reducidos, sugiriendo el mejor control del agrietamiento entre las dosificaciones.

En esta sección se analiza y compara el modo de falla, el patrón de fisuración y la eficacia de las diferentes dosificaciones de FPP para controlar el agrietamiento en las vigas de mortero armado sometidas a flexión. Como se observa en la tabla 21, el modo de falla principal fue consistente en todas las vigas ensayadas, tanto en la de control como en las reforzadas con fibras. La falla se inició por la fluencia del acero de refuerzo longitudinal en la zona de tracción, seguida del aplastamiento del mortero en la zona superior de

compresión. Este es un modo de falla dúctil y predecible; sin embargo, la manifestación del daño a través de la fisuración fue drásticamente diferente entre las vigas.

Tabla 22.

Prueba de correlación de Pearson: Dosificación vs Ancho de fisura

Coeficiente de Correlación (r)	Significancia (p-valor)
-0.985	0.015

El Coeficiente de Correlación ® fue de -0.985. Este valor, al ser extremadamente cercano a -1 indica una correlación lineal negativa casi perfecta. Esto confirma lo observado empíricamente: a medida que la dosificación de fibra aumentar, el ancho máximo de la fisura disminuye de manera predecible. El valor (sig.) fue de 0.015, esto significa que la fuerte correlación observada no es producto del azar.

Figura 27.

Muestra de falla en la viga VM-1 Control



Figura 28.

Mapa de fisuras de la viga VM – 1 Cara Frontal

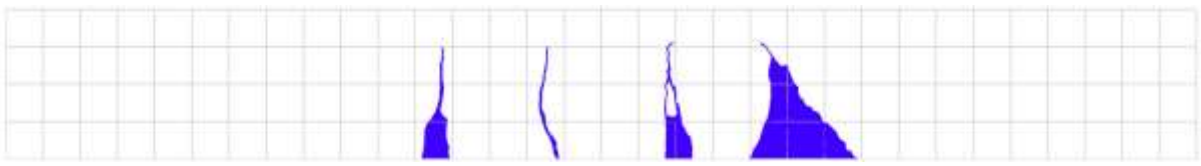
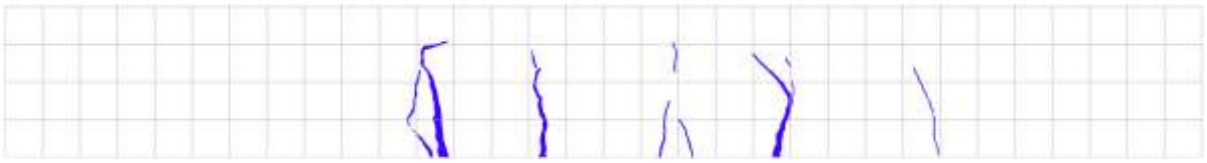


Figura 29.

Mapa de fisuras de la viga VM – 1 Cara Posterior



Como se observa en la fotografía de la viga fallada (figura 27) y en los mapas de fisuración (figuras 28 y 29), la viga de control exhibió un patrón de agrietamiento típico del mortero armado convencional. El daño se manifestó en un número limitado de fisuras concentradas en la zona central de máxima flexión, una de las cuales alcanzó un ancho máximo de 3.61 cm. Este comportamiento evidencia una nula capacidad para controlar la apertura de las grietas una vez formadas.

Figura 30.

Muestra de Viga VM-2 con 3Kg/cm^3 de FPP



Figura 31.

Mapa de fisuras de la viga VM – 2 Cara Frontal

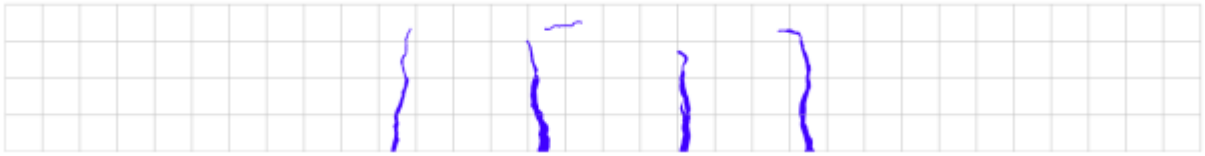
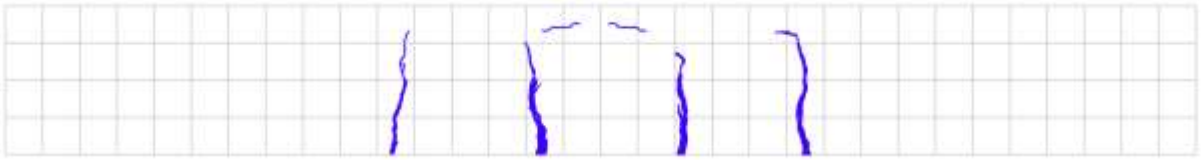


Figura 32.

Mapa de fisuras de la viga de VM – 2 Cara Posterior



La viga 2 también manifestó una falla iniciada por la fluencia del acero, con posterior aplastamiento del mortero en la zona comprimida. Como se observa en la figura 30 y los mapas de fisuración (figuras 31 y 32), la adición de una dosis baja de fibras alteró positivamente el patrón de fisuración en comparación con la viga de control.

Aunque las fisuras por flexión se localizaron mayormente en la zona central de tracción, los mapas sugieren una mejor distribución de grietas más finas. La apertura de estas fue considerablemente menor, registrando un ancho máximo de 1.90 cm. Esto representa una clara evidencia del efecto "puente" de las fibras a través de las grietas, controlando su propagación.

Figura 33.

Muestra de Viga VM-3 con 5 kg/m³ de FPP



Figura 34.

Mapa de fisuras de la viga VM – 3 cara frontal

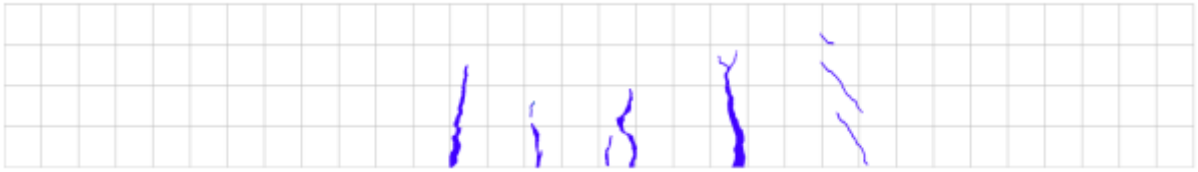
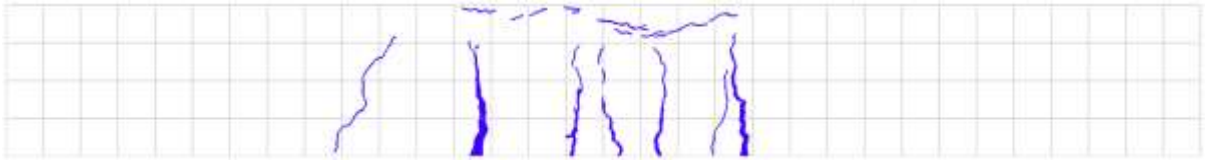


Figura 35.

Mapa de fisuras de la viga VM – 3 cara posterior



La falla en la Viga 3 se caracterizó principalmente por la fluencia del acero de refuerzo. Como se evidencia en la figura 33 y los mapas de fisuración (figuras 34 y 35), las grietas por flexión se manifestaron en el centro de la zona de tracción, mostrando una distribución de múltiples fisuras que indica un control del agrietamiento más eficiente por parte de las fibras de polipropileno.

Este mejor control limitó el ancho máximo de fisura a solo 1.55 cm. El patrón de múltiples grietas finas, en lugar de pocas y anchas, demuestra que la dosificación de 5 kg/m³ es muy efectiva para redistribuir las tensiones internas y mejorar la integridad de la viga después de la fisuración.

Figura 36.

Muestra de Viga VM-4 con 7 kg/m³ de FPP



Figura 37.

Mapa de fisuras de la viga VM – 4 Cara Frontal

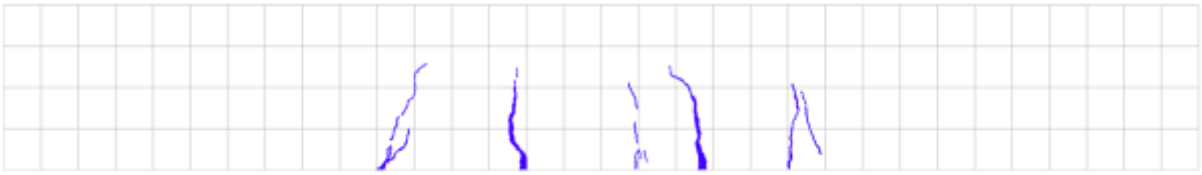
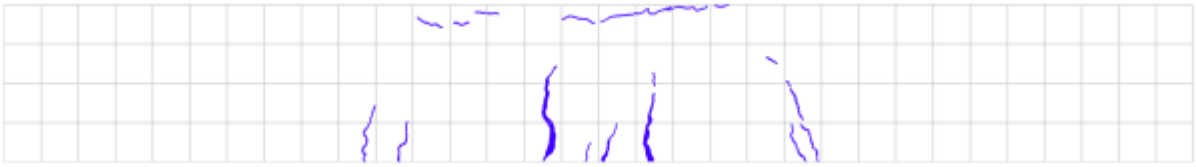


Figura 38.

Mapa de fisuras de la viga VM – 4 Cara Posterior



El desempeño de la Viga VM-4, con la dosificación más alta de 7 kg/m³ de FPP, representa el máximo nivel de control de agrietamiento observado en este estudio. La alta concentración de fibras transformó el modo en que la viga manejó el daño por flexión. En la figura 36, en lugar de formar unas pocas grietas anchas y dominantes, el sistema de refuerzo con fibras forzó al mortero a desarrollar una red de microfisuras múltiples y finamente distribuidas, visibles en los mapas de fisuración (figuras 37 y 38). Este comportamiento es altamente

deseable desde el punto de vista ingenieril, ya que disipa la energía de la fractura a través de un área mucho mayor.

El resultado final fue un control excepcional del daño, limitando el ancho máximo de la fisura a tan solo 0.91 cm. Este valor, que es un 75 % menor que el de la viga sin fibras, demuestra cómo una alta dosificación de FPP no solo contiene las grietas, sino que cambia fundamentalmente el patrón de falla hacia un modo mucho más seguro y controlado.

Tabla 23.

Verificación de las hipótesis del control de agrietamiento (fisuración)

Viga/ Dosificación FPP (kg/m³)	Resultado clave (cm)	Cambio vs Control	¿Influencia positiva?	Evidencia	Evaluación de la dosificación
Viga 1 (0)	3.61	0	-	Fisuración sin control de fibras	Falla sin control de agrietamiento
Viga 2 (3)	1.90	-47.37 %	Si	Reducción significativa del ancho de fisura	Buen control de fisuración
Viga 3 (5)	1.55	-57.06 %	Si	Excelente control del ancho de fisura	Control de fisuración muy eficiente
Viga 4 (7)	0.91	-74.79 %	Si	El mejor control de fisuración observado	Máximo control de fisuración

Para verificar la hipótesis sobre la influencia en el control de fisuración, se evaluó el parámetro del ancho máximo de fisura post-ensayo. La tabla 23 resume los resultados cuantitativos de este análisis, los cuales son concluyentes.

Los datos demuestran una correlación inversa inequívoca: a mayor dosificación de fibra, menor es el ancho máximo de la fisura. Mientras la viga de control (0 kg/m³) presentó una grieta de 3.61 cm, la dosificación de 7 kg/m³ restringió la apertura a tan solo 0.91 cm, una reducción drástica de casi el 75 %.

Estos resultados validan de forma definitiva la hipótesis planteada. Este control de agrietamiento es el mecanismo fundamental que explica la mejora en la ductilidad y tenacidad observadas previamente; las fibras actúan como "puentes" que cosen la matriz de mortero, impidiendo la propagación descontrolada de las grietas y preservando la integridad estructural del elemento.

Tabla 24.

Resumen consolidado de parámetros de desempeño a flexión

Parámetro clave de desempeño	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4	Fuente (Tabla)
Carga Máx. a flexión (kN)	38.85	36.58	38.98	40.03	16
% vs control	100 %	94.1 %	100.3 %	103.1 %	
Máx. deflexión registrada (mm)	56.97	76.72	83.48	83.27	19
% vs control	100 %	+34.7 %	+46.5 %	+46.2 %	
Ductilidad de curvatura	9.70	12.61	14.97	16.23	17
% vs control	100 %	+30 %	+54 %	+67 %	
Ancho Máx. de Fisura (mm)	36.1	19.0	15.5	9.1	20/21

La tabla 24 consolida los parámetros clave de desempeño de las cuatro vigas ensayadas, permitiendo un análisis comparativo directo para determinar la dosificación óptima.

Respecto a la resistencia (carga máxima) se observa que la dosificación de 7 kg/cm^3 (40.03 kN) es la única que ofrece un incremento (aunque marginal, +3.1 %) sobre la viga de control. Crucialmente, la dosificación de 3 kg/m^3 (36.58 kN) resulta en un decremento de la resistencia de casi 6 %. La dosificación de 5 kg/m^3 (38.98 kN) mantiene la capacidad de carga prácticamente idéntica a la

viga de control (100.3 %), cumpliendo con el requisito de no sacrificar la resistencia.

En cuanto a la ductilidad (deformación total y curvatura), este es el indicador más significativo. La viga de control mostró la menor capacidad de deformación (56.97 mm). Ambas dosificaciones, 5 kg/m^3 (83.48 mm) y 7 kg/cm^3 (83.27 mm), provocan un salto drástico en la ductilidad, alcanzando un nivel de deformación máxima casi idéntico y superior en +46 % de control. Esto demuestra que el gran beneficio de la fibra se obtiene plenamente con 5 kg/cm^3. Si bien la ductilidad de curvatura es mayor en la dosis de 7 kg/cm^3 (16.23), la dosis de 5 kg/cm^3 ya proporciona un incremento sustancial (+54 %) sobre el control.

En el control de agrietamiento, se evidencia una correlación directa “a mayor dosificación de fibra, menor es el ancho de la fisura”. La dosis de 7 kg/m^3 presenta el mejor control (9.1 mm), seguida de cerca por la de 5 kg/m^3 (15.5 mm). Ambas son drásticamente superiores al control (36.1 mm).

Al analizar los tres parámetros en conjunto, la dosis 5 kg/m^3 se identifica como el balance óptimo. La dosis de 3 kg/m^3 se descarta por reducir la resistencia. Si bien 7 kg/cm^3 ofrece mejoras incrementales en resistencia y fisura, es la dosis de 5 kg/cm^3 la que logra el principal objetivo de transforma el comportamiento de la viga a uno altamente dúctil (incrementando la deformación máxima en +46 % sin sacrificar la capacidad de carga (100.3 % vs control), este representa, por lo tanto, el punto más eficiente de mejora.

A continuación, se presenta un análisis multicriterio que incorpora la variable Costo basado en la tabla 7 que especifica el incremento del precio para determinar la dosificación con el mejor Costo-Beneficio.

Tabla 25.

Análisis multicriterio de costo-beneficio

Criterio de análisis	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Costo (% Incremento vs Control)	+11.46 %	+17.74 %	+23.19 %
Resistencia (% vs Control)	-5.9 % (Inviable)	+0.3 % (Neutral)	+.3.1 (Mejora)
Ductilidad (Max Defl. % vs Control	+34.7 %	+46.5 % (Óptimo)	+46.2 % (Óptimo)
Control Fisuras (% Reducción Ancho)	+47.4 %	+57.1 %	+74.8 % (Óptimo)

Al evaluar la tabla multicriterio de Costo-Beneficio, la selección de 5 kg/cm^3 como la dosis optima se justifica de manera contundente. Aunque la dosis de 3 kg/cm^3 es la opción más económica queda descartada ya que su beneficio en ductilidad (+34.7 %) no compensa el hecho de que reduce la resistencia a la flexión en -5.9 % ya que compromete la capacidad de carga no es viable.

El beneficio ingenieril más importante de las fibras es el aumento drástico de la ductilidad (deformación máxima). La dosis de 5 kg/cm^3 ya logra el 100 % de este beneficio llevando la deformación de 56.97 mm a 83.48 mm (+46.5 %). Pasar de 5 kg/cm^3 a 7 kg/cm^3 requiere costo adicional de +5.45 % (de 17.74 % a 23.19 %) cuyo beneficio es NULO, la deformación incluso baja ligeramente a 83.27 mm.

A la luz de los datos, la dosificación de 5 kg/cm^3 es el punto de máxima eficiencia con un costo moderado (+17.74 %) se obtiene el beneficio más crítico sin sacrificar la resistencia.

4.2. Verificación de hipótesis

4.2.1. Hipótesis general

- La incorporación de un contenido óptimo de fibra de polipropileno en vigas de mortero armado mejora su comportamiento general a flexión, manifestándose en una mayor capacidad de deformación y un mejor control de la fisuración, en comparación con vigas de mortero armado convencionales sin fibras.

Se aceptada la Ha, puesto que el análisis multifactorial identifica un contenido óptimo en 5 kg/cm^3 el cual ofrece el mejor balance costo-beneficio. A esta dosificación, la capacidad de deformación (ductilidad) se incrementó drásticamente en un + 46.5 % y el control de fisuración mejoró al reducir el ancho de fisura en un 57.1 %.

4.2.2. Hipótesis específicas

H.E.1. La incorporación de fibras de polipropileno contribuye a mejorar la resistencia a la compresión del mortero en comparación con el mortero convencional.

Método: Análisis estadístico inferencial ANOVA de dos factores

Se acepta la hipótesis específica 1. El análisis estadístico ANOVA de dos factores de la Tabla 10, confirmó que el factor “Dosificación” tiene

un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia a la compresión (p. < 001).

Complementariamente, as pruebas de post-hoc (Tabla 11) demostraron que la diferencia de medias entre le grupo control y todos los grupos con fibra es estadísticamente significativa. Esta evidencia inferencial respalda los resultados descriptivos en la Tabla 8, donde los ensayos a 28 días demuestran que todas las dosificaciones con FPP (3, 5 y 7 kg/m³) alcanzaron resistencias a la compresión superiores (23.41, 24.07 y 25.09 MPa respectivamente) a la del motero convencional (22.27 MPa).

H.E.2. El mortero reforzado con una dosificación de 7 kg/m³ de FPP exhibe un módulo de elasticidad cuantificable y representativo de la rigidez del material, con un valor cercano a los 22,417 MPa.

Método: Análisis estadístico inferencial “t de Student para una muestra”

Se rechaza la hipótesis específica 2. La prueba “t de Student para una muestra” desarrollada en la tabla 16 arrojó un valor p = 0.020 (p < 0.05), confirmando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el valor experimental obtenido (17,714 MPa) y el valor predicho en la hipótesis (22,417 MPa); por tanto, desde el punto de vista estadístico, se rechaza la hipótesis de igualdad numérica planteada.

Esta discrepancia se debe a que el valor hipotético (22,417 MPa) se calculó asumiendo un peso unitario normal (2,300 kg/m^3), mientras que los ensayos reportaron un peso unitario menor (1,923 kg/m^3).

H.E.3. La incorporación de fibras de polipropileno influye positivamente en la resistencia a la flexión de vigas de mortero armado y en su comportamiento a flexión en comparación con las vigas de mortero convencional.

Método: Contrastación empírica directa

Se acepta parcialmente la hipótesis específica 3, la influencia sobre la resistencia máxima a flexión no fue uniformemente positiva. La hipótesis es válida para las dosificaciones de 5 kg/cm^3 (influencia neutra, +0.3 %) y 7 kg/cm^3 (influencia positiva, 3.1 %); sin embargo, se rechaza para dosificación de 3 kg/cm^3 que demostró una influencia negativa (reducción de -5.9 % en la resistencia) en comparación con la viga convencional (Tabla 23).

H.E.4. La incorporación de fibras de polipropileno en vigas de mortero armado controla eficazmente el agrietamiento por flexión, reduciendo el ancho máximo de las fisuras de manera más efectiva a medida que se incrementa la dosificación.

Método: Análisis estadístico inferencial “Correlación de Pearson”

Se acepta la hipótesis de investigación específica 4. El análisis de “Correlación de Pearson” desarrollada en Tabla 22 valida una correlación lineal negativa casi perfecta. El ancho máximo de fisura se redujo sistemáticamente al aumentar la dosificación de fibra: *Viga Control (3.61 cm) → Viga 2 (1.90 cm) → Viga 3 (1.55 cm) → Viga 4 (0.91 cm).*

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Los resultados de resistencia a la compresión indican que la adición de fibras de polipropileno incrementó la resistencia a compresión del mortero a los 28 días en comparación con el mortero convencional (22.27 MPa). La dosificación de 7 kg/m³ de fibra de polipropileno alcanzó la resistencia promedio más alta a los 28 días (25.09 MPa), seguida por las dosificaciones de 5 kg/m³ (24.07 MPa) y 3 kg/m³ (23.41 MPa). Estos hallazgos respaldan la primera hipótesis específica que planteaba que "La incorporación de fibras de polipropileno contribuye a mejorar la resistencia a la compresión del mortero".

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que tanto la dosificación de fibra como la edad de curado tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia a la compresión. Más importante aún, se encontró una interacción significativa entre la dosificación y la edad, lo que sugiere que el efecto de la fibra varía dependiendo del tiempo de curado. Por ejemplo, a los 7 días, la dosificación de 7 kg/m³ ya mostraba una superioridad notable, mientras que, a los 28 días, aunque todas las dosificaciones con fibra superaron al control, la de 7 kg/m³ se destacó como la de mayor resistencia. Las dosificaciones de 3 kg/m³ y 5 kg/m³ presentaron resistencias muy similares entre sí a los 28 días.

Estos resultados son consistentes con algunos antecedentes. Rosario Córdova & Veliz Torres (2021) también reportaron una mejora en la resistencia a compresión con adición de fibra de polipropileno, aunque sus dosificaciones y tipo de fibra (monofilamento) fueron diferentes. Sin embargo, es importante notar que el principal beneficio de las fibras de polipropileno no siempre se refleja en

un aumento drástico de la resistencia a compresión, sino en propiedades como el control de la fisuración y la tenacidad, como lo sugieren Hidalgo Yánez (2017). En este estudio, todas las mezclas, incluyendo la de control, superaron la resistencia de diseño objetivo de f'c=20.6 MPa a los 28 días.

La baja variabilidad en los resultados de compresión, reflejada en los bajos coeficientes de variación (mayormente < 2 %), sugiere una buena homogeneidad en la preparación de las muestras y fiabilidad en los ensayos.

2. Para la dosificación de 7 kg/m³ de FPP, se obtuvo un módulo de elasticidad promedio experimental de 17,713 MPa a los 28 días, con una resistencia a compresión concomitante de 24.37 MPa. Estos valores, basados en los ensayos de la PUCP, presentan un coeficiente de variación bajo, lo que indica una buena consistencia en los resultados.

La segunda hipótesis específica planteaba un valor de 22,417 MPa. El resultado experimental promedio fue de 17,713 MPa, lo que llevó al rechazo estadístico de la hipótesis; sin embargo, al analizar la causa de esta diferencia, se identificó que el valor hipotético (22,417 MPa) fue calculado asumiendo un concreto de peso normal (2.300 kg/m³). Los ensayos demostraron que el mortero con fibra posee un peso unitario menor de 1,923 kg/m³ (Tabla 14). Al recalcular el módulo teórico con la formula normativa (NTP E0.60/ACI 318) de acuerdo con la densidad real del material, este resultó 17,900 MPa, valor extremadamente cercano al valor experimental, con una similitud del 99 %. Esto demuestra que, aunque la predicción numérica inicial fue imprecisa debido por la variable densidad, el material cumple rigurosamente con el comportamiento elástico esperado para un concreto ligero estructural según la normativa vigente.

Al comparar el valor experimental con la estimación teórica inicial (23,202 MPa) para peso normal), se observa que es un 76.3 % inferior. Esta diferencia es esperada y se atribuye principalmente a la menor densidad del mortero por la ausencia de agregado grueso. Esta discrepancia es la de mayor implicancia para la práctica ingenieril local ya que se basa en fórmulas teóricas para concreto convencional. Si un ingeniero aplicara la fórmula simplificada de la N.T.P E.0.60 para estimar la rigidez de este mortero armado, subestimaría gravemente las reflexiones reales; por lo tanto, los resultados prueban que para el diseño de estos elementos es mandatario utilizar la ecuación que considera la densidad del material $(w_c)^{1.5}$ o, en su defecto, el módulo experimental (17,713 MPa), descartando el uso de fórmulas para concreto de peso normal.

Casas Tuanama (2015) encontró que el coeficiente que relaciona el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión del mortero varía poco respecto al de concretos convencionales, pero también que el módulo de elasticidad estático del mortero usado en ferrocemento era inferior al del concreto de similar resistencia (Carranza Rivas, 2010). Los resultados actuales para el mortero con 7 kg/m³ de fibras parecen alinearse con la idea de que los morteros pueden presentar módulos de elasticidad ligeramente diferentes a los concretos de igual resistencia a la compresión. La cuantificación de este módulo es esencial para análisis estructurales precisos, especialmente en el cálculo de deformaciones.

3. Los ensayos de flexión en las vigas revelaron que las dosificaciones más altas de FPP influyeron positivamente en la resistencia máxima. La viga con 7 kg/m³ (Viga 4) alcanzó la mayor fuerza máxima con 40.04 kN, lo que representa un aumento del 3.06 % sobre la viga de control (38.85 kN). La Viga 3 (5 kg/m³)

mostró una resistencia de 38.98 kN, prácticamente idéntica a la del control con un ligero aumento del 0.33 %. Únicamente la Viga 2 (3 kg/m³) presentó una reducción del 5.83 % en su resistencia máxima. Estos resultados respaldan parcialmente la hipótesis (HE3) que sugería una influencia positiva, confirmándola para las dosificaciones de 5 y 7 kg/m³.

Es crucial notar que, si bien el aumento en la carga máxima es marginal, la contribución más significativa de las fibras se observa en el comportamiento post-pico del elemento, donde la ductilidad y la tenacidad se ven drásticamente mejoradas. Este comportamiento es consistente con la literatura técnica, que indica que las macrofibras sintéticas son más eficaces para controlar la fisuración y mejorar el comportamiento post-fisuración que para aumentar la resistencia última en elementos reforzados con acero.

Más allá de la carga máxima y la deflexión total de la viga, el análisis de los diagramas momento-curvatura (M-φ) ofrece una visión más profunda del comportamiento intrínseco de la sección transversal. Este análisis cuantifica la ductilidad, uno de los aportes más relevantes de la fibra de polipropileno en esta investigación. Los resultados de la tabla 12 y la figura 23 son contundentes. Mientras la capacidad máxima a momento (Mu) tuvo un incremento moderado (hasta un 9.55 % para la dosis de 7 kg/m³), el efecto más extraordinario fue el aumento progresivo y sistemático de la ductilidad de curvatura (μφ). La viga de control presentó una ductilidad de 9.70, valor que se elevó hasta 16.23 con la dosificación de 7 kg/m³, lo que representa una mejora del 67 %.

Este incremento en la ductilidad de curvatura es de suma importancia en la ingeniería, indica una capacidad muy superior de la sección para rotar

inelásticamente después de la fluencia del acero, sin una pérdida abrupta de su capacidad resistente. Esta capacidad de rotación plástica es la base de la disipación de energía y la tenacidad observadas en la viga a escala completa (Figura 24). El comportamiento observado, donde las fibras "cosen" las fisuras y permiten un endurecimiento por deformación sostenido post-fluencia, es consistente con la literatura que describe el rol de las macrofibras en la mejora del comportamiento post-agrietamiento y la prevención de fallas frágiles; por lo tanto, se discute que la principal contribución de las fibras no fue elevar significativamente el umbral de resistencia, sino transformar el modo de falla. Pasó de ser un modo dúctil convencional a uno extremadamente dúctil y tenaz, lo que garantiza una mayor seguridad y resiliencia estructural, un aspecto fundamental para el diseño en zonas sísmicas.

Si bien la RNE E.060 no legisla sobre el uso de macrofibras de polipropileno, si exige una filosofía de diseño dúctil que garantice la seguridad estructural. El mortero convencional, aunque resistente, exhibió una falla más frágil y una fisuración descontrolada (36.1 mm). Los hallazgos demuestran que la adición de FPP especialmente 5 y 7 kg/m³ transforma este comportamiento y alinea al mortero armado con la filosofía del RNE, al proveer una alta capacidad de deformación inelástica (+67 % en ductilidad de curvatura) y un control de fisuración excepcional. Esta validez se respalda en el uso de las normas NTP 339.078 para el ensayo de flexión y NTP 339.034 para la compresión.

4. Los resultados revelan un cambio fundamental en el modo de comportamiento de las vigas debido a la adición de FPP, pasando de una falla con características frágiles a una marcadamente dúctil. La Viga 1 (control), al alcanzar su carga máxima con la menor deflexión y presentar una fisura de gran ancho (3.61 cm),

exhibió un comportamiento que tiende a la fragilidad, el cual es un hallazgo consistente con los antecedentes locales de Pérez Nascimento (2024), quien observó que las vigas de mortero armado en la región tienden a presentar un mayor número y ancho de fisuras en comparación con el concreto convencional.

En contraste, las vigas con fibras demostraron una gran capacidad de deformación en la etapa plástica. Esta habilidad para incursionar en el rango plástico y absorber una gran cantidad de energía es la definición de un comportamiento dúctil, una característica de seguridad crucial que previene el colapso catastrófico. La capacidad de las fibras para inducir un modo de falla dúctil en vigas de mortero es respaldada por Sarwary et al. (2019), quienes observaron un comportamiento similar con refuerzos de fibra de carbono.

El mecanismo que permite esta transición se evidencia en el patrón de fisuración. Se observa una correlación directa: a mayor dosificación de fibra, el ancho máximo de la fisura se reduce drásticamente, pasando de 3.61 cm a solo 0.91 cm. Este resultado es similar al de Rosario Córdova & Veliz Torres (2021), quienes también reportaron una drástica reducción en el ancho de fisuras al incorporar fibras de polipropileno. Este fenómeno ocurre porque las fibras actúan como "puentes" que cosen la fisura, restringiendo su apertura y redistribuyendo las tensiones en una red de microfisuras múltiples. Este control del agrietamiento es la causa directa del aumento de la tenacidad y la ductilidad, siendo el principal aporte de las macrofibras utilizadas, ya que el incremento en la resistencia máxima a flexión fue marginal. Esto contrasta con otros estudios como el de Carranza Rivas (2010), que logró aumentos de hasta un 43 % en el módulo de rotura utilizando malla de alambre como refuerzo. Por lo tanto, se concluye que

la adición de fibras de polipropileno fue altamente efectiva para transformar el modo de falla a uno dúctil y seguro, validando las hipótesis de la investigación.

Aportes a la Ingeniería Civil y alcance territorial

Los descubrimientos de esta investigación son aplicables a elementos de mortero armado con f'c ≈ 210 kg/cm² reforzados con macrofibras sintéticas en dosificaciones de 5 a 7 kg/cm^3. Basado en el desempeño en el control de fisuración y el incremento de la ductilidad los hallazgos son de alta utilidad práctica en el diseño de vigas de Infraestructuras como colegios, tanques elevados y cubiertas por cuanto el principal criterio de diseño la resistencia a diversas cargas y las condiciones de servicio (control de deflexión y fisuración). La reducción drástica del ancho de fisura (hasta 9.1 mm) con 7 kg/cm^3 asegura una mayor hermeticidad al controlar las microfisuras por contracción y flexión.

La investigación no solo valida una serie de hipótesis en un entorno de laboratorio, sino que genera un aporte tangible y aplicable a la ingeniería civil, con un impacto que escala desde lo local hasta lo nacional.

(i) Curvas Carga-Deflexión y dosificación optima recomendada

El principal aporte práctico de este estudio es la caracterización experimental del comportamiento estructural del mortero armado reforzado con FPP. Se han generado curva carga-deflexión y momento-curvatura que demuestran una transformación del modo de falla de un comportamiento frágil a uno marcadamente dúctil.

Los resultados identifican una banda de dosificación optima entre 5 y 7 kg/cm^3 de macrofibras; mientras que la dosificación de 3 kg/cm^3 resultó en decremento de la resistencia a la flexión, las dosificaciones de 5 y7

kg/cm^3 lograron el objetivo principal de incrementar drásticamente la ductilidad y la tenacidad (con mejoras de hasta +67 % en ductilidad de curvatura) y controlar eficazmente la fisuración (reduciendo del ancho de fisura en un 75 %), sin sacrificar la capacidad de carga última.

(ii) Beneficios para el departamento de Ucayali

A nivel local, este estudio ofrece una solución técnica directa al problema de la carencia de agregado grueso en varios distritos de Ucayali. Tradicionalmente, el uso de mortero armado en la región ha estado asociado a problemas de fisuración excesiva y fallas frágiles. Esta investigación demuestra empíricamente que la adición de FPP en la dosis óptima mitiga estas patologías, proporcionando a los ingenieros y constructores de la región una metodología validada para construir estructuras de mortero armado más seguras, dúctiles y durables.

(iii) Protocolo replicable para otras regiones

A nivel regional y nacional, el mayor aporte de esta investigación es su protocolo metodológico replicable. El Perú, especialmente en la región amazónica como Loreto, Madre de Dios y San Martín, posee numerosas localidades que enfrentes la misma problemática de escasez de agregados pétreos adecuados.

La metodología empleada, que combina el diseño experimental con la aplicación rigurosa de Normas Técnicas Peruanas (NTP 339.034, NTP 339.078) y estándares internacionales (ASTM C-469), sirve como una guía o protocolo base. Este protocolo puede ser adoptado y replicable en otras regiones para caracterizar sus propios materiales locales

(arena de río) y validar el uso de esta u otras tecnologías de refuerzo, fomentando una ingeniería adaptada a la realidad material de cada zona.

5. La investigación es una herramienta de decisión aplicable, sustenta un análisis de costo-beneficio (ABC) comparando el incremento porcentual obtenido en indicadores clave de desempeño de resistencia a la ductilidad y control de fisuras.

Dosificación (FPP)	Incremento costo por 7 m³	Beneficio en resistencia	Beneficio en Ductilidad	Beneficio en fisuración
0 kg/m^3	(Control) Línea Base (S/ 512.48)	100 %	100 %	0 % (Fisura 36.1 mm)
3 kg/m^3	+11.46 %	-5.9 % Inviable	+34.7 %	-47.4 %
5 kg/m^3	+17.74 %	+0.3 % Neutral	+46.5 % Óptima	-57.1 %
7 kg/m^3	+23.19 %	+3.1 % Mejora	+46.2 % Óptima	-74.8 % Máximo

Interpretación del ACB:

- La dosificación 0 kg/m³ (Control) es la opción de costo mínimo; sin embargo, el análisis demuestra que esta opción entrega un elemento estructural frágil, con una ductilidad muy limitada y un control de fisuración nulo.
- La dosificación 3 kg/m³ queda descartada para uso estructural. Aunque es la más barata de las adiciones, el beneficio en ductilidad no compensa el hecho de que reduce la resistencia máxima a la flexión en casi un 6 %, comprometiendo la capacidad de carga del elemento.

- La dosificación 5 kg/m³ (Balance óptimo) esta es la opción de mejor costo-beneficio. Con un incremento de costo moderado (+17.74 %), se obtiene el beneficio más crítico: transformar la falla a un modo dúctil (ductilidad +46.5 %) sin sacrificar la resistencia (+0.3%).
- La dosificación 7 kg/m³ (Máximo desempeño) representa la opción de más alto rendimiento. Requiere el mayor costo (+23.19 %), pero ofrece el máximo control de fisuración (-74.8 %) y la mayor ductilidad de curvatura (+67%).

CONCLUSIONES

- Se determinó que la dosificación de 5 kg/m³ de fibra de polipropileno es el contenido óptimo. Esta dosificación logra el máximo balance técnico: incrementa la resistencia a la flexión en un 3 % (38.98 kN vs 38.85 kN), mejora sustancialmente la ductilidad (deflexión máxima de 84.48 mm frente a 56.97 mm del control) y el control de fisuración (reduciendo el ancho máximo de fisura a 9.1 mm con 7 kg/m³). Lo más importante, la dosificación de 5 kg/m³ mantiene las deflexiones dentro de los límites normativos (L/250) bajo carga de servicio. Se descarta la dosificación de 7 kg/m³) como opción debido a que, bajo bajas cargas de servicio, excedió la deflexión máxima permitida (6.55 mm > 6.40 mm), incumpliendo con los criterios de serviciabilidad a pesar de su alta resistencia última.
- La adición de fibras de polipropileno incrementó la resistencia a la compresión del mortero a los 28 días. La dosificación de 7 kg/m³ proporcionó la mayor resistencia (25.09 MPa), seguida por 5 kg/m³ (24.07 MPa) y 3 kg/m³ (23.41 MPa), todas superiores al mortero convencional (22.27 MPa). Todas las dosificaciones, incluyendo el control, superaron la resistencia de diseño de 20.6 MPa a los 28 días.
- Con base en los ensayos realizados en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP, el módulo de elasticidad promedio del mortero reforzado con 7 kg/m³ de FPP es de 17,713 MPa. Si bien este valor difiere numéricamente de la predicción inicial para concreto normal, el análisis demostró una coincidencia del 99 % con el modelo teórico de la norma ACI 318 al corregirlo por la densidad del material (1,923 kg/m^3)

evidenciando que el mortero posee la rigidez adecuada y se comporta como un concreto ligero estructural.

- La adición de fibra de polipropileno en dosificaciones de 5 y 7 kg/m³ incrementó marginalmente la resistencia máxima a la flexión en comparación con la viga de control (38.85 kN). La dosificación de 7 kg/m³ alcanzó la mayor carga (40.03 kN, +3.06 %) y la de 5 kg/m³ obtuvo una carga de 38.98 kN (+0.33 %). La dosificación de 3 kg/m³ mostró una reducción en la carga máxima (36.58 kN, -5.83 %).
- La adición de fibras de polipropileno influyó positivamente en el comportamiento ante la deflexión y el control de la fisuración.

Deflexión: Todas las vigas con fibras mostraron una mayor capacidad de deflexión en la carga máxima y en la deflexión última registrada en comparación con la viga de control (5.16 mm). La dosificación de 5 kg/m³ presentó la mayor deflexión en la carga máxima (10.53 mm), seguida de cerca por la de 7 kg/m³ (10.29 mm), en estado elástico, indicando un aumento en la ductilidad y tenacidad del material.

Fisuración: La incorporación de fibras de polipropileno controló eficazmente el agrietamiento por flexión. Se observó una reducción progresiva del ancho máximo de fisura con el incremento de la dosificación de fibra: la viga de control presentó el mayor ancho de fisura (36.1 mm), mientras que las vigas con 3, 5 y 7 kg/m³ tuvieron anchos máximos de 19 mm, 15.5 mm y 9.1 mm, respectivamente. La dosificación de 7 kg/m³ fue la más efectiva en reducir el ancho de fisura.

RECOMENDACIONES

- Investigar el efecto de dosificaciones de fibra de polipropileno superiores a 7 kg/m³ y/o la combinación de diferentes tipos de fibras (macro y microfibras) en la resistencia a compresión del mortero. Dado que la dosificación de 7 kg/m³ mostró la mayor resistencia a compresión, explorar dosificaciones mayores podría revelar si existe un umbral a partir del cual la resistencia ya no incrementa o incluso disminuye, o si la sinergia de diferentes geometrías de fibra puede optimizar aún más esta propiedad.
- A los ingenieros y proyectistas de la región utilizar la fórmula general $\boldsymbol{E_c = (w_c)^{1.5} x\ 0.043\ x\ \sqrt{f'c}}$ (considerando peso unitario) para estimar el módulo de elasticidad en diseños con este tipo de mortero armado. Se debe evitar el uso de la ecuación simplificada (4,700 $\sqrt{f'c}$), ya que esta asume un peso normal y tiende a sobreestimar la rigidez del material local, lo que podría derivar en cálculos de deflexiones inexactos.
- Investigar la influencia de diferentes tipos, geometrías y longitudes de fibra de polipropileno en la resistencia a la flexión de las vigas de mortero armado. En este estudio se observó que, si bien la fibra BarChip 48 mejoró drásticamente la ductilidad, su efecto sobre la capacidad de carga máxima fue marginal y dependiente de la dosificación, alcanzando un aumento de solo un 3.06 % con la dosis más alta. Por ello, se recomienda explorar otras configuraciones de fibras que puedan generar un incremento más significativo en la resistencia última, además de mantener o potenciar las excelentes mejoras en el comportamiento dúctil ya observadas.

- Realizar un análisis detallado del comportamiento post-fisuración a largo plazo y bajo cargas cíclicas o de fatiga. Si bien se observó una mejora en el control de la fisuración (menor ancho de fisura) y mayor deflexión con la adición de fibras bajo carga monotónica, estudiar el desempeño bajo condiciones de carga más realistas y durante periodos extendidos podría ofrecer información valiosa sobre la durabilidad y la integridad estructural a largo plazo de las vigas de mortero reforzadas con fibra.
- Implementar técnicas de monitoreo de fisuración más avanzadas y cuantitativas, como el análisis de imágenes digitales (DIC) o la extensometría distribuida, durante los ensayos de flexión. Aunque se realizó una medición del ancho máximo de fisura y una descripción cualitativa, estas técnicas permitirían un mapeo más preciso de la iniciación y propagación de múltiples fisuras, la densidad de fisuración y la evolución del ancho de las fisuras a diferentes niveles de carga, ofreciendo una comprensión más profunda del mecanismo de control de agrietamiento que proporcionan las fibras.
- Extender los ensayos a elementos esbeltos, placas y muros para evaluar el efecto de la fibra en diferentes configuraciones y estado limite, asimismo el comportamiento de elementos con diferentes relaciones de acero de refuerzo, evaluando la interacción entre el acero y las fibras

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI Comité 318. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete. Miami: American Concrete Institute, Farmington Hills*.

Arcana, R. (2023). *Modificación de la rigidez lateral en un edificio de concreto armado por la presencia de tabiquería con revestimiento de mortero de cemento.* Lima.

Arias. (Julio - Diciembre de 2006). El Proyecto de investigación. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos, 1(25)*, 277-297. Perú. Recuperado el 10 de mayo del 2021, de https://www.redalyc.org/pdf/311/31121089006.pdf

Arias, F. (2006). *Mitos y errores en la elaboración de Tesis y Proyectos de Investigación.*

Bentur, A., & Mindess, S. (2007). Fibre Reinforced Cementitious Composites (2nd ed.). Taylor & Francis.

Briones, G. (2002). Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales. Editorial ARFO Editores e Impresores Ltda. Bogotá, Colombia. Obtenido de: https://metodoinvestigacion.files.wordpress.com/2008/02/metodologia-de-la-investigacionguillermo-briones.pdf

Carranza Rivas, C. A. (2010). Ferrocemento: Estudio del mortero reforzado con malla de alambre y sus aplicaciones. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Obtenido de: https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/3164

Casas Tuanama, V. V. (2015). El módulo de la elasticidad en morteros de cemento con arenas de las canteras de la ciudad de Iquitos. [Tesis de

pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Obtenido de: https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/4414 122

Donis, J. M. (2009). Diseño de morteros con cementos hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Obtenido de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3077_C.pdf

Gómez Con, S. G. (2006). Caracterización físico mecánica de morteros utilizando agregado del municipio de san Cristóbal, Alta Verapaz. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Obtenido de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2620_C.pdf

Gutiérrez de López, L. (2003). El Concreto y otros materiales para la construcción. 2da. Edición, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Obtenido de: https://www.academia.edu/28633263/El_Concreto_y_Otro_Materiales_Para_la_Construccion

Hernandez, R. (2018). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: DE LA INVESTIGACIÓN: DE LA INVESTIGACIÓN:.* Ciudad de México: Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana Reg. No. 736.

Harmsen, T. (2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado. 3ra. Edición, Pontificia Universidad Católica del Perú*. Lima, Perú.

INDECOPI (2013). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. (NTP 400.012). Lima, Perú.

INDECOPI (2008). *AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos*). (NTP 400.011). Lima, Perú.

INDECOPI (2018). *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto.* (NTP 400.037). Lima, Perú.

INDECOPI (2001). *Agregados. Extracción y preparación de las muestras*. (NTP 400.010). Lima, Perú.

INDECOPI (2013). *Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. (NTP 339.185). Lima, Perú.

INDECOPI (2013). *Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino*. (NTP 400.022). Lima, Perú.

INDECOPI (2011). *Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad* ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. (NTP 400.017). Lima, Perú.

INDECOPI. (2013). *Cementos. Cementos Portland Requisitos.* (NTP 334.009). Lima, Perú.

INDECOPI (2014). Concreto. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. (NTP 339.088). Lima, Perú. 121

INDECOPI (2015). Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. (NTP 339.034). Lima, Perú.

Medina , D. (2020). *Evaluación estructural de sistemas de reforzamiento en vigas de concreto armado con fibras de carbono y planchas de acero sometidas a flexión.* Arequipa - Perú.

Mondragon , S. (2021). *Caracterización físico mecánica de mortero de estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán.* Michoacan .

Mora Nuñez, D. J., & Da Silva Del Aguila, V. O. (2012). Estudio comparativo del concreto cemento - arena simple y reforzado con fibras de acero y

polipropileno empleando cemento argos tipo I Co Plus +. [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú]. Obtenido de: http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/2350

Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado. (2009). Concreto Armado. Lima

Niño Hernández, J. R. (2010). Tecnología del concreto: Materiales, propiedades y diseño de mezclas. 3ra Edición. Bogotá, Colombia.

Ñaupa Tello, W. D. (2017). Evaluación del comportamiento a la flexión de vigas de concreto reforzados con mortero sin contracción. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Obtenido de http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/1537

Pasquel Carbajal, E. (1993). Tópicos de Tecnología de Concreto en el Perú. 2da Edición, Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional. Lima, Perú.

Peña Tolentino, R. I. (2003). Evaluación semi experimental del módulo de elasticidad del concreto elaborado con arenas finas de la Selva Baja. Conferencia EM-49, Iquitos, Perú. b) Referencias bibliográficas electrónicas: Arriola

Perez, D. (2023). *Propuesta metodológica de diseño de vigas de mortero armado en el departamento de Ucayali.* Pucallpa, Perú.

Pérez Zumaeta, E. A., & Ochoa Ramírez, J. A. (2021). Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un mortero adicionado con ceniza de cáscara de arroz con respecto a un mortero patrón de calidad f'c=175 kg/cm2. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Obtenido de: http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4819

Sarwary, M., Yildirim, G., AL-DAHAWI, A., Anil, Ö., Khiavi, K., Toklu, K., & Şahmaran, M. (2019). Self-Sensing of Flexural Damage in Large-Scale Steel-Reinforced Mortar Beams. [Revista cientifica, Aci Materials Journal, 116, 209-221]. Obtenido de: https://doi.org/10.14359/51715581 123

Soroushian, P., & Bayasi, M. (1987). Fiber-reinforced concrete beams subjected to cyclic flexural loading*. ACI Materials Journal, 84(4), 325–333.*

Tamayo, M. (2007). *Metodología de la Investigación.* México: Limusa.

Tenorio Chung, J. L., & Acosta Huayllahua, S. A. (2020). Estudio comparativo de las propiedades del concreto (cemento arena): Con arena de cantera fluvial-Comunidad Astoria y con arena de cantera cuarzosa-Comunidad Varillal en la ciudad de Iquitos. [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú]. Obtenido de http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1755

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

TITULO: "Mejoramiento de la resistencia a la flexión de vigas de mortero armado reforzado con fibra de polipropileno en el departamento de Ucayali"

Problema General	**Objetivos del estudio**	**Hipótesis de investigación**	**Variable de estudio**	**Metodología**
¿Cuál es el contenido óptimo de fibra de polipropileno para mejorar la resistencia a la flexión de vigas de mortero armado en el departamento de Ucayali? <u>Problema específico</u> a) ¿Cómo influye la adición de diferentes dosificaciones de fibra de polipropileno en la resistencia a la compresión del mortero en distintas edades de curado? b) ¿Cuál es el valor del módulo de elasticidad del mortero reforzado con una dosificación de 7 kg/m³ de fibra de	<u>Objetivo general:</u> Determinar el contenido óptimo de fibra de polipropileno para mejorar la resistencia a la flexión de vigas de mortero armado en el departamento de Ucayali. <u>Objetivos específicos</u> a) Determinar la resistencia a la compresión del mortero convencional y del reforzado con diferentes dosificaciones de (3, 5 y 7 kg/m³) de fibras de polipropileno en distintas edades de curado. b) Determinar el módulo de elasticidad del mortero reforzado con	<u>Hipótesis general</u> La incorporación de un contenido óptimo de fibra de polipropileno en vigas de mortero armado mejora su comportamiento general a flexión, manifestándose en una mayor capacidad de deformación y un mejor control de la fisuración, en comparación con vigas de mortero armado convencionales sin fibras. <u>Hipótesis específicas</u> a) La incorporación de fibras de polipropileno contribuye a mejorar la resistencia a	<u>Variables Independientes:</u> Fibras de polipropileno Dimensiones - *Dosificación de fibras de polipropileno* <u>Variables Dependientes:</u> Diseño de viga de mortero armado Dimensiones - *Resistencia a la compresión del mortero* - *Módulo de elasticidad del mortero* Comportamiento a flexión de las vigas de mortero armado Dimensiones - *Resistencia a la flexión*	<u>Tipo de investigación</u>: Cuantitativo <u>Nivel de investigación:</u> Descriptiva experimental exploratorio <u>Método</u> Experimental <u>Técnica</u> Ensayos <u>Universo</u> Vigas simplemente apoyadas <u>Población</u> 4 vigas de f'c= 210 kg/cm^2 23 especímenes cilíndricos de f'c=210 kg/cm^2 <u>Muestra</u>

polipropileno, determinado a partir de ensayos de compresión axial en probetas? c) ¿De qué manera la adición de fibra de polipropileno afecta el comportamiento a flexión de las vigas de mortero armado, específicamente en su resistencia máxima y su capacidad de deformación (ductilidad)? d) ¿De qué manera la adición de diferentes dosificaciones de fibra de polipropileno modifica el patrón y control de fisuración en vigas de mortero armado sometidas a flexión?	una dosificación de 7 kg/m³ de fibra de polipropileno, con base en los resultados de ensayos de compresión axial. c) Evaluar la influencia de la fibra de polipropileno en el comportamiento a flexión de las vigas de mortero armado, midiendo su resistencia máxima y su capacidad de deformación (deflexión). d) Caracterizar y comparar el patrón de fisuración de las vigas de mortero armado con diferentes dosificaciones de fibra de polipropileno para evaluar la influencia de las fibras en el control del agrietamiento.	la compresión del mortero en comparación con el mortero convencional. b) El mortero reforzado con una dosificación de 7 kg/m³ de fibra de polipropileno exhibe un módulo de elasticidad cuantificable y representativo de la rigidez del material, con un valor cercano a los 22,417 MPa. c) La incorporación de fibras de polipropileno influye positivamente en la resistencia a la flexión de vigas de mortero armado y en su comportamiento a flexión en comparación con las vigas de mortero	- *Deformabilidad a Flexión* - *Control de Fisuración*	vigas rectangulares de 200x125 x 1600mm. probetas cilíndricas de 150x300mm

	convencional. d) La incorporación de fibras de polipropileno en vigas de mortero armado controla eficazmente el agrietamiento por flexión, reduciendo el ancho máximo de las fisuras de manera más efectiva a medida que se incrementa la dosificación.	

Anexo 2. Informe estadístico

Análisis univariado de varianza

Factores inter-sujetos

		Etiqueta de valor	N
Dosificación	1,00	0 Kg/cm^3	9
	2,00	3 Kg/cm^3	9
	3,00	5 Kg/cm^3	9
	4,00	7 Kg/cm^3	9
Edad	1,00	7 días	12
	2,00	14 días	12
	3,00	28 días	12

Estadísticos descriptivos - Variable dependiente: RC

Dosificación	Edad	Media	Desv. Desviación	N
0 Kg/cm^3	7 días	149,6100	1,81667	3
	14 días	177,9133	,80872	3
	28 días	234,2033	2,93193	3
	Total	187,2422	37,33426	9
3 Kg/cm^3	7 días	149,1600	2,22953	3
	14 días	183,2800	1,16323	3
	28 días	256,9867	4,45053	3
	Total	196,4756	47,79605	9
5 Kg/cm^3	7 días	152,5333	,87323	3
	14 días	205,3533	,88596	3
	28 días	257,9867	2,64071	3
	Total	205,2911	45,68598	9
7 Kg/cm^3	7 días	185,0967	1,24536	3
	14 días	228,9333	2,21491	3
	28 días	272,4133	1,30209	3
	Total	228,8144	37,83627	9

Total	7 días	159,1000	15,79587	12
	14 días	198,8700	21,10493	12
	28 días	255,3975	14,51653	12
	Total	204,4558	43,47844	36

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error[a,b]

		Estad. de Levene	gl1	gl2	Sig.
RC	Se basa en la media	2,174	11	24	,054
	Se basa en la mediana	,645	11	24	,773
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,645	11	7,823	,754
	Se basa en la media recortada	2,029	11	24	,071

Prueba la H0 de que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

a. Variable dependiente: RC

b. Diseño: Intersección + Dosificación + Edad + Dosificación * Edad

Pruebas de efectos inter-sujetos: RC

Origen	Tipo III de SC	gl	MC	F	Sig.	Eta
Modelo corregido	66052,397a	11	6004,763	1301,735	,000	,998
Intersección	1504878,760	1	1504878,760	326233,276	,000	1,000
Dosificación	8586,296	3	2862,099	620,456	,000	,987
Edad	56200,879	2	28100,439	6091,719	,000	,998
Dosificación * Edad	1265,223	6	210,871	45,713	,000	,920
Error	110,709	24	4,613			
Total	1571041,867	36				
Total corregido	66163,107	35				

a. R al cuadrado = ,998 (R al cuadrado ajustada = ,998)

MEDIAS MARGINALES ESTIMADAS

1. DOSIFICACIÓN

Estimaciones: RC

Dosificación	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0 Kg/cm^3	187,242	,716	185,765	188,720
3 Kg/cm^3	196,476	,716	194,998	197,953
5 Kg/cm^3	205,291	,716	203,814	206,769
7 Kg/cm^3	228,814	,716	227,337	230,292

Comparaciones por parejas: RC

(I) Dosificación (Kg/cm^3)	(J) Dosificación (Kg/cm^3)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					L.I.	L.S.
0	3	-9,233*	1,012	,000	-12,144	-6,322
	5	-18,049*	1,012	,000	-20,960	-15,138
	7	-41,572*	1,012	,000	-44,483	-38,661
3	0	9,233*	1,012	,000	6,322	12,144
	5	-8,816*	1,012	,000	-11,726	-5,905
	7	-32,339*	1,012	,000	-35,250	-29,428
5	0	18,049*	1,012	,000	15,138	20,960
	3	8,816*	1,012	,000	5,905	11,726
	7	-23,523*	1,012	,000	-26,434	-20,612
7	0	41,572*	1,012	,000	38,661	44,483
	3	32,339*	1,012	,000	29,428	35,250
	5	23,523*	1,012	,000	20,612	26,434

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en nivel .05. b. Ajuste para varias comparaciones: Bonferroni.

Pruebas univariadas: RC

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Contraste	8586,296	3	2862,099	620,456	,000	,987
Error	110,709	24	4,613			

F prueba el efecto de dosificación. Esta prueba se basa en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

2. EDAD

Estimaciones: RC

Edad	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
			L.I.	L.S.
7 días	159,100	,620	157,820	160,380
14 días	198,870	,620	197,590	200,150
28 días	255,397	,620	254,118	256,677

Comparaciones por parejas: RC

(I) Edad	(J) Edad	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.[b]	95% de intervalo de confianza para diferencia[b]	
					L.I.	L.S.
7 días	14 días	-39,770*	,877	,000	-42,027	-37,513
	28 días	-96,297*	,877	,000	-98,554	-94,041
14 días	7 días	39,770*	,877	,000	37,513	42,027
	28 días	-56,527*	,877	,000	-58,784	-54,271
28 días	7 días	96,297*	,877	,000	94,041	98,554
	14 días	56,527*	,877	,000	54,271	58,784

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: Bonferroni.

Pruebas univariadas: RC

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Contraste	56200,879	2	28100,439	6091,719	,000	,998
Error	110,709	24	4,613			

F prueba el efecto de Edad. Esta prueba se basa en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

3. Dosificación * Edad: RC

Dosificación	Edad	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95 %	
				L.I.	L.S.
0 Kg/ cm^3	7 días	149,610	1,240	147,051	152,169
	14 días	177,913	1,240	175,354	180,473
	28 días	234,203	1,240	231,644	236,763
3 Kg/ cm^3	7 días	149,160	1,240	146,601	151,719
	14 días	183,280	1,240	180,721	185,839
	28 días	256,987	1,240	254,427	259,546
5 Kg/ cm^3	7 días	152,533	1,240	149,974	155,093
	14 días	205,353	1,240	202,794	207,913
	28 días	257,987	1,240	255,427	260,546
7 Kg/ cm^3	7 días	185,097	1,240	182,537	187,656
	14 días	228,933	1,240	226,374	231,493
	28 días	272,413	1,240	269,854	274,973

Pruebas Pos hoc

Dosificación

Comparaciones múltiples – Bonferroni: RC

(I) Dosificación	(J) Dosificación	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					L.I.	L.S.
0 Kg/cm^3	3 Kg/cm^3	-9,2333*	1,01247	,000	-12,1443	-6,3224
	5 Kg/cm^3	-18,0489*	1,01247	,000	-20,9598	-15,1380
	7 Kg/cm^3	-41,5722*	1,01247	,000	-44,4832	-38,6613
3 Kg/cm^3	0 Kg/cm^3	9,2333*	1,01247	,000	6,3224	12,1443

	5 Kg/cm^3	-8,8156*	1,01247	,000	-11,7265	-5,9046
	7 Kg/cm^3	-32,3389*	1,01247	,000	-35,2498	-29,4280
5 Kg/cm^3	0 Kg/cm^3	18,0489*	1,01247	,000	15,1380	20,9598
	3 Kg/cm^3	8,8156*	1,01247	,000	5,9046	11,7265
	7 Kg/cm^3	-23,5233*	1,01247	,000	-26,4343	-20,6124
7 Kg/cm^3	0 Kg/cm^3	41,5722*	1,01247	,000	38,6613	44,4832
	3 Kg/cm^3	32,3389*	1,01247	,000	29,4280	35,2498
	5 Kg/cm^3	23,5233*	1,01247	,000	20,6124	26,4343

Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = 4,613
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

Subconjuntos homogéneos - Edad

Comparaciones múltiples – Bonferroni: RC

(I) Edad	(J) Edad	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					L.I.	L.S.
7 días	14 días	-39,7700*	,87682	,000	-42,0266	-37,5134
	28 días	-96,2975*	,87682	,000	-98,5541	-94,0409
14 días	7 días	39,7700*	,87682	,000	37,5134	42,0266
	28 días	-56,5275*	,87682	,000	-58,7841	-54,2709
28 días	7 días	96,2975*	,87682	,000	94,0409	98,5541
	14 días	56,5275*	,87682	,000	54,2709	58,7841

Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = 4.613.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

Anexo 3. Resultados del ensayo a flexión

Resultados para los diagramas de curva carga deflexión

N	Viga N°01 - Control		Viga N°02 - 3kg/m^3 FPP		Viga N°03 - 5kg/m^3 FPP		Viga N°04 - 7kg/m^3 FPP	
	Carga (kN)	Deflexión	Carga (kN)	Deflexión	Carga (kN)	Deflexión	Carga (kN)	Deflexión
1	0.95	0.09	0.99	0.03	0.75	0.09	1.00	0.04
2	12.56	0.83	7.12	0.47	6.78	1.42	5.66	0.82
3	18.92	2.24	12.21	1.36	12.61	3.04	9.55	0.78
4	25.61	3.65	16.74	2.31	19.56	4.47	14.33	1.67
5	31.14	6.98	22.32	3.19	25.94	5.38	19.09	2.50
6	32.24	8.75	26.28	4.07	33.24	6.61	23.10	3.44
7	32.31	10.48	29.94	5.11	36.85	7.90	27.24	5.05
8	32.83	12.23	31.30	6.24	38.24	9.28	31.26	6.60
9	33.37	13.98	32.82	7.47	38.14	10.53	34.78	7.95
10	33.86	15.72	33.99	8.65	37.92	11.94	37.35	10.29
11	34.46	17.49	34.41	9.79	38.06	13.20	37.55	12.91
12	35.11	19.25	34.51	10.89	38.09	14.47	37.95	15.59
13	35.79	21.14	34.69	13.28	38.27	15.76	37.74	18.19
14	36.12	23.00	34.70	15.56	38.41	18.16	37.38	20.93
15	36.67	24.78	34.89	17.93	38.69	20.49	37.63	23.51
16	37.05	26.55	34.95	20.25	38.87	23.07	37.73	26.18
17	37.47	28.51	35.04	22.58	39.00	26.09	37.69	28.77
18	37.44	30.42	35.09	25.05	39.02	28.96	37.83	31.52
19	37.57	32.34	35.20	27.53	38.18	31.60	37.79	34.25
20	37.76	34.19	35.07	30.16	38.28	34.05	37.93	36.83
21	37.83	35.95	35.26	32.63	38.53	36.58	38.24	39.46
22	37.93	37.73	35.24	34.99	38.52	39.27	38.47	41.77
23	38.08	39.57	35.26	37.38	38.56	41.97	38.67	44.23
24	38.30	41.44	35.30	39.72	38.59	44.37	38.93	46.43
25	38.59	43.23	35.50	42.02	37.53	46.89	38.95	48.69
26	38.82	45.09	35.42	44.12	38.50	49.44	39.15	50.87
27	38.85	46.84	35.60	46.34	38.68	51.91	39.26	53.23
28	38.94	48.68	35.73	48.59	38.88	54.35	39.33	55.36
29	39.06	50.32	35.97	50.82	39.02	56.69	39.46	57.45
30	38.88	50.99	36.01	53.22	39.10	59.18	38.67	59.62
31	39.05	51.65	36.09	55.31	39.21	61.68	39.39	61.99
32	39.06	52.32	36.27	57.56	39.19	64.07	39.59	64.27
33	38.79	52.98	36.25	59.76	39.18	66.65	39.77	66.75
34	37.58	53.65	36.38	62.31	39.22	69.05	39.89	68.99
35	38.67	54.31	36.36	64.30	39.22	71.52	39.97	71.41
36	38.81	54.98	36.45	66.54	39.13	73.80	39.96	73.79
37	38.73	55.64	36.57	69.15	39.13	76.28	39.95	76.17
38	38.75	56.31	36.60	71.68	39.05	78.70	39.97	78.50
39	38.83	56.97	36.59	74.23	39.02	81.08	39.99	80.84
40	38.83	6.98	36.58	76.72	38.96	83.48	40.02	83.27

Resultados para la figura de comparación de tenacidad (Energía absorbida)

Identificación de la Viga	Dosificación de Fibra de Polipropileno (FPP)	Tenacidad (Energía Absorbida) (kN·mm)
Viga 1 (Control)	0 kg/m³	2,006.42
Viga 2	3 kg/m³	2,628.71
Viga 3	5 kg/m³	3,071.45
Viga 4	7 kg/m³	3,170.06

Resultados para la figura de Momento Curvatura

Viga N°01 – Control para Curva Momento – Curvatura

			h (m)	**0.2**	
			L (m)	**1.35**	
Fuerza	**Compresión**	**Tracción**	**M=PL/6**	**C (m)**	**Curvatura = ec/c**
-0.95	0.00	0.00287615	0.21	0.07	0.0000215
-3.17	0.001782215	-0.003017	0.71	0.07	0.0000240
-6.39	0.005518626	-0.0226906	1.44	0.04	0.0001410
-10.50	0.011447244	-0.0493577	2.36	0.04	0.0003040
-15.03	0.016953187	-0.0851123	3.38	0.03	0.0005103
-16.26	0.019357074	-0.124736	3.66	0.03	0.0007205
-18.28	0.017967653	-0.2931568	4.11	0.01	0.0015556
-19.86	0.018265821	-0.3646135	4.47	0.01	0.0019144
-23.30	0.018619917	-0.4108502	5.24	0.01	0.0021474
-26.02	0.019011116	-0.4808479	5.85	0.01	0.0024993
-27.75	0.01933769	-0.5583239	6.24	0.01	0.0028883
-30.36	0.019156042	-0.6217129	6.83	0.01	0.0032043
-31.71	0.00882506	-0.7495967	7.13	0.00	0.0037921
-31.67	-0.009545008	-1.002553	7.13	0.00	0.0050605
-32.10	-0.026702689	-1.2600094	7.22	0.00	0.0064336
-32.10	-0.034155685	-1.3900616	7.22	0.00	0.0071211
-31.99	-0.054464828	-1.571945	7.20	0.01	0.0081320
-32.36	-0.073755383	-1.7870736	7.28	0.01	0.0093041
-32.63	-0.087206014	-1.9676592	7.34	0.01	0.0102743
-32.37	-0.093472876	-2.0812492	7.28	0.01	0.0108736
-32.87	-0.095477089	-2.110533	7.40	0.01	0.0110301
-33.09	-0.10114523	-2.1845076	7.45	0.01	0.0114283
-33.37	-0.10665201	-2.2569456	7.51	0.01	0.0118180
-33.36	-0.11112496	-2.3300962	7.51	0.01	0.0122061
-33.73	-0.11667112	-2.3892457	7.59	0.01	0.0125296
-33.95	-0.12671769	-2.4853506	7.64	0.01	0.0130603
-34.13	-0.13523877	-2.6007748	7.68	0.01	0.0136801
-34.30	-0.14504312	-2.705143	7.72	0.01	0.0142509
-34.55	-0.15528098	-2.8485429	7.77	0.01	0.0150191
-34.80	-0.16378103	-2.9645157	7.83	0.01	0.0156415
-34.99	-0.17359647	-3.0817237	7.87	0.01	0.0162766
-35.19	-0.84419501	-3.9779422	7.92	0.04	0.0241107
-35.47	-0.87766415	-4.4024687	7.98	0.03	0.0264007
-35.69	-0.91603273	-4.7832437	8.03	0.03	0.0284964

-35.50	-0.95832622	-5.1013684	7.99	0.03	0.0302985
-35.93	-1.0018317	-5.361445	8.08	0.03	0.0318164
-36.17	-1.038244	-5.5904202	8.14	0.03	0.0331433
-36.31	-1.0664725	-5.8041525	8.17	0.03	0.0343531
-36.49	-1.0956894	-6.022254	8.21	0.03	0.0355897
-36.52	-1.1212113	-6.231123	8.22	0.03	0.0367617

Viga N°02 con 3kg/m³ de FDP – Control para Curva Momento – Deflexión

				h (m)	0.2	
				L (m)	1.35	
Nº	**Fuerza**	**Compresión**	**Tracción**	**M=PL/6**	**c (m)**	**Curvatura = ec/c**
1	-0.98850494	0.001868204	0.002737149	0.22	0.08	0.0000230
2	-7.1185721	0.013855672	-0.080470785	1.60	0.03	0.0004716
3	-12.206217	0.022484332	-0.22604449	2.75	0.02	0.0012426
4	-16.73846	0.026205083	-0.35688785	3.77	0.01	0.0019155
5	-22.322181	0.028786071	-0.39571032	5.02	0.01	0.0021225
6	-26.276134	0.036084287	-0.43011561	5.91	0.02	0.0023310
7	-29.937404	0.038745862	-0.46661526	6.74	0.02	0.0025268
8	-31.299657	0.031099569	-0.48190531	7.04	0.01	0.0025650
9	-32.820953	-0.011351182	-0.49524307	7.38	0.00	0.0025330
10	-33.988326	-0.058276005	-0.50835985	7.65	0.02	0.0028332
11	-34.406896	-0.11090693	-0.51617664	7.74	0.04	0.0031354
12	-34.509233	-0.18455759	-0.52050042	7.76	0.05	0.0035253
13	-34.692815	-0.24745171	-0.52604443	7.81	0.06	0.0038675
14	-34.699865	-0.31188485	-0.53116155	7.81	0.07	0.0042152
15	-34.88644	-0.37361836	-0.55541205	7.85	0.08	0.0046452
16	-34.952064	-0.42598465	-0.57477063	7.86	0.09	0.0050038
17	-35.043975	-0.45130625	-0.59050882	7.88	0.09	0.0052091
18	-35.093974	-0.51069903	-0.61174637	7.90	0.09	0.0056122

19	-35.198287	-0.56442684	-0.75691772	7.92	0.09	0.0066067
20	-35.072238	-0.61288708	-1.0859896	7.89	0.07	0.0084944
21	-35.26476	-0.6528973	-1.5314788	7.93	0.06	0.0109219
22	-35.24023	-0.69678873	-2.0171375	7.93	0.05	0.0135696
23	-35.262645	-0.73706889	-2.5405719	7.93	0.04	0.0163882
24	-35.29774	-0.77627128	-2.9975116	7.94	0.04	0.0188689
25	-35.500509	-0.81358796	-3.4641073	7.99	0.04	0.0213885
26	-35.419896	-0.84419501	-3.9779422	7.97	0.04	0.0241107
27	-35.603916	-0.87766415	-4.4024687	8.01	0.03	0.0264007
28	-35.72894	-0.91603273	-4.7832437	8.04	0.03	0.0284964
29	-35.973277	-0.95832622	-5.1013684	8.09	0.03	0.0302985
30	-36.010986	-1.0018317	-5.361445	8.10	0.03	0.0318164
31	-36.087268	-1.038244	-5.5904202	8.12	0.03	0.0331433
32	-36.270683	-1.0664725	-5.8041525	8.16	0.03	0.0343531
33	-36.254768	-1.0956894	-6.022254	8.16	0.03	0.0355897
34	-36.37984	-1.1212113	-6.231123	8.19	0.03	0.0367617
35	-36.358131	-1.1429204	-6.4199257	8.18	0.03	0.0378142
36	-36.451217	-1.1671997	-6.6571193	8.20	0.03	0.0391216
37	-36.570339	-1.1975292	-6.9449096	8.23	0.03	0.0407122
38	-36.603744	-1.2244756	-7.1708684	8.24	0.03	0.0419767
39	-36.587726	-1.244724	-7.3984742	8.23	0.03	0.0432160
40	-36.576873	-1.2694983	-7.6204939	8.23	0.03	0.0444500

Viga N°03 con 5kg/m^3 de FDP – Control para Curva Momento – Deflexión

				h (m)	0.2	
				L (m)	1.35	
Nº	**Fuerza**	**Compresión**	**Tracción**	**M=PL/6**	**c (m)**	**Curvatura = ec/c**
1	-0.74992949	0.001749256	0.002681693	0.17	0.08	0.0000222
2	-6.7842038	0.012344295	0.002467959	1.53	0.17	0.0000741
3	-12.606613	0.023043757	-0.009795493	2.84	0.14	0.0001642
4	-19.560311	0.041486755	-0.16429931	4.40	0.04	0.0010289
5	-25.94195	0.066211469	-0.27534008	5.84	0.04	0.0017078
6	-33.235369	0.087032594	-0.38608527	7.48	0.04	0.0000222
7	-36.84902	0.097338662	-0.42441511	8.29	0.04	0.0023656
8	-38.243624	0.10930371	-0.48168615	8.60	0.04	0.0026088
9	-38.142134	0.11132041	-0.53005987	8.58	0.03	0.0029549
10	-37.918246	0.11130175	-0.54210484	8.53	0.03	0.0032069
11	-38.05799	0.11294661	-0.57605529	8.56	0.03	0.0032670
12	-38.089198	0.11603484	-0.64167023	8.57	0.03	0.0034450
13	-38.271483	0.11841796	-0.77973127	8.61	0.03	0.0037885
14	-38.412257	0.11877103	-1.1279066	8.64	0.02	0.0044907
15	-38.688609	0.11877629	-1.3722945	8.70	0.02	0.0062334
16	-38.871443	0.11878078	-1.5515788	8.75	0.01	0.0074554
17	-38.99692	0.11878709	-1.7946672	8.77	0.01	0.0083518
18	-39.020762	0.13072312	-2.4931445	8.78	0.01	0.0095673
19	-38.180384	0.21010754	-3.2502775	8.59	0.01	0.0131193
20	-38.278739	0.30330849	-3.8668427	8.61	0.01	0.0173019
21	-38.533228	0.39250061	-4.2234678	8.67	0.02	0.0208508
22	-38.521964	0.45729825	-4.5086632	8.67	0.02	0.0230798
23	-38.563941	0.50265151	-4.8262939	8.68	0.02	0.0248298
24	-38.593123	0.54451114	-5.6939654	8.68	0.02	0.0266447
25	-37.526171	0.62598497	-6.1305757	8.44	0.02	0.0311924
26	-38.503542	0.69168621	-6.4458604	8.66	0.02	0.0337828
27	-38.683001	0.73474282	-6.735836	8.70	0.02	0.0356877
28	-38.878104	0.78000063	-7.0428362	8.75	0.02	0.0373529
29	-39.017077	0.82552576	-7.3447342	8.78	0.02	0.0391142
30	-39.098773	0.87186122	-7.6285572	8.80	0.02	0.0408513
31	-39.214083	0.91869318	-7.9036579	8.82	0.02	0.0425021
32	-39.186469	0.96741354	-8.1698809	8.82	0.02	0.0441118
33	-39.177187	1.02018	-8.4313021	8.81	0.02	0.0456865
34	-39.22259	1.0748467	-8.6996622	8.83	0.02	0.0472574
35	-39.21509	1.1310785	-8.9594631	8.82	0.02	0.0488725
36	-39.127982	1.1909062	-9.2090149	8.80	0.02	0.0504527
37	-39.132914	1.2440238	-9.46171	8.80	0.02	0.0519996
38	-39.04859	1.2911631	-9.716588	8.79	0.02	0.0535287
39	-39.019133	1.3380935	8.3994608	8.78	0.03	0.0550388
40	-38.962466	1.3838066	8.399498	8.77	0.03	0.0486878

Viga N°04 con 7kg/m^3 de FDP – Control para Curva Momento – Deflexión

				h (m)	0.2	
				L (m)	1.35	
Nº	Fuerza	Compresión	Tracción	M=PL/6	c (m)	curvatura = ec/c
1	-1.00386208	0.001826484	0.0027388	0.23	0.08	0.0000228
2	-5.6616352	0.001821715	-0.0244956	1.27	0.01	0.0001316
3	-9.5463288	0.002134678	-0.0843351	2.15	0.00	0.0004323
4	-14.330139	0.002363235	-0.1576741	3.22	0.00	0.0008002
5	-19.085512	0.014730636	-0.2325696	4.29	0.01	0.0012365
6	-23.096057	0.026981791	-0.3088529	5.20	0.02	0.0016792
7	-27.243408	0.042363182	-0.3960757	6.13	0.02	0.0021922
8	-31.264423	0.059393462	-0.4872944	7.03	0.02	0.0027334
9	-34.775543	0.080874607	-0.5782421	7.82	0.02	0.0032956
10	-37.354644	0.1124121	-0.6700056	8.40	0.03	0.0039121
11	-37.549726	0.17242245	-0.8801233	8.45	0.03	0.0052627
12	-37.946682	0.34464917	-1.2469726	8.54	0.04	0.0079581
13	-37.740023	0.43620443	-1.5845228	8.49	0.04	0.0101036
14	-37.381922	0.51152718	-2.012784	8.41	0.04	0.0126216
15	-37.62921	0.5877102	-2.4273491	8.47	0.04	0.0150753
16	-37.726946	0.66409731	-2.8259835	8.49	0.04	0.0174504
17	-37.691157	0.74205863	-3.2251608	8.48	0.04	0.0198361
18	-37.826703	0.8238976	-3.6063848	8.51	0.04	0.0221514
19	-37.793278	0.90927303	-3.9707518	8.50	0.04	0.0244001
20	-37.928128	1.0006671	-4.3519063	8.53	0.04	0.0267629
21	-38.235375	1.0896649	-4.69171	8.60	0.04	0.0289069
22	-38.465636	1.1837424	-5.0299025	8.65	0.04	0.0310682
23	-38.672656	1.2777528	-5.3617802	8.70	0.04	0.0331977
24	-38.930785	1.3716445	-5.6746249	8.76	0.04	0.0352313
25	-38.948584	1.457244	-5.9979734	8.76	0.04	0.0372761
26	-39.149001	1.5479393	-6.3582344	8.81	0.04	0.0395309
27	-39.258452	1.6346974	-6.6906905	8.83	0.04	0.0416269
28	-39.329108	1.717926	-7.0316095	8.85	0.04	0.0437477
29	-39.455294	1.8044848	-7.3688993	8.88	0.04	0.0458669
30	-38.673476	1.9127139	-7.6945453	8.70	0.04	0.0480363
31	-39.386652	2.0119495	-8.041563	8.86	0.04	0.0502676
32	-39.589461	2.1125662	-8.3394346	8.91	0.04	0.0522600
33	-39.772955	2.2064133	-8.6233912	8.95	0.04	0.0541490
34	-39.886519	2.2981999	-8.8989229	8.97	0.04	0.0559856
35	-39.971877	2.3877597	-9.1584187	8.99	0.04	0.0577309
36	-39.964556	2.477957	-9.3895435	8.99	0.04	0.0593375
37	-39.947081	2.5557122	-9.6015244	8.99	0.04	0.0607862
38	-39.966181	2.626327	-9.7481995	8.99	0.04	0.0618726
39	-39.990103	2.7000821	-9.8571606	9.00	0.04	0.0627862
40	-40.024897	2.774853	-9.9268494	9.01	0.04	0.0635085

Anexo 4. Ficha técnica del cemento portland APU tipo I



FICHA TÉCNICA

CEMENTO ANDINO PREMIUM

DESCRIPCIÓN:

Tipo I, Cemento Portland de uso general.

BENEFICIOS:

- Excelente Trabajabilidad.
- Acabado perfecto.
- Alta resistencia a mediano y largo plazo.
- Alta durabilidad.
- Alto desempeño.
- Bajo contenido de álcalis.

APLICACIONES:

- Para estructuras sólidas de acabados perfectos.
- Construcciones en general de gran envergadura.

FORMATO DE DISTRIBUCIÓN:

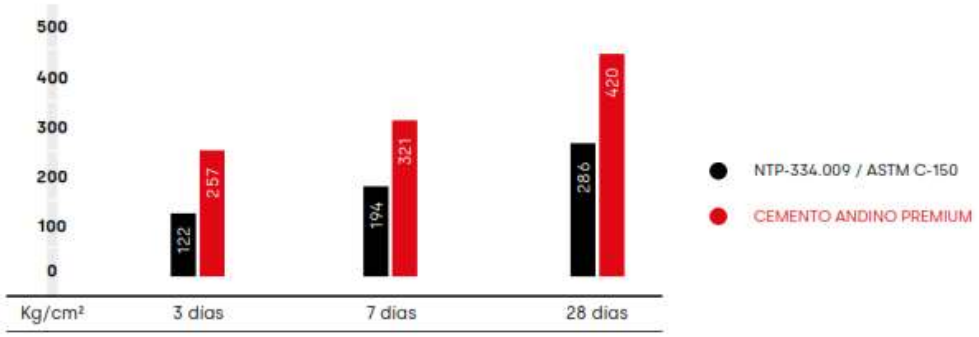
- Bolsas de 42.5 kg: 03 pliegos (02 de papel + 01 film plástico).
- Granel: A despacharse en camiones bombonas y *big bags*.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP - 334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

REQUISITOS MECÁNICOS:

COMPARACIÓN RESISTENCIAS NTP-334.009 / ASTM C-150 VS. CEMENTO ANDINO PREMIUM.



PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

PARÁMETRO	UNIDAD	CEMENTO ANDINO PREMIUM	REQUISITOS NTP-334.009/ ASTM C-150
Contenido de aire	%	6	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.03	Máximo 0.80
Superficie especifica	m^2/kg	386	Mínimo 260
Densidad	g/cm^3	3.18	No especifica
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Resistencia a la compresión a 3 dias	kg/cm^2	257	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 dias	kg/cm^2	321	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 dias	kg/cm^2	420	Mínimo 286
TIEMPO DE FRAGUADO			
Fraguado Vicat inicial	min	122	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	285	Máximo 375
COMPOSICIÓN QUÍMICA			
MgO	%	1.6	Máximo 6.0
SO3	%	2.6	Máximo 3.0
Pérdida al fuego	%	1.2	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.5	Máximo 1.5
FASES MINERALÓGICAS			
C3S	%	55	No especifica
C2S	%	16	No especifica
C3A	%	7	No especifica
C4AF	%	10	No especifica
ÁLCALIS EQUIVALENTES			
Contenido de álcalis equivalentes	%	0.53	Máximo 0.60*

*Requisito opcional

RECOMENDACIONES GENERALES

DOSIFICACIÓN:

- Utilizar agua, arena y piedra libre de impurezas.
- Respetar la relación agua-cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Para desarrollar la resistencia a la compresión del concreto y evitar grietas, se necesita curar por lo menos durante 7 días.

MANIPULACIÓN:

- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Usar la vestimenta y epp adecuados: casco, protectores para los ojos, guantes y botas.
- El contacto con la humedad o con el polvo de cemento sin protección puede causar irritación o daño en la piel.

ALMACENAMIENTO:

- Las bolsas con cemento deben ser almacenadas en recintos secos, protegidos de la intemperie, lluvia y humedad.
- Las bolsas deben ser colocadas sobre parihuelas de madera seca, en áreas niveladas y estables. Posteriormente cubrirlas con mantas de plástico.
- Apilar como máximo 10 bolsas de cemento y evitar tiempos prolongados de almacenamiento.

unacem.com.pe

UNACEM

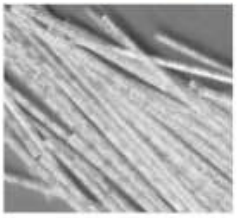
Anexo 5. Ficha técnica de la fibra de polipropileno

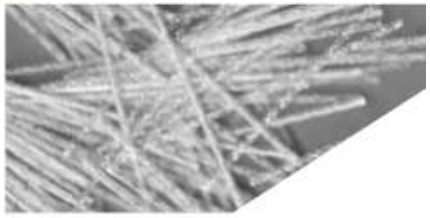
BarChip 48 Ficha Técnica

BarChip 48

Refuerzo de fibra de hormigón







BarChip 48 es una fibra sintética estructural de alto rendimiento para refuerzo del concreto, optimizada para pavimentos, pisos industriales y elementos prefabricados.

Trabaje con BarChip y juntos explotaremos al máximo el potencial de su mezcla de hormigón.

Empaquetado en bolsas de papel y bolsas grandes para dosificación automatizada. Apilado de forma segura sobre 3 palets reciclables de UPVC.





Beneficios

- Diseño integral y soporte técnico
- Redistribuye la carga – mayor ductilidad/tenacidad
- Elimina la corrosión – durabilidad a largo plazo
- Elimina la instalación de mallas de acero
- Mejora la velocidad de producción prefabricada hasta un 50%
- Mayor protección contra la abrasión y el impacto
- Reducción en un 70% de los niveles de emisión de carbono en comparación con el acero
- Más seguro y liviano de manejar que el acero
- Reducción del desgaste de bombas y mangueras para hormigón
- La fibra BarChip está estabilizada a los rayos UV para resistir el deterioro solar
- Empaque a prueba de intemperie sobre múltiples palets UPVC

Características del producto (vea la FDS para más detalles)

Característica	BarChip 48	Estándar
Clase de Fibra II	Para uso estructural en hormigón, argamasa y lechada de cemento	EN 14889-2
Resistencia a la tensión	640 MPa	JIS L 1013/ISO 2062
Módulo de Young	12 GPa	JIS L 1013/ISO 2062
Longitud	48 mm	
Anclaje	Relieve continuo	
Material de base	Polipropileno virgen	
Resistencia alcalina	Excelente	
Certificado CE		0120 - GB10/79678
Certificado ISO 9001:2015		0044943

Dosificación

BarChip 48 tiene un rango típico de dosificación de 2.5 kg a 5 kg por metro cúbico. El rango de dosificación debe ser determinado en función de los requisitos de funcionamiento. Los rangos típicos de dosificación pueden reducir la medida del slump.

Mezclado

BarChip 48 se añade junto a su respectiva bolsa a la mezcladora con agua de mezcla inicial. Adicione materiales secos y mezcle a alta velocidad para las revoluciones requeridas. Se pueden aplicar técnicas alternativas de mezclado.

Realice la optimización de la mezcla junto a los especialistas de BarChip para garantizar que obtenga un rendimiento óptimo de su mezcla de hormigón. Para más información, vea la guía de dosificación y mezclado de BarChip.

Bombeo

BarChip 48 puede ser bombeado fácilmente a través de mangueras de goma de 50 mm. Se deben tomar precauciones para asegurar que las fibras pasen libremente a través de la rejilla del equipo.

Manipulación y almacenamiento

BarChip 48 es empaquetado en bolsas de papel de 2.5 kg (440 kg por palet) y entregado en palets de plástico durable y reciclable con una capucha de lluvia equipada para permitir su almacenamiento en el exterior. Las bolsas almacenadas individualmente deben ser protegidas contra daños causados por agua.

Para más información contacte a su representante BarChip más cercano.

Cumplimiento

Cumple con la ASTM C 1116 – Tipo III
Cumple con EN 14889 - 2

BarChip Inc.
The Synthetic Fibre Experts

www.barchip.com

BarChip 48 **Ficha Técnica**

BarChip 48

Ensayo de Comportamiento



BarChip 48
Fibra Macrosintética

Comportamiento a flexión – ASTM C 1609 / C 1609 M

Esfuerzo residual a los 0.75 mm Desplazamiento f^{150}_{600} [MPa]

	Rango de dosificación [kg/m³]					
f'c [MPa]	2.5	3	3.5	4	5	6
25	1.10	1.35	1.60	1.85	2.35	2.85
32	1.30	1.55	1.80	2.10	2.60	3.15
40	1.50	1.80	2.05	2.35	2.90	3.50

Esfuerzo residual a los 3.0 mm Desplazamiento f^{150}_{150} [MPa]

	Rango de dosificación [kg/m³]					
f'c [MPa]	2.5	3	3.5	4	5	6
25	0.80	1.00	1.15	1.35	1.75	2.20
32	0.90	1.10	1.30	1.50	1.95	2.40
40	1.05	1.25	1.45	1.65	2.10	2.60

Comportamiento a flexión – EN 14651, RILEM

Esfuerzo Residual CMOD 0.5 mm f_{R1} [MPa]

	Rango de dosificación [kg/m³]				
Tipo de Hormigón	2.5	3	4	5	6
C25/30	1.30	1.55	1.90	2.20	2.60
C30/37	1.35	1.55	1.95	2.30	2.70
C35/45	1.40	1.60	2.05	2.35	2.80
C40/50	1.45	1.65	2.05	2.45	2.90

Esfuerzo Residual CMOD 1.5 mm f_{R2} [MPa]

	Rango de dosificación [kg/m³]				
Tipo de Hormigón	2.5	3	4	5	6
C25/30	1.35	1.60	2.05	2.55	3.15
C30/37	1.35	1.60	2.15	2.80	3.40
C35/45	1.40	1.65	2.20	3.00	3.50
C40/50	1.45	1.75	2.30	3.05	3.60

Esfuerzo Residual CMOD 2.5 mm f_{R3} [MPa]

	Rango de dosificación [kg/m³]				
Tipo de Hormigón	2.5	3	4	5	6
C25/30	1.45	1.65	2.10	2.70	3.55
C30/37	1.45	1.65	2.35	3.15	3.70
C35/45	1.50	1.70	2.40	3.20	3.80
C40/50	1.50	1.80	2.55	3.30	3.90

Esfuerzo Residual CMOD 3.5 mm f_{R4} [MPa]

	Rango de dosificación [kg/m³]				
Tipo de Hormigón	2.5	3	4	5	6
C25/30	1.30	1.50	2.05	2.65	3.20
C30/37	1.30	1.55	2.15	2.80	3.45
C35/45	1.35	1.60	2.25	2.95	3.50
C40/50	1.35	1.70	2.40	3.05	3.75

Estos resultados son valores medios basados en muestras emitidas y probadas a los 28 días de edad en laboratorios certificados por NATA y EMI TUV SUD.

Nota: Los valores presentados son una propuesta basada en la experiencia de resultados de pruebas a nivel mundial. Las presentes tablas ofrecen una orientación y deben ser verificadas in situ mediante las pruebas adecuadas. El rendimiento del CRF se logra por la matriz compuesta y no únicamente por las fibras. Se debe aplicar una mezcla ideal y una tecnología de aplicación para optimizar los resultados. Los especialistas de BarChip están disponibles para brindar soporte.

BarChip Inc.
info@barchip.com
N. America: +1 704 843 8401
Australia: +61 1300 131 158
EMEA: +353 (0) 1 469 3197
Asia: +65 6835 7716
S. America: +56 2 2703 1563
Brazil: +55 19 2121 5417

CE ISO 9001 AUSTRALASIA EPD® ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

BarChip Inc. The Synthetic Fibre Experts

Los distribuidores se encuentran ubicados en otras regiones. Para detalles de contacto, visite www.barchip.com.

Aviso legal: Esta información ha sido prevista únicamente como una guía de rendimiento en condiciones específicas y supervisadas. Se le aconseja al usuario que realice su propia evaluación y use los servicios de profesionales para determinar la aptitud del producto para cualquier proyecto o aplicación en particular previo a su uso comercial. ISO 9001:2015. © BarChip Inc 2021. FS48_2021_1_SPA

www.barchip.com

Anexo 6. Cotización de precios de la fibra de polipropileno



Barchip Perú S.A.C.

Ruc : 20451726278
Av. José Lasco 1150, Int. 701, Miraflores
Ciudad: Lima, Perú.
Sitio Web: www.barchip.com
Teléfono: 511 438 9560
E-mail: oficinaperu@barchip.com

BarChip Inc.
The Synthetic Fiber Experts

COTIZACIÓN

FECHA	31/03/2025
COTIZACION #	859
CLIENTE ID	586
VÁLIDO POR	30 DIAS

Asesor de ventas: Arturo Rubiños Tasayco / Celular : +51 945 453 099 / Email: arubinos@barchip.com

CLIENTE
Nombre: Rider Rojas Fasanando
Ruc: 10767302601
Dirección: -
Distrito: Pucallpa
Ciudad: Ucayali
Contacto: Rider Rojas
Teléfono: +51 970 026 181
Email: riderrojasfasanando@gmail.com

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	KG NETOS	PRECIO/KG	SUB-TOTAL	I.G.V.	TOTAL
BC 48 SC	FIBRA SINTETICA ESTRUCTURAL BARCHIP 48 (Bolsas de papel hidrosoluble de 2.5 kilos en pallets de 440 kilos netos)	10.00	USD 6.50	USD 65.00	USD 11.70	USD 76.70

SUBTOTAL:	USD 65.00
TOTAL IGV	USD 11.70
TOTAL:	USD 76.70

TÉRMINOS Y CONDICIONES
Lugar entrega : PUESTO EN AGENCIA SHALON
Plazo de Pago : CONTRA ENTREGA VÍA TRANSFERENCIA ELECTRÓNICA

NOTAS Y/O COMENTARIOS
- DISPONIBILIDAD INMEDIATA.
- PRODUCTO ORIGINARIO DE INDONESIA.
- PUESTO EN AGENCIA SHALON PARA PUCALLPA - UCAYALI.

DATOS BANCARIOS
Nombre: Barchip Peru S.A.C.
Ruc : 20451726278
Banco : Banco de Crédito del Perú (BCP)
Cuenta Dólares N° : 193-1906400-1-77.
Interbancaria: 002 193001906420077 15.
Cuenta Soles N° : 193-1916855-0-68.
Interbancaria: 002 193001916855068 14.
email : arubinos@barchip.com

Si usted tiene alguna pregunta sobre esta cotización, por favor, póngase en contacto con nosotros
Barchip Perú S.A.C. | Sitio Web: www.barchip.com | Teléfono: 511 438 9560
"Gracias por hacer negocios con los expertos en fibras sintéticas"

BarChip
Synthetic Reinforcing Fibre



UN SOCIO CONFIABLE DE SIKA
SIKA CENTER
PAMER PERU

PAMER PERU SELVA SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
AV. CENTENARIO NRO. 290
CALLERIA - CORONEL PORTILLO - UCAYALI
Teléfono: (061) 633329 - Celular: 957 844 696 / 948 802 191 - E-mail: ventas@pamerperu.com

RUC 20612402729
COTIZACIÓN
000586

CLIENTE	
RUC	: 10767302601
DENOMINACIÓN	: ROJAS FASANANDO RIDER ELEODORO
DIRECCIÓN	: - - - -

FECHA EMISIÓN	: 31/03/2025
FECHA DE VENC.	: 31/03/2025
MONEDA	: SOLES

CANT.	UM	CÓD.	DESCRIPCIÓN	V/U	P/U	IMPORTE
2	BX	PPSK-0254	SikaFiber Force PP-48 x 5 kg	202.000	202.000	404.00

EXONERADA	**S/**	**404.00**
INAFECTA	**S/**	**0.00**
GRAVADA	**S/**	**0.00**
IGV 18.00 %	**S/**	**0.00**
TOTAL	**S/**	**404.00**

IMPORTE EN LETRAS: CUATROCIENTOS CUATRO CON 00/100 SOLES

Anexo 7. Constancia del laboratorio de ensayos PUCP

Laboratorio de Estructuras Antisísmicas - LEDI

PUCP

INFORME DE ENSAYOS

EXPEDIENTE	**INF-LE 330-24-A**
SOLICITANTE	**ROJAS FASANANDO RIDER ELEODORO** Av. Santiago Saboya Mz. E Lt. 20 Manantay - Coronel Portillo - Ucayali
TITULO	**DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA EN COMPRESIÓN CON CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD, Y RATIO DE POISSON DEL CONCRETO ENDURECIDO A PARTIR DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN AXIAL EN PROBETAS ELABORADAS POR EL** **Proyecto: MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE MORTERO ARMADOREFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL DEPARTAMENTODE UCAYALI**
FECHA	13 de Diciembre de 2024

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ – Laboratorio de Estructuras Antisísmicas

Ing. Daniel Torrealva D.
Jefe de Laboratorio de
Estructuras Antisismicas

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Av. Universitaria 1801, San Miguel
T: 51-1 626-2000 anexo 4640
ledi@pucp.pe
www.pucp.edu.pe

Tabla 1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL DE PROBETAS DE CONCRETO CON CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELÁSTICIDAD
(CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, CONDICIONES PRE Y POST-ENSAYO, Y RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN AXIAL DE PROBETAS)

NORMA ENSAYO-REFERENCIA: NTP 339.059 (17), NTP 339.034 (21), ASTM C496 (22)
SOLICITANTE: ROJAS FASANANDO RIDER ELEODORO
MUESTRA: 3 probetas (6" de diám.nominal) elaboradas por el cliente
PROCEDENCIA: MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE MORTERO ARMADOREFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL DEPARTAMENTODE UCAYALI
FECHA ENSAYO: 03/12/2024
COND. HUMEDAD MUESTRA: En condiciones de recepción
CONDICIONES AMBIENTALES: Ensayo en condiciones ambientales de Lima: (T = 24°C y 64% H.R., aprox.)

Testigo	Fecha	Long.	TMAG	Diam	Long. (mm)		Peso	Esbel -	F.C	P máx		R' c		E		Ratio	Tipo	P.U
N°	Extraccion	Total	(mm)	(mm)	Lsc	Lcc	(gr)	tez	Esb.	kN	kg	Mpa	kg/cm2	Mpa	kg/cm2	Poisson	Falla	(kg/m3)
1.7 kg/m3	20/08/2024	290	-	149.6	290	295	9889.0	1.973	1	414.0	42214	23.82	242.89	18798	191683	-	1	1941
1.7 kg/m3	20/08/2024	290	-	149.7	290	295	9803.7	1.971	1	408.7	41677	25.30	257.99	17892	182452	-	1	1922
1.7 kg/m3	20/08/2024	290	-	149.4	290	295	9821.0	1.961	1	416.2	42445	23.99	244.61	16449	167730	-	1	1906
											Prom.:	24.4	248.5	17713	180622	-		1923
											D.E.:	0.8	8.3	1184.8	12081.3	-		17.5
											C.V.(%).:	3.33	3.33	6.69	6.69	-		0.91

Donde:

Lsc, Lcc	Longitud del espécimen, sin incluir e incluyendo el refrentado con azufre
TMAG	Tamaño máximo del agregado. Si el cliente no brinda esta información se reporta la dimensión de la partícula más grande en la superficie del espécimen.
Peso:	Peso del espécimen -en las condiciones de ensayo- antes de la colocación del capping
Esbeltez	Relación Longitud (Lcc) / Diámetro del espécimen
F.C. Esb.	Factor de Corrección por Esbeltez, establecido en Normas de Ensayo y de Referencia
P máx:	Carga Máxima aplicada, expresada en kilo Newtons (kN) y en kilogramos (kg)
R'c:	Resistencia a la compresión del espécimen, expresada en MPa y en kg/cm²
E:	Módulo de elasticidad del espécimen, expresado en MPa y en kg/cm²
Ratio Poisson	Ratio de Poisson obtenido del cociente entre la deformación transversal y longitudinal
1,2,3,4,5,6:	Tipos de falla.-1: Conos bien formados en ambas bases / 2: Cono en una base con grietas verticales / 3: Grietas verticales columnares. 4: Corte / 5: Fractura a un lado de la base inferior o superior / 6: Fractura en todo el perimetro de una base.
P.U.:	Peso Unitario del material (concreto), en las condiciones de ensayo
Prom.:	Promedio de los valores R'c individuales (muestra), en sistemas de unidades indicados
D.E.:	Desviación estándar de todos los valores de R'c (muestra), en los sistemas de unidades correspondientes
C.V.:	Coeficiente de variación del espècimen (de todos los valores R'c), expresado en porcentaje (%)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Laboratorio de Estructuras Antisísmicas

(La información estadística podría carecer de sentido, si no se los agrupa adecuadamente, sin embargo, es un indicador de las características de toda la muestra)

Notas:

Las probetas fueron elaboradas por el Cliente y entregados en el Laboratorio.
Las probetas fueron refrentados por personal del Laboratorio.
Los datos de procedencia, ubicación, fecha de elaboración, identificación y cantidad de probetas fueron informados por el cliente.
La fecha de ensayo fue establecida por personal del Laboratorio en coordinación con el Cliente.
Los ensayos de compresión axial fueron realizados en una Máquina de Ensayos, con Celda de Carga, calibrada periódicamente contra una Celda de Carga Patrón, trazable internacionalmente.
Los resultados han sido corregidos por esbeltez únicamente (para esbeltez ideal, el factor de corrección es 1).
Se incluyen registros gráficos Carga (kN) - vs - Desplazamiento total (mm), de los ensayos realizados.

Esta parte del informe contiene *"Resultados de Ensayos"*, que corresponden y son válidos solamente para los especímenes ensayados; y no deben ser utilizados como una *Certificación de Conformidad'* con normas de productos o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que los produce.

Este informe consta de seis (6) páginas en total, incluyendo una (1) carátula y tres (3) registros gráficos (locales) Esfuerzo (MPa) -vs- Deformación Unitaria (10^-6 mm/mm) por cada espécimen de los ensayos de compresión axial realizados.

Se prohibe su reproducción parcial, sin autorización expresa del Laboratorio de Estructuras - PUCP.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
Laboratorio de Estructuras Antisísmicas

PUCP

Anexo 8. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas de 6”x12”



Indecopi CERTIFICADO Nº 00163610

GARCIA INGENIERIA

Pucallpa, 19 de septiembre del 2024

CARTA N°490 - 2024 – G.I.SCC.

Asunto	:	ENTREGA DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO F'C=210 KG/CM2.
Atención	:	BACHILLER: RIDER ELEODORO ROJAS FASANANDO
Proyecto	:	**"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION DE VIGAS DE MORTERO ARMADO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"**

Por medio de la presente me dirijo a Ud. para hacerle llegar un cordial saludo y a la vez remito adjunto al presente, los ensayos de resistencia a la compresión y diseño de mezcla de concreto f'c=210 kg/cm2 para el proyecto: **"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION DE VIGAS DE MORTERO ARMADO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"**

Adjunto al presente los certificados correspondientes y el panel fotográfico de la evaluación realizada para los fines que usted crea conveniente.

GARCIA INGENIERIA E.I.R.L.
RUC: N° 20611754338
Carlos H. Garcia Paima
GERENTE GENERAL

+51 991 951 179 - +51 904 663 828 GARCIAINGENIERIAEIRL@GMAIL.COM WWW.GARCIAINGENIERIA.COM JR. JOSE GALVEZ N°396 - CALLERIA - PUCALLPA

Indecopi CERTIFICADO Nº 00163610

GARCIA INGENIERIA

DISEÑO DE MEZCLAS METODO COMITÉ ACI 211

PROYECTO DE TESIS: "MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION DE VIGAS DE MORTERO ARMADO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"



DISTRITO	CALLERIA
PROVINCIA	CORONEL PORTILLO
DEPARTAMENTO	UCAYALI

INFORME Nº403

SETIEMBRE 2024

SOLICITADO POR:

BACHILLER: RIDER ELEODORO ROJAS FASANANDO

GARCIA INGENIERIA CONSTRUCCION Y CONSULTORIA

+51 991 951 179 - +51 904 663 828 GARCIAINGENIERIAEIRL@GMAIL.COM WWW.GARCIAINGENIERIA.COM JR. JOSE GALVEZ Nº396 - CALLERIA - PUCALLPA

Indecopi CERTIFICADO Nº 00163610

PROYECTO "MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION DE VIGAS DE MORTERO ARMADO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

SOLICITAN BACHILLER: RIDER ELEODORO ROJAS FASANANDO

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN F'C=210 KG/CM2
RESUMEN DE RESULTADOS

MUESTRA	DIAMETRO (CM)	AREA (CM2)	CARGA (KG)	F'CM (KG/CM2)	F'CM PROMEDIO	PORCENTAJE DEL F'CM ALCANZADO	EDAD
Resistencia a la compresión convencional							
C1	15	176.71	26788	151.59			
C2	15	176.71	26158	148.02	149.61	71%	7 DIAS
C3	15	176.71	26370	149.22			
C1	15	176.71	33902	191.85			
C2	15	176.71	33625	190.28	190.64	91%	14 DIAS
C3	15	176.71	33540	189.80			
C1	15	176.71	39353	222.69			
C2	15	176.71	40376	228.48	226.99	108%	28 DIAS
C3	15	176.71	40610	229.81			
Resistencia a la compresion - 3 kg/m3 de fibras de polipropileno							
C1	15	176.71	27085	153.27			
C2	15	176.71	27420	155.17	153.78	73%	7 DIAS
C3	15	176.71	27019	152.90			
C1	15	176.71	34705	196.39			
C2	15	176.71	34963	197.85	196.71	94%	14 DIAS
C3	15	176.71	34615	195.88			
C1	15	176.71	42449	240.21			
C2	15	176.71	42064	238.03	238.59	114%	28 DIAS
C3	15	176.71	41975	237.53			
Resistencia a la compresion - 5 kg/m3 de fibras de polipropileno							
C1	15	176.71	28440	160.94			
C2	15	176.71	28700	162.41	161.49	77%	7 DIAS
C3	15	176.71	28472	161.12			
C1	15	176.71	36459	206.32			
C2	15	176.71	36255	205.16	205.35	98%	14 DIAS
C3	15	176.71	36153	204.58			
C1	15	176.71	43382	245.49			
C2	15	176.71	43712	247.36	245.41	117%	28 DIAS
C3	15	176.71	43008	243.38			
Resistencia a la compresion - 7 kg/m3 de fibras de polipropileno							
C1	15	176.71	29378	166.25			
C2	15	176.71	29648	167.77	167.00	80%	7 DIAS
C3	15	176.71	29509	166.99			
C1	15	176.71	37479	212.09			
C2	15	176.71	37275	210.93	212.66	101%	14 DIAS
C3	15	176.71	37989	214.97			
C1	15	176.71	45115	255.30			
C2	15	176.71	45752	258.90	255.74	122%	28 DIAS
C3	15	176.71	44711	253.01			

GARCIA INGENIERIA E.I.R.L.
Carlos H. García Palma
Técnico de Suelos, Concreto y Asfalto

GARCIA INGENIERIA E.I.R.L.
Eliza Loren Martinez Alvarez
INGENIERO CIVIL
Reg. C.I.P. N° 324997

INGENIERIA CONSTRUCCION CONSULTORIA E.I.R.L. GARCIA V° B°

Indecopi CERTIFICADO Nº 00163610

PROYECTO: "MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION DE VIGAS DE MORTERO ARMADO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

SOLICITANTE: BACHILLER: RIDER ELEODORO ROJAS FASANANDO

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN F'C=210 KG/CM2
PROMEDIOS

MUESTRA	DESCRIPCION	F'CM PROMEDIO	PORCENTAJE DEL F'CM PROMEDIO ALCANZADO	EDAD
C1	Convencional	149.61	71%	7 DIAS
C1	3 kg/m3 de fibras de polipropileno	153.78	73%	
C1	5 kg/m3 de fibras de polipropileno	161.48	77%	
C1	7 kg/m3 de fibras de polipropileno	167.00	80%	

MUESTRA	DESCRIPCION	F'CM PROMEDIO	PORCENTAJE DEL F'CM PROMEDIO ALCANZADO	EDAD
C2	Convencional	190.64	91%	14 DIAS
C2	3 kg/m3 de fibras de polipropileno	195.71	94%	
C2	5 kg/m3 de fibras de polipropileno	205.35	98%	
C2	7 kg/m3 de fibras de polipropileno	212.66	101%	

MUESTRA	DESCRIPCION	F'CM PROMEDIO	PORCENTAJE DEL F'CM PROMEDIO ALCANZADO	EDAD
C3	Convencional	226.90	108%	28 DIAS
C3	3 kg/m3 de fibras de polipropileno	238.59	114%	
C3	5 kg/m3 de fibras de polipropileno	245.41	117%	
C3	7 kg/m3 de fibras de polipropileno	255.74	122%	

GARCIA INGENIERIA E.I.R.L.
Carlos H. García Paima
Técnico de Suelos, Concreto y Asfalto

GARCIA INGENIERIA E.I.R.L.
Eliza Loren Martinez Álvarez
INGENIERO CIVIL
Reg. C.I.P. N° 324997

GARCIA INGENIERIA CONSTRUCCION CONSULTORIA E.I.R.L.
V° B°

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP-922-2023

Expediente : **383-2023**
Fecha de emisión : 2023-11-13

1. Solicitante : **GARCIA INGENIERIA CONSTRUCCION Y CONSULTORIA EIRL**
Dirección : AV. ARBORIZACION MZA. H LOTE. 2 DPTO. 5 URB. ALAMEDAS - CALLERIA - CORONEL PORTILLO - UCAYALI

2. Descripción del Equipo : **MÁQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL**

Marca de Prensa : **PyS EQUIPOS**
Modelo de Prensa : **STYE-2000**
Serie de Prensa : **160654**
Capacidad de Prensa : **2000 kN**

Marca de indicador : **MC**
Modelo de Indicador : **LM-02**
Serie de Indicador : **NO INDICA**

Bomba Hidraulica : **ELÉCTRICA**

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrologia del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precision S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración
AV. AMAZONAS MZA. 303B LOTE. 01 - YARINACOCHA - CORONEL PORTILLO - UCAYALI
09 - NOVIEMBRE - 2023

4. Método de Calibración
La Calibracion se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4 .

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	MT-8010-2023	SISTEMA INTERNACIONAL
INDICADOR	AEP TRANSDUCERS		

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	30.5	30.1
Humedad %	75	75

7. Resultados de la Medición
Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

8. Observaciones
Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN S A C

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP-922-2023

TABLA N° 1

SISTEMA DIGITAL "A" kN	SERIES DE VERIFICACIÓN (kN)				PROMEDIO "B" kN	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
100	100,218	99,835	-0,22	0,16	100,03	-0,03	0,38
200	200,367	200,112	-0,18	-0,06	200,24	-0,12	0,13
300	300,055	299,349	-0,02	0,22	299,70	0,10	0,24
400	400,224	399,831	-0,06	0,04	400,03	-0,01	0,10
500	500,147	499,765	-0,03	0,05	499,96	0,01	0,08
600	600,286	600,139	-0,05	-0,02	600,21	-0,04	0,02
700	700,416	700,181	-0,06	-0,03	700,30	-0,04	0,03
800	800,585	800,124	-0,07	-0,02	800,35	-0,04	0,06

NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

1.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:
Ep= ((A-B) / B)* 100 Rp = Error(2) - Error(1)

2.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %

3.- Coeficiente Correlación : $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste : y = 0,9995x + 0,1151

Donde: x : Lectura de la pantalla
y : Fuerza promedio (kN)

GRÁFICO N° 1

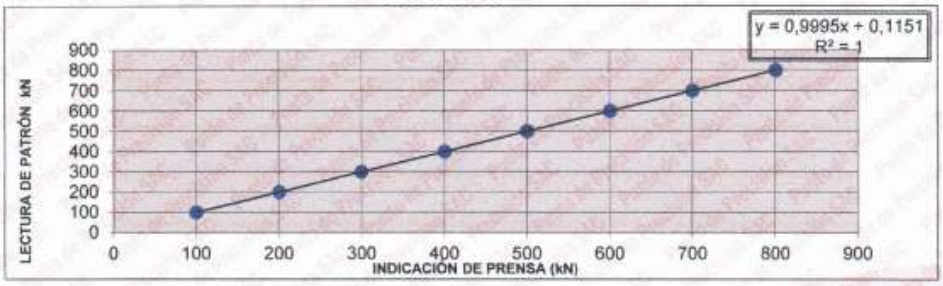
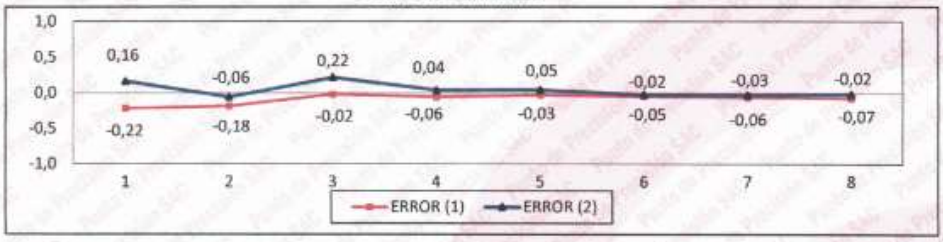


GRÁFICO DE ERRORES



FIN DEL DOCUMENTO

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN S A C

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106
www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Anexo 9. Panel fotográfico

Imagen 1: *Elaboración del encofrando para las muestras de las 4 vigas con dimensiones 0.125X0.25X1.60m*



Imagen 2: *Armado del acero y colocación en el encofrado, antes del vaciado de mortero armado con resistencia 210 kg/m^3, con dosificaciones viga Patron, Viga con Fibras de Polipropileno con 3 kg/m^3, 5 kg/m^3 y 7 kg/ m^3*



Imagen 3: *Alquiler de probetas para realización de testigos, para los ensayos a compresión del mortero armado agregando*



Imagen 4*: Materiales para los testigos, Probetas y el Cono de Abrams para medir la consistencia y fluidez del mortero de 210 kg/m^3, agregando fibras de polipropileno en 3 kg/m^3, 5kg/m^3 y 7kg/m^3*



Imagen 5: Probeta graduada dosificar con precisión la cantidad de agua requerida por el diseño de mezcla.



Imagen 6: Mezcladora eléctrica para la preparación del mortero, para realizar la mezcla del de los materiales y así formar el mortero.



7: *Arena extraída de la Rivera del Rio Ucayali, para ser utilizada según el diseño de mezcla para el Mortero armado.*



Imagen 8: *Cemento Tipo I*



Imagen 9: *Materiales fibras de polipropileno, para añadir a la mezcla del mortero armado con dosificaciones de 3 kg/ m^3, 5 kg/ m^3 y 7 kg/ m^3*



Imagen 10: *Vaciado del mortero con resistencia 210 kg/m2, muestra número, viga N°01*



Imagen 11: *Se realizó el cono de Abrams para conocer la fluidez y consistencia del mortero de resistencia 210 kg/m2, teniendo como resultado un asentamiento de 5”*



Imagen 12: *Testigos de mortero de la muestra - 1, listo para fraguado, para ser ensayadas a compresión a los 7 días, 14 días y 28 día*



Imagen 13: *Muestras de la viga número 1, con los testigos, listos para los ensayos a compresión y a flexión de las vigas N°01*



Imagen 14: *Pesado de las fibras de polipropileno, para realizar el vaciado del mortero armado reforzado con fibras de polipropileno con dosificación de 3 kg/ m^3*



Imagen 15: *Colocación de las fibras de polipropileno en dosificación de 3 kg/ m^3, a la mescla del mortero con resistencia a la compresión de*



Imagen 16: *Se realizó el cono de Abrams para conocer la fluidez y consistencia del mortero de resistencia 210 kg/ m^2 con las fibras de*



Imagen 17: *Muestras de la viga número 2 con fibras de polipropileno con dosificación de 3 kg/ m³, listos para los ensayos a flexión de las vigas N°02*



Imagen 18: *Muestras de la viga numero 2 con dosificación de fibras de polipropileno de 3 kg/ m³, con los testigos, listos para los ensayos a compresión y a flexión de las vigas N°02*

Imagen 19: *Pesado de las fibras de polipropileno, para realizar el vaciado del mortero armado reforzado con fibras de polipropileno con dosificación de 5 kg/ m^3, para la muestra N°03*



Imagen 20: *Colocación de las fibras de polipropileno en dosificación de 5 kg/ m^3, a la mescla del mortero con resistencia a la compresión de 210 kg/ m^2*



Imagen 21: *Se realizó el cono de Abrams para conocer la fluidez y consistencia del mortero de resistencia 210 kg/ m^2 con las fibras de polipropileno con dosificación 5kg/m3, teniendo como resultado un asentamiento de 5”*



Imagen 22: *Muestras de la viga número 3 con fibras de polipropileno con dosificación de 5 kg/ m^3, listos para los ensayos a flexión de las vigas N°03*



Imagen 23: *Muestras de los testigos con fibras de polipropileno con dosificación de 5 kg/ m^3, para una resistencia de 210 kg/ m^2*



Imagen 24: *Pesado de las fibras de polipropileno, para realizar el vaciado del mortero reforzado con fibras de polipropileno con dosificación de 7 kg/ m^3*



Imagen 25: *Colocación de las fibras de polipropileno en dosificación de 7 kg/ m^3, a la mescla del mortero con resistencia a la compresión de 210 kg/ m^3*



Imagen 26: *Se realizó el cono de Abrams para conocer la fluidez y consistencia del mortero de resistencia 210 kg/ m^2con las fibras de polipropileno con dosificación 7kg/ m^3, teniendo como resultado un asentamiento de 6”*

Imagen 27: *Muestras de la viga número 4 con fibras de polipropileno con dosificación de 7 kg/ m³, listos para los ensayos a flexión de la viga N°04*



Imagen 28: *Muestras de la viga numero 4 con dosificación de fibras de polipropileno de 7 kg/ m³, con los testigos, listos para los ensayos a compresión y a flexión de las vigas N°03*

Imagen 29: *muestra ya lista para los ensayos próximos a la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y a flexión de las vigas*



Imagen 30: *Curado de las muestras, para sus respectivos ensayos a los 7 días, 14 días, y 28 días*



Imagen 31: Equipo para determinar la carga máxima que soportan las probetas de mortero, conforme a la norma NTP 339.034



Imagen 32: *Transporte de las vigas de mortero armado a la cuidad de Lima, para su posterior ensayo en la Pontificia Universidad Católica del Perú*



Imagen 33: *Laboratorio antisísmica de la Pontifica Universidad Católica del Perú*



Imagen 34: *Viga de mortero armado con fibras de polipropileno montada, instrumentadas y conectadas al sistema de adquisición de data*

Imagen 35: *Gata hidráulica aplicando la carga puntual hasta la falla de la viga*



Imagen 36: *Ensayo a flexión de la viga de mortero armado con fibras de polipropileno, aplicando carga divida en dos puntos ubicados a 1/3 de la longitud de la viga*



Imagen 37: *Datos de los ensayos a flexión de la viga de mortero armado con fibra de polipropileno*



Imagen 38: *Vigas de mortero armado con fibras de polipropileno, lista para el ensayo la cual se realizará en el laboratorio antisísmicas de la PUCP, para ensayos a flexión y luego para hacer el control del agrietamiento*



Imagen 39: *Vigas de mortero armado, colocadas después del ensayo a flexión*

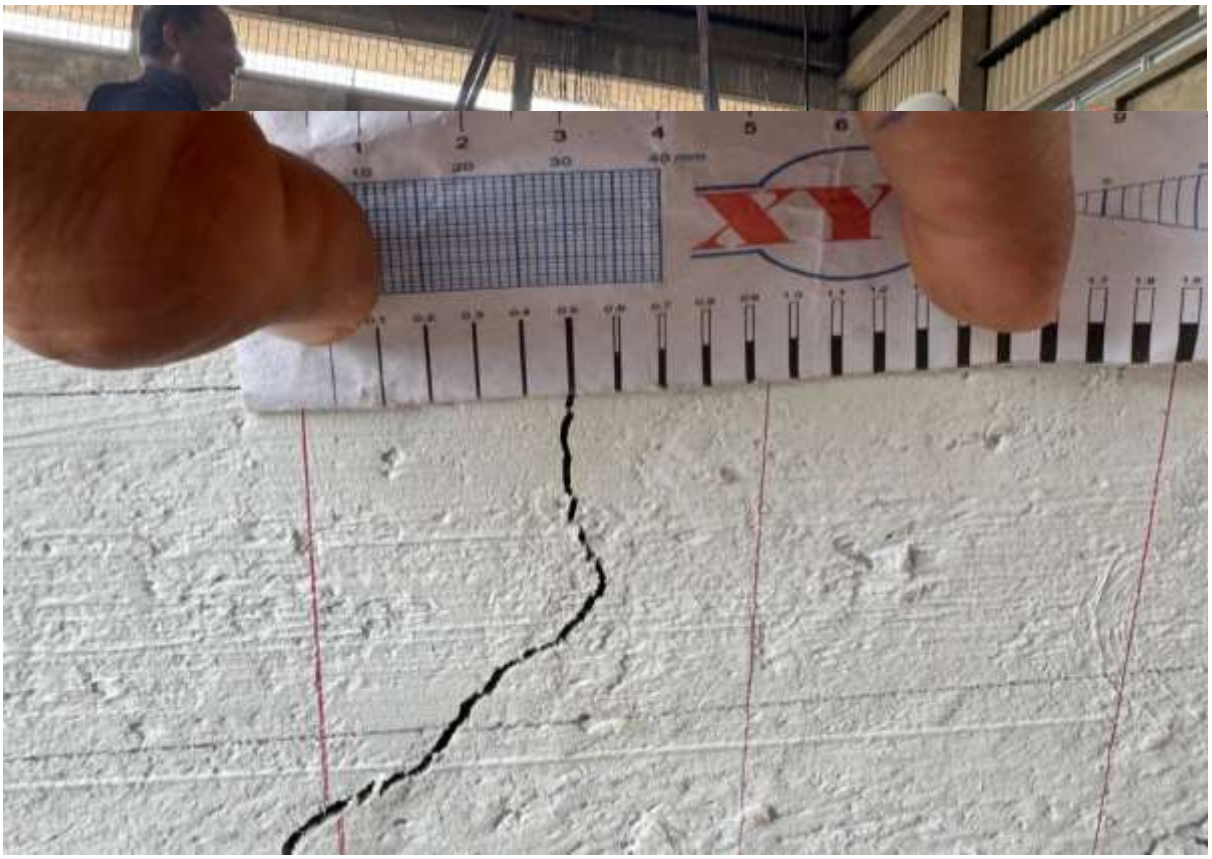


Imagen 40: *Control del agrietamiento, con un Fisurómetro*

Imagen 41: *Preparación de las probetas para el ensayo de módulo de elasticidad del mortero con fibras de polipropileno*



Imagen 42: *Ensayos a la compresión del mortero con fibras de polipropileno*

