

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Resistencia a flexión según ASTM C293 en pavimento rígido
con adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

AUTORA: Javier Danos, Ibeth Yesenia

ASESOR: Malpartida Valderrama, Yenerit Pamela

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Estructuras**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, Tecnología**Sub área:** Ingeniería civil**Disciplina:** Ingeniería del transporte**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 73141220

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22516875

Grado/Título: Magíster en Medio Ambiente y
Desarrollo Sostenible mención en gestión ambiental

Código ORCID: 0000-0003-2705-4300

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Narro Jara, Luis Fernando	Maestro en ingeniería con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	18206328	0000-0003-4008-7633
2	Valdivieso Echevarria, Martin Cesar	Maestro en gestión pública	22416570	0000-0002-0579-5135
3	Miraval Rojas, Biseth	Maestro en gestión y negocios, con mención en gestión de proyectos	47474699	0000-0001-5605-3003

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO(A) CIVIL**

En la ciudad de Huánuco, siendo las 18:00 horas del día viernes 03 de octubre de 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ MG. LUIS FERNANDO NARRO JARA	PRESIDENTE
❖ MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA	SECRETARIO
❖ MG. BISETH MIRAVAL ROJAS	VOCAL

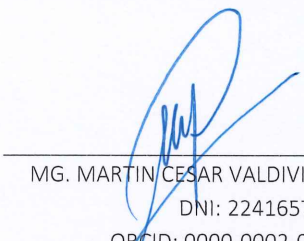
Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 1987-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: RESISTENCIA A FLEXIÓN SEGÚN ASTM C293 EN PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ”, presentado por el (la) Bachiller. Bach. Ibeth Yesenia JAVIER DANOS, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) Aprobado por Unanimidad con el calificativo cuantitativo de 13 y cualitativo de Suficiente (Art. 47).

Siendo las 7.15 p.m horas del día 03 del mes de octubre del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


MG. LUIS FERNANDO NARRO JARA
DNI: 18206328
ORCID: 0000-0003-4008-7633
PRESIDENTE


MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA
DNI: 22416570
ORCID: 0000-0002-0579-5135
SECRETARIO (A)


MG. BISETH MIRAVAL ROJAS
DNI: 47474699
ORCID: 0000-0001-5605-3003
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: JAVIER DANOS IBETH YESENIA, de la investigación titulada "RESISTENCIA A FLEXIÓN SEGÚN ASTM C293 EN PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ", con asesor(a) YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0304-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 22 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 21 de julio de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

97. Javier Danos Ibeth Yesenia.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

7%

2

[Submitted to Universidad Cesar Vallejo](#)

Trabajo del estudiante

2%

3

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

2%

4

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

2%

5

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.urp.edu.pe

Fuente de Internet

1%

7

repository.usta.edu.co

Fuente de Internet

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Con inmenso cariño y gratitud, dedico este trabajo a quienes han representado un pilar fundamental en mi camino, brindándome inspiración, apoyo y fortaleza durante todo mi proceso de formación, tanto en lo académico como en lo personal.

A mis padres, Cecinio Ledger Javier Berrospi y Francisca Danos Vigilio, por su esfuerzo incansable, sacrificio y amor incondicional. Gracias por ser el pilar fundamental de mi formación, por brindarme su apoyo inquebrantable y por enseñarme con su ejemplo el valor del trabajo, la perseverancia y la humildad. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

A mis hermanos, por estar siempre a mi lado, por ser mi compañía en los momentos difíciles y mi motivación en cada desafío. Su apoyo inquebrantable y la confianza que siempre me brindaron han sido esenciales para superar cada obstáculo en este camino.

A todos mis familiares y seres queridos, quienes con sus palabras de aliento, su cariño y su confianza en mis capacidades han sido parte de este proceso, les dedico este esfuerzo con gratitud y afecto.

Este trabajo también va dedicado a todas aquellas personas que, de una u otra manera, han formado parte de mi crecimiento personal y académico, dejando en mí enseñanzas valiosas que llevaré siempre conmigo.

A cada uno de ustedes, les dedico este logro con el más profundo respeto y aprecio.

AGRADECIMIENTO

Al concluir esta valiosa etapa en mi formación profesional, deseo manifestar mi más profundo reconocimiento a todas aquellas personas que, de una u otra forma, fueron clave en el desarrollo de esta tesis.

A mis padres, Cecinio Ledger Javier Berrospi y Francisca Danos Vigilio, por su amor incondicional, apoyo y esfuerzo constante. Su dedicación y confianza en mí han sido el soporte esencial en la construcción de mi camino profesional.

A mis hermanos, por su compañía, motivación y respaldo en cada paso de este proceso.

A la Universidad de Huánuco, por haber contribuido significativamente en mi preparación académica y por brindarme los medios necesarios para llevar a cabo este trabajo.

A mi asesora, por su guía constante y sus aportes significativos en el desarrollo de esta investigación, los cuales han sido valiosos para la culminación de esta tesis.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a todas las personas que, de una forma u otra, han sido parte de este logro, ofreciéndome su respaldo, motivación y confianza en el transcurso de este trayecto.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I.....	15
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	17
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	17
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.4.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL	18
1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	18
1.4.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	19
1.4.4. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	19
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.6.1. VIABILIDAD TEÓRICA.....	21
1.6.2. VIABILIDAD ECONÓMICA.....	21

1.6.3. VIABILIDAD TEMPORAL	22
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	23
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	25
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES	28
2.2. BASES TEÓRICAS	30
2.2.1. RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO	30
2.2.2. ENSAYO ASTM C293	34
2.2.3. PAVIMENTO RÍGIDO.....	35
2.2.4. FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO	38
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	40
2.4. HIPÓTESIS	44
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	44
2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA	44
2.5. VARIABLES.....	45
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	45
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	45
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	46
CAPÍTULO III.....	47
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	47
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	47
3.1.1. ENFOQUE.....	47
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	48
3.1.3. DISEÑO.....	48
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	48

3.2.1. POBLACIÓN	48
3.2.2. MUESTRA.....	49
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	50
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	50
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	51
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	51
CAPÍTULO IV.....	53
RESULTADOS.....	53
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	53
4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	63
4.2.1. HIPÓTESIS GENERAL	63
4.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1	67
4.2.3. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2	71
4.2.4. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3	75
CAPÍTULO V.....	80
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	80
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXOS.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	46
Tabla 2 Detalle del grupo de muestras seleccionadas.....	49
Tabla 3 Módulo de rotura del patrón a 28 días	53
Tabla 4 Media, desviación estándar y coeficiente de variación de la resistencia a la flexión del grupo patrón.....	53
Tabla 5 Módulo de rotura de vigas con 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a 28 días	55
Tabla 6 Media, desviación estándar y coeficiente de variación de la resistencia a la flexión del grupo con 1% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz	56
Tabla 7 Módulo de rotura de vigas con 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a 28 días	58
Tabla 8 Media, desviación estándar y coeficiente de variación de la resistencia a la flexión del grupo con 2% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz	58
Tabla 9 Módulo de rotura de vigas con 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a 28 días	60
Tabla 10 Media, desviación estándar y coeficiente de variación de la resistencia a la flexión del grupo con 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz.....	61
Tabla 11 Comparación de Valores del Grupo Patrón y los Grupos Experimentales	63
Tabla 12 Comparación de la Resistencia a la Flexión (kg/cm ²) del Grupo Patrón y Promedio con 1%, 2% y 3% de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	64
Tabla 13 Resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) para el grupo patrón y el promedio de los grupos con 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz	65
Tabla 14 Resultados de la prueba de Mann-Whitney para la comparación de la resistencia a la flexión entre el grupo patrón y el promedio de los grupos con 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz	66

Tabla 15 Comparación de Valores del Grupo Patrón y el Grupo con 1% de fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	67
Tabla 16 Comparación de la Resistencia a la Flexión (kg/cm ²) del Grupo Patrón y del grupo con 1%, de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	68
Tabla 17 Resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) para el grupo patrón y el grupo con 1% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz	69
Tabla 18 Resultados de la prueba de Mann-Whitney para la comparación de la resistencia a la flexión entre el grupo patrón y el grupo con 1% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz	70
Tabla 19 Comparación de Valores del Grupo Patrón y el Grupo con 2% de fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	71
Tabla 20 Comparación de la Resistencia a la Flexión (kg/cm ²) del Grupo Patrón y del grupo con 2%, de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	72
Tabla 21 Resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) para el grupo patrón y el grupo con 2% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz	73
Tabla 22 Resultados de la prueba de Mann-Whitney para la comparación de la resistencia a la flexión entre el grupo patrón y el grupo con 2% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz	74
Tabla 23 Comparación de Valores del Grupo Patrón y el Grupo con 3% de fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	75
Tabla 24 Comparación de la Resistencia a la Flexión (kg/cm ²) del Grupo Patrón y del grupo con 3%, de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	76
Tabla 25 Resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) para el grupo patrón y el grupo con 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz	77
Tabla 26 Resultados de la prueba de Mann-Whitney para la comparación de la resistencia a la flexión entre el grupo patrón y el grupo con 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diferencias en los ensayos de resistencia a flexión.....	31
Figura 2 Ensayo de resistencia a flexión uniaxial	32
Figura 3 Ensayo de resistencia a flexión uniaxial en dos puntos de carga ..	33
Figura 4 Variación de la resistencia a la flexión en las vigas patrón a 28 días	54
Figura 5 Variación de la resistencia a la flexión en las vigas con 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a 28 días	57
Figura 6 Variación de la resistencia a la flexión en las vigas 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a 28 días	59
Figura 7 Variación de la resistencia a la flexión en las vigas 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a 28 días	62
Figura 8 Variación de la Resistencia a la Flexión del Grupo Patrón y Promedio de 1%, 2% y 3% de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz a los 28 Días	64
Figura 9 Variación de la Resistencia a la Flexión del Grupo Patrón y del grupo con 1% de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz a los 28 Días ...	68
Figura 10 Variación de la Resistencia a la Flexión del Grupo Patrón y del grupo con 2% de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz a los 28 Días ...	72
Figura 11 Variación de la Resistencia a la Flexión del Grupo Patrón y del grupo con 3% de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz a los 28 Días ...	76
Figura 12 Adición del desmoldante a los moldes prismas rectangulares para vigas de 50 x 15 x 15 cm	98
Figura 13 Selección del agregado fino.....	98
Figura 14 Selección del agregado Grueso.....	99
Figura 15 Pesaje del agregado fino según el diseño de mezcla de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	99
Figura 16 Pesaje del agregado grueso según el diseño de mezcla de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	100
Figura 17 Pesaje del agua según el diseño de mezcla concreto para las vigas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$	100
Figura 18 Pesaje del cemento tipo I según el diseño de mezcla concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$	101

Figura 19 Pesaje de las adiciones de 1% y 2% de fibras de acero galvanizado en forma cruz.....	101
Figura 20 Pesaje de las adiciones de 3% de fibras de acero galvanizado en forma cruz.....	102
Figura 21 Adición del agregado fino al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$	102
Figura 22 Adición del agregado grueso al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$	103
Figura 23 Adición de agua al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y con adiciones de 1,2 y 3 % de fibra de acero galvanizado en forma de cruz	103
Figura 24 Adición del cemento al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y con adiciones de 1% ,2% y 3 % de fibras de acero galvanizado en forma cruz	104
Figura 25 Adición del 1% de fibra de acero galvanizado en forma cruz al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	104
Figura 26 Adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	105
Figura 27 Adición del 3 % de fibras de acero galvanizado en forma de cruz al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	105
Figura 28 Ensayo del SLUMP para determinar su asentamiento del concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$	106
Figura 29 Ensayo del SLUMP para determinar su asentamiento del concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$	106
Figura 30 Elaboración de vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con medidas de 50 x 15 x 15 cm patrón y con adición de 1, 2 y 3 % de fibra de acero galvanizado en forma de cruz	107
Figura 31 Proceso de fraguado de las vigas de concreto con una resistencia de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz.....	107
Figura 32 Muestra poblacional de las vigas de concreto	108

Figura 33 trazos de los apoyos para realizar el ensayo de resistencia a la flexión con una carga al centro ASTM C 293.....	108
Figura 34 Ensayo de resistencia a la flexión de Las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ a los 28 días de curado (Patrón)	109
Figura 35 Rotura de las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ a los 28 días de curado (Patrón).....	109
Figura 36 Ensayo de resistencia a la flexión de Las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adicción de 1% de la viruta metálica a los 28 días de curado	110
Figura 37 Rotura de las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adicción de 1% de fibra de acero galvanizado en forma cruz a los 28 días de curado	110
Figura 38 Ensayo de resistencia a la flexión de Las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adicción de 2% de fibra de acero galvanizado en forma cruz a los 28 días de curado.....	111
Figura 39 Rotura de las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adicción de 2% de fibra de acero galvanizado en forma cruz a los 28 días de curado	111
Figura 40 Ensayo de resistencia a la flexión de Las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición del 3% de fibra de acero galvanizado en forma cruz a los 28 días de curado.....	112
Figura 41 Rotura de las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición del 3% de fibra de acero galvanizado en forma cruz a los 28 días de curado	112

RESUMEN

La presente investigación está orientada en analizar el incremento de la resistencia a la flexión en pavimentos rígidos mediante la inclusión de fibras de acero galvanizado dispuestas en forma de cruz. La resistencia a la flexión constituye un aspecto esencial en el diseño de pavimentos, pues incide directamente en su durabilidad y en la seguridad estructural que brindan. Para ello, se llevaron a cabo ensayos en vigas de concreto reforzadas con fibras de acero galvanizado en forma de cruz, en proporciones equivalentes al 1%, 2% y 3% del peso del agregado grueso seco, aplicando el método establecido por la norma ASTM C293 en Huánuco - 2024.

Se evaluaron las características mecánicas del concreto y se diseñaron mezclas con distintas concentraciones de fibras metálicas dispuestas en forma de cruz. Posteriormente, se realizaron ensayos de flexión en laboratorio para determinar la carga máxima soportada por las vigas y calcular su módulo de rotura.

Los valores obtenidos reflejan que al incorporar fibras metálicas de acero galvanizadas dispuestas en forma de cruz en la matriz del concreto mejoró significativamente la capacidad a esfuerzos de flexión. Los resultados de las medias de resistencia obtenidos fueron de 51.08 kg-f/cm² con 1% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz, 52.37 kg-f/cm² con 2% y 54.17 kg-f/cm² con 3%, superando la media del patrón sin refuerzo, que fue de 50.92 kg-f/cm².

Se determinó que la incorporación de fibras de acero galvanizadas en forma de cruz constituye un refuerzo mecánico eficaz, incrementando la resistencia a la flexión del concreto y limitando la formación de grietas, lo que favorece una mayor durabilidad de los pavimentos rígidos.

Palabras clave: módulo de rotura, Pavimento rígido, resistencia a flexión, fibras de acero galvanizadas en forma de cruz, ASTM C293.

ABSTRACT

This research is aimed at analyzing the increase in flexural strength in rigid pavements through the inclusion of galvanized steel fibers arranged in a cross shape. Flexural strength is an essential aspect in pavement design, as it directly affects durability and the structural safety they provide. To this end, tests were carried out on concrete beams reinforced with galvanized steel fibers arranged in a cross shape, in proportions equivalent to 1%, 2%, and 3% of the weight of dry coarse aggregate, applying the method established by ASTM C293 in Huánuco - 2024.

The mechanical characteristics of the concrete were evaluated and mixtures were designed with different concentrations of metallic fibers arranged in a cross shape. Subsequently, flexural tests were conducted in the laboratory to determine the maximum load supported by the beams and calculate their modulus of rupture.

The results show that incorporating galvanized steel fibers arranged in a cross shape into the concrete matrix significantly improved the flexural performance. The mean resistance values obtained were 51.08 kg-f/cm² with 1% galvanized steel fiber in cross shape, 52.37 kg-f/cm² with 2%, and 54.17 kg-f/cm² with 3%, exceeding the mean of the unreinforced pattern, which was 50.92 kg-f/cm².

It was determined that the incorporation of galvanized steel fibers arranged in a cross shape constitutes an effective mechanical reinforcement, increasing the flexural strength of the concrete and limiting crack formation, which favors greater durability of rigid pavements.

Keywords: modulus of rupture, Rigid pavement, flexural strength, cross-shaped galvanized steel fibers, ASTM C293, modulus of rupture.

INTRODUCCIÓN

El pavimento rígido es una de las alternativas constructivas más utilizadas en infraestructura vial debido a su alta resistencia y durabilidad. Sin embargo, su desempeño estructural se ve afectado por las cargas vehiculares y los factores climáticos, lo que puede generar grietas y fallas prematuras. La resistencia a flexión es un indicador fundamental en el diseño estructural de pavimentos, debido a su influencia directa del concreto para soportar esfuerzos de tracción en su vida útil.

A lo largo de los años, la incorporación de refuerzos en el concreto ha sido una alternativa efectiva para el mejoramiento de las características mecánicas. Entre estos refuerzos, las fibras de acero han demostrado ser una alternativa viable, debido a que contribuyen al aumento de la resistencia del concreto ante esfuerzos de flexión y reducen la propagación de fisuras, prolongando la durabilidad del pavimento. En particular, las fibras de acero galvanizado en forma de cruz han despertado interés por su capacidad para optimizar la distribución de esfuerzos dentro del concreto y mejorar su desempeño estructural.

Este estudio tiene como objetivo analizar cómo influye la adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz en la resistencia a flexión del pavimento rígido, siguiendo la norma ASTM C293. Para ello, se analizaron vigas de concreto diseñadas con diferentes concentraciones de fibras (1%, 2% y 3%) y se compararon con vigas sin refuerzo. Se realizaron pruebas experimentales de laboratorio a los 28 días de curado para determinar el módulo de rotura de cada muestra de ensayo evaluada.

Los resultados obtenidos en esta investigación permitirán establecer criterios técnicos relacionados con la utilización de fibras de acero galvanizado en forma de cruz para la edificación de superficies viales más resistentes y duraderos. Además, se busca aportar a la base científica del área de la ingeniería y proponer soluciones innovadoras para optimizar el desempeño estructural del pavimento rígido. La implementación de este tipo de refuerzo representar una alternativa económica al reducir los costos de mantenimiento y al aumento el periodo funcional de las vías, beneficiando la infraestructura vial y la movilidad urbano.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La tecnología de materiales del concreto para pavimentos ha avanzado significativamente a lo largo de los años. Inicialmente, se consideraba solo la composición básica del concreto, pero con el tiempo, la investigación se ha centrado en incrementar las características mecánicas de este material fundamental en la construcción civil. Actualmente, se estudia ampliamente la incorporación de nuevas fibras orgánicas e inorgánicas como refuerzo estructural del concreto. Algunas de estas fibras ya se han industrializado y se emplean en múltiples obras, proporcionando mejoras notables en el desempeño del concreto.

El acero galvanizado en forma de fibras es un material utilizado en Latinoamérica debido a su capacidad del concreto para resistir cargas flexionales. Según Goytia (2023), el acero galvanizado no solo refuerza el concreto, sino que también reduce significativamente el agrietamiento. Las fibras de acero galvanizado, pertenecientes al tipo de fibras inorgánicas, ofrecen mayores beneficios para el concreto en comparación con las fibras plásticas y sintéticas, que se limitan principalmente a mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

La ingeniería vial también ha demostrado grandes avances en la investigación y aplicación de tecnologías para el desarrollo de pavimentos. Esto se evidencia en la apertura de nuevas trochas, caminos vecinales y expansiones, pero el mantenimiento de los pavimentos existentes se encuentra descuidado. El estado actual de muchas carreteras en nuestro país, se puede evidenciar un déficit de vías pavimentadas. Esto se debe a una mala gestión por parte de las autoridades competentes (Lara, 2023).

Los pavimentos en la ciudad de Huánuco no son ajenos a esta realidad. En un recorrido por sus alrededores se puede observar que presentan daños superficiales, cuyo origen es variado, y a menudo no se realiza el

mantenimiento adecuado, lo que afecta la durabilidad y funcionalidad de las vías.

El pavimento rígido es ampliamente utilizado en infraestructura vial gracias a su notable capacidad para resistir cargas pesadas y su durabilidad. Sin embargo, los esfuerzos a flexión generados por el tráfico y las condiciones ambientales pueden causar grietas y fallas estructurales, la duración operativa del pavimento y aumento de los costos por conservación y reparación. Se ha comprobado que la incorporación de fibra de acero galvanizado en la matriz del concreto ha demostrado incrementar sus características mecánicas, en particular su capacidad estructural frente a cargas de flexión.

Específicamente, la utilización de elementos como fibras de acero galvanizadas en forma de cruz dentro de la mezcla de concreto podría ofrecer ventajas adicionales debido a su geometría única, que podría mejorar aún más la distribución de esfuerzos y la resistencia a la propagación de grietas.

No obstante, existe una falta de investigación específica sobre el impacto de estas fibras en el pavimento rígido para soportar cargas de flexión, evaluada según el estándar ASTM C293. Esta norma proporciona un método estandarizado para evaluar la resistencia a flexión, pero su aplicación en pavimentos que incluyen refuerzo con este tipo de fibras no ha sido suficientemente explorada.

La presente investigación buscó incrementar el comportamiento del concreto rígido para soportar cargas de flexión en estructuras viales mediante la incorporación de fibras de acero galvanizadas en forma de cruz como refuerzo estructural en la matriz del concreto. Este enfoque no solo permitió optimizar el comportamiento estructural de los pavimentos, sino que también exploró la viabilidad de incorporar fibras de acero con geometría en cruz como alternativa parcial al uso de agregado grueso dentro de la mezcla estructural del concreto.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

PG: ¿Cuál es la incidencia de la adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz en la resistencia a flexión según la ASTM C293 en el pavimento rígido, Huánuco - 2024?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

PE1: ¿De qué manera influye la adición del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco de la resistencia a flexión del concreto para pavimento rígido?

PE2: ¿De qué manera influye la adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido?

PE3: ¿De qué manera influye la adición del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

OG: Determinar la incidencia de la adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz en la resistencia a la flexión según la ASTM C293 en el pavimento rígido, Huánuco - 2024.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1: Determinar la influencia de la adición del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

OE2: Determinar la influencia de la adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

OE3: Determinar la influencia de la adición del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este estudio encuentra fundamento en los aspectos que se detallan a continuación:

1.4.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

El desarrollo de pavimentos más duraderos y resistentes, mediante la integración en la mezcla de concreto de fibras de acero galvanizadas en forma de cruz como refuerzo, genera un impacto directo en la sociedad, ya que contribuye al fortalecimiento de la infraestructura vial. Una mejora en la resistencia estructural del concreto puede traducirse en una reducción significativa de los costos de mantenimiento, una mayor seguridad vial y una mejor movilidad urbana.

Además, en muchas regiones del país, especialmente en zonas con condiciones climáticas agresivas o con tránsito frecuente, el pavimento rígido suele deteriorarse prematuramente. Esta investigación, al explorar una innovación técnica, puede ser una base para futuras aplicaciones en vías urbanas e interurbanas, contribuyendo indirectamente a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Este estudio se sustenta considerando investigaciones previas que han demostrado que el concreto presenta una mejora en su comportamiento estructural al incluir fibras metálicas, especialmente en cuanto a su capacidad para resistir cargas de flexión. La aplicación de la norma ASTM C293 proporciona un marco técnico confiable y estandarizado para evaluar esta propiedad, lo cual fortalece la validez del enfoque experimental utilizado.

Además, se introduce una innovación particular: la aplicación de fibras de acero galvanizado con geometría de cruz, que mejora el anclaje interno y la distribución de esfuerzos dentro del concreto. Esta configuración podría representar un aporte teórico valioso al conocimiento técnico en pavimentos reforzados, al diferenciarse de las fibras tradicionales rectas.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La presente investigación se llevó a cabo bajo condiciones de laboratorio controladas, lo cual permitió aislar variables, realizar mediciones precisas y aplicar ensayos conforme a la normativa ASTM C293. Esta metodología experimental facilita la replicabilidad del estudio y aporta resultados aplicables en contextos reales, a través de futuras validaciones de campo.

Asimismo, el enfoque práctico no dependió de factores económicos o institucionales, lo que resalta su factibilidad. Los resultados obtenidos pueden orientar decisiones técnicas en el diseño de mezclas para pavimento rígido, promoviendo soluciones más resistentes y sostenibles.

1.4.4. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La metodología empleada está respaldada por normas técnicas internacionales (como la ASTM C293) y por un diseño cuasi experimental que garantizó la obtención de datos fiables. Se seleccionaron proporciones específicas de fibras de acero galvanizado con geometría de cruz (en proporciones del 1%, 2% y 3% respecto a la masa del agregado grueso seco), lo que permitió comparar su influencia en la capacidad a esfuerzos de flexión.

Además, el diseño cuasi experimental permitió controlar condiciones de curado, evaluar resultados con criterios estadísticos e interpretar los datos con rigurosidad. Esto demuestra que la metodología fue adecuada tanto en términos técnicos como en función de los objetivos de la investigación, validando así el enfoque propuesto.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación, al haberse desarrollado bajo condiciones controladas de laboratorio, presenta algunas limitaciones inherentes a su diseño cuasi experimental. A continuación, se detallan:

- Los análisis sobre la capacidad de resistir cargas de flexión se realizaron tras completar 28 días de curado, lo que implicó un tiempo de espera aproximado de un mes para la obtención completa de resultados experimentales.
- El acero galvanizado utilizado fue adquirido en una ferretería local, lo cual garantizó cierta uniformidad. Sin embargo, su transformación manual en fibras en forma de cruz representó un costo adicional y un proceso artesanal que podría diferir en una eventual aplicación a gran escala.
- El estudio se enfocó exclusivamente en analizar la capacidad de resistir cargas de flexión del concreto con refuerzo a base de fibras metálicas de acero galvanizado en condiciones de laboratorio. No se efectuó una validación directa en escenarios reales de tránsito o condiciones ambientales, por lo que los resultados deben ser extrapolados con cautela.
- No se evaluaron otras características mecánicas complementarias, como resistencia a compresión, durabilidad, comportamiento frente a ciclos térmicos o retracción, las cuales también influyen en el desempeño del pavimento rígido.
- Debido a limitaciones presupuestarias, no fue posible incluir una fase piloto en obra, lo cual restringe la validación estructural del material en condiciones reales de uso.
- Finalmente, los resultados obtenidos se basan en materiales y condiciones propias de la región donde se desarrolló el estudio. Por tanto, su aplicabilidad a otros contextos geográficos o con diferentes materiales requerirá estudios adicionales.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación fue viable, ya que parte de una problemática real en la infraestructura vial, enfocándose en la optimización de pavimentos rígidos

mediante la integración en el concreto fibras metálicas de acero galvanizado con geometría de cruz. El mal estado de los pavimentos genera un impacto negativo en la movilidad y seguridad vial, lo que hace que este estudio tenga un alto grado de aplicabilidad.

Además, la investigación presenta viabilidad desde diversas perspectivas, como la teórica, económica, práctica, social, ambiental y metodológica, lo que refuerza su relevancia y potencial impacto en el desarrollo profesional en ingeniería civil. A continuación, se detallan estos:

1.6.1. VIABILIDAD TEÓRICA

El estudio se fundamenta en antecedentes internacionales, nacionales y locales que respaldan el uso de refuerzos metálicos como fibras de acero en elementos estructurales del pavimento rígido. Además, se basa en normativas reconocidas como la ASTM C293, lo que garantiza que los procedimientos empleados sean metodológicamente sólidos y validados en el ámbito de la ingeniería estructural.

La exploración de nuevas aplicaciones de refuerzos de acero galvanizado contribuye al avance del conocimiento técnico y científico, ofreciendo una alternativa innovadora, buscando mejorar el desempeño estructural del concreto rígido al resistir solicitaciones de flexión en pavimentos.

1.6.2. VIABILIDAD ECONÓMICA

La investigación se realizó con recursos propios del investigador, lo que garantizó la disponibilidad de fondos para adquirir los materiales y la ejecución del ensayo del laboratorio. Si bien la incorporación de fibras metálicas de acero galvanizado para la construcción de pavimentos podría representar un costo adicional, su implementación podría generar beneficios a largo plazo al reducir la necesidad de mantenimiento frecuente e incrementar el periodo de servicio de las carreteras.

1.6.3. VIABILIDAD TEMPORAL

La investigación se enfocó en un análisis experimental específico sobre la resistencia estructural ante cargas de flexión en vigas de concreto, lo que permitió una planificación eficiente y una adecuada gestión del tiempo y los recursos.

Al delimitar el alcance del estudio al análisis de la capacidad a esfuerzos de flexión, se evitaron costos y tiempos asociados a estudios más amplios sobre otras propiedades mecánicas del concreto. Esta estrategia aseguró que la investigación se realizara dentro de los plazos establecidos y con los recursos disponibles.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Flor Chávez et al. (2019), en su investigación titulada “Determinación de cantidad óptima de Fibra de Acero para la elaboración de Hormigón de Cemento Portland para losas de Pavimentos Rígidos”, realizado en Ecuador, en la Universidad de Guayaquil, donde el objetivo principal fue probar el comportamiento físico-mecánico del concreto de $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con la incorporación de fibra Dramix en probetas cilíndricas y vigas, se empleó distintas cantidades de adición con distintas dosificaciones, como: 5, 10, 20, 30 y 40 kilogramos de fibras, además de emplearse la normativa ACI y probar el HRFA (Hormigón Reforzado con Fibras de Acero). Esta investigación está basada en el estudio de pavimentos rígidos, se realizaron las respectivas pruebas durante las etapas de ensayo en sus estados plástico y endurecido, en especímenes de forma cilíndrica y prismática, obteniendo como primera conclusión que la cantidad óptima para incorporar fibras metálicas de acero es de 20 kg/m^3 , cabe recalcar que se trabajó con el Módulo de Ruptura equivalente a 4.5 MPa. Como segunda conclusión se tiene que la capacidad para resistir cargas de compresión entre la mezcla convencional y la composición con fibras no tiene un incremento considerable sino mínimo, lo cual es todo lo contrario frente a la resistencia del concreto ante cargas de flexión, ya que las probetas con refuerzo metálico crecen considerablemente respecto a las convencionales, como tercera conclusión se tiene que las probetas con fibras reforzadas impiden la falla total del elemento estructural, ya que causa un efecto de cosido en el interior de la estructura.

Carrillo et al. (2020), en su investigación titulada: “Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de

acero”, publicado en la revista Ingeniería Investigación y Tecnología de la Universidad Militar Nueva Granada en Bogotá - Colombia, su objetivo principal es el empleo de material cementicio estructurado con fibras de acero (CRFA) como soporte frente a esfuerzos cortantes de muros de mezcla de concreto usada en viviendas sociales, se realizó el estudio en laboratorio para lo que se emplearon 128 especímenes tanto de cilindros y vigas y basándose en la ACI-318 empleando fibras Dramix, se emplearon cinco dosificaciones distintas, como 0, 40, 45, 60 y 75 kg/m³, se analizaron las propiedades estructurales del mortero de concreto con refuerzo de fibras metálicas de acero, obteniendo como primera conclusión que la fluidez de la mezcla estructural disminuye de acuerdo al incremento de la proporción de las fibras, como segunda conclusión se obtienen que la relación entre la resistencia del concreto frente a cargas compresivas disminuye conforme aumenta la proporción de porcentaje de fibras metálicas de acero, como tercera conclusión se tiene que las fibras metálicas galvanizadas producen un efecto de confinamiento que actúa bajo compresión, además que mientras aumenta la cantidad de fibras metálicas de acero, el concreto se vuelve menos resistente pero soporta mayor deformación axial de compresión.

Camarena y Díaz (2022) en su investigación titulada: “Análisis comparativo de la resistencia a compresión, flexión y trabajabilidad del concreto tradicional versus un concreto utilizando escoria de acero como agregado fino”, publicada en la revista Gaceta Técnica de Venezuela, su objetivo principal es determinar la influencia de la escoria de acero en el concreto $f'_c=210$ kg/cm² en las características mecánicas del concreto, la sustitución de las proporciones que se trabajaron fueron de 10%, 15% y 20% respecto al agregado fino, después de realizadas las pruebas pertinentes en el laboratorio se tuvo como primera conclusión que la dosificación óptima de 10% de escoria de acero brinda un mantenimiento de una capacidad compresiva equivalente $f'_c=210$ kg/cm², mientras que las otras proporciones fueran perjudiciales, como segunda conclusión se tiene que la resistencia frente a esfuerzos flectores mejora con la proporción de 10%, y que las proporciones de

15% y 20% son perjudiciales a esta propiedad mecánica, como tercera conclusión se tiene que al trabajar con la proporción de 10% de escoria de acero la trabajabilidad se mantiene y no se afecta negativamente, lo cual permite interacción adecuada durante la elaboración del concreto.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Vargas y Yataco (2020), en su investigación titulada: “Efecto de las fibras de acero y polipropileno en la resistencia a la flexión del concreto para pavimentos rígidos”, tesis de pregrado realizado en la Universidad Ricardo Palma, Lima, el objetivo principal fue analizar cómo influye las fibras de acero y polipropileno en el comportamiento a flexión del concreto y fisuración del mismo para pavimentos rígidos, la investigación amerito ensayos en laboratorio, ya que se elaboraron probetas con diferentes dosificaciones empleando fibras metálicas de acero y de polipropileno, después de los ensayos y estudios correspondiente se tuvo como primera conclusión que la máxima resistencia estructural ante cargas de flexión en el mortero del concreto con adición de fibras de acero galvanizado fue de 37% con una proporción ideal de 37 kg/m³, como segunda conclusión se concretó que la máxima capacidad a esfuerzos de flexión del concreto mejorado mediante la utilización de fibras de polipropileno fue del 18% con una proporción ideal de 5 kg/m³, como tercera conclusión se obtuvo que las dosificaciones mayores a 47 kg/m³ de fibra de acero y 7.80 kg/m³ de refuerzo de polipropileno conlleva una disminución en la capacidad flexural del concreto, ya que al incrementarse el porcentaje de fibras, se reduce la trabajabilidad de la mezcla y como cuarta conclusión los pavimentos construidos con concreto reforzado mediante fibras metálicas de acero podrían generar ahorros de hasta 18% frente a las losas reforzadas con mallas metálicas y losas reforzadas con polipropileno pueden llegar a ser un 25% más asequibles que las reforzadas con mallas metálicas.

Dueñas y Villanueva (2019), en su investigación titulada: “Diseño de pavimento rígido con incorporación de fibras de acero en, Av. Los Héroes, San Juan de Miraflores”, tesis de pregrado realizado en la

Universidad César Vallejo, Lima, el objetivo principal era el diseño de un pavimento flexible partir de un pavimento rígido fibra reforzada con acero y emplearlo en el mejoramiento de la carretera en Lima, para las pruebas de laboratorio se emplearon distintas dosificaciones de fibras de acero como 20, 30 y 40 kg/m³ con relación al volumen del concreto. Después de los ensayos pertinentes en laboratorio se tiene como primera conclusión que al usar refuerzos de acero en el mortero del concreto se genera un gran aumento en el desempeño mecánico a compresión y la dosificación que obtuvo una resistencia de $f'_c=320.00$ kg/cm² fue la de 40 kg/cm³ lo cual significa que obtuvo un 1.7% en incremento en la resistencia a cargas axiales comparado con el concreto tradicional, como segunda conclusión se tiene que la incorporación de fibras metálicas en la mezcla de concreto si modifica los parámetros técnicos de diseño en los pavimentos rígidos, ya que con una dosificación de 1.7% de acero fibroso cumplen satisfactoriamente con la Norma EHE-08 lo cual ratifica su función estructural, como tercera conclusión se tiene que la cantidad de 40 kg/cm³ de fibra de acero mantiene una adecuada trabajabilidad, ya que según la prueba del slump esta mezcla obtuvo 5".

Moreno y Ramírez (2021), en su investigación titulada "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas en un concreto adicionando 1% y 3% alambre galvanizado, Huaraz, 2021", investigación de pregrado realizado en la Universidad César Vallejo, Huaraz - Perú, tiene como objetivo principal la incorporación de alambre galvanizado a un concreto diseñado para resistir $f'_c=210$ kg/cm² de carga axial y posteriormente analizar su resistencia a flexión de acuerdo a sus dos dosificaciones de 1% y 3%, para los ensayos en condiciones controladas en laboratorio se emplearon viguetas de concreto, Después de realizar los ensayos se concluyó como primera conclusión que la viga reforzada con 1% de alambre galvanizado mejoró su resistencia a flexión, alcanzando 56.44 kg/cm² , y la mezcla de concreto con 3% de contenido de alambre galvanizado obtuvo 52.58 kg/cm² y el concreto patrón obtuvo 44.81 kg/cm², como segunda conclusión la mezcla de concreto con 3% de alambre galvanizado obtuvo una capacidad de soportar cargas de

flexión de 52.58 kg/cm². Como tercera conclusión se tiene que las combinaciones de concreto reforzado con fibras metálicas de acero de 1% y 3% obtuvieron mejores resistencias a flexión que el concreto con 0% de alambre galvanizado.

Toribio y Ugaz (2021), en su investigación titulada: “Evaluación del concreto reforzado con fibras de acero recicladas para mejorar las propiedades de un pavimento rígido” investigación realizada en la Universidad San Martín de Porres - Lima- Perú, esta investigación tuvo como objetivo la evaluación del uso de la mezcla de concreto con refuerzo de Fibra de Acero Recicladas (FAR) en las características mecánicas de una losa rígida, para la realización de esta investigación se emplearon llantas viejas de donde se obtuvieron las fibras de acero y se trabajó con dosificación del 1%, 1.5% y 2% respecto al peso del concreto, luego de las pruebas pertinentes en campo se obtuvieron las siguientes conclusiones, como primera se tiene que la adición de FAR si ayuda mejorar las características mecánicas del concreto, tales como el MR (módulo de rotura) y EC (esfuerzo a compresión), como segunda conclusión se tiene que la proporción óptima es la que contiene 2% de FAR, ya que el MR se incrementó en 19.42% y la EC se incrementó en 8.51% frente al concreto convencional.

Juárez Viera et al. (2023), en su investigación titulada: “Utilización de fibras de acero reciclado para mejorar el comportamiento estructural del pavimento rígido” investigación publicada en la revista “Universidad, Ciencia y Tecnología” en Lima - Perú, el objetivo de esta investigación es determinar el uso de fibras de acero reciclado en la mejora estructural del pavimento rígido, para la ejecución de esta investigación, se realizó una metodología de un pavimento y se emplearon tres proporciones de 2%, 4% y 6% de acero reciclado, se emplearon 24 especímenes para la etapa de pruebas de laboratorio y se obtuvieron las siguientes conclusiones, primero que según la normativa AASHTO 93 el grosor de la losa resultó de 19 cm y 20 cm en la subbase, alcanzando 253.04 kg/cm² de resistencia a compresión y proyectando una durabilidad de 20 años, como segunda conclusión

se tiene que los refuerzos de acero reciclado si mejora la capacidad compresiva del concreto reforzado y el más favorable fue la proporción de 6% que logró una capacidad de carga a compresión de 253.04 kg/cm² y en comparación a la mezcla convencional tuvo una mejora de 14.28%, como tercera conclusión se tiene que la incorporación de fibras metálicas recicladas afecta el manejo práctico de la mezcla, ya que en la dosificación de 7.62 kg/m³ presentó un asentamiento de 2.70" y en la dosificación de 22.86 kg/m³ tuvo un slump de 1.98" lo cual es una mezcla rígida con limitada trabajabilidad y la diferencia del slump frente al concreto estándar es de 46.49%.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

Espinoza y Arquíñigo (2022), en su investigación titulada: "Evaluación de la resistencia a flexión para un pavimento rígido $f'c=280$ kg/cm², con la adición de fibra de acero y macrofibra de polipropileno frente al diseño tradicional en la ciudad de Huánuco - 2021" investigación de pregrado realizada en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán - Huánuco, esta investigación tuvo como objetivo la evaluación de la resistencia a flexión de un pavimento rígido de $f'c=280$ kg/cm² con la incorporación de tres proporciones distintas de fibras de acero 10, 20 y 30 kilogramos, a la vez también se añadió macrofibras de polipropileno en 4, 6 y 8 kilogramos y se comparó con el concreto tradicional, con el propósito de este estudio se realizaron pruebas experimentales en laboratorio con 84 especímenes prismáticos de 0.15 m x 0.15m x 0.50 m, se empleó la normativa ASTM C78 y NTP 339.078 con el fin de analizar la capacidad del material frente a cargas de flexión en vigas, donde se obtuvieron las siguientes conclusiones; como primera conclusión se tuvo que tanto la fibra metálica y de polipropileno son recursos que son óptimos para el concreto ya que tienen un comportamiento mecánico adecuado y mejoran la capacidad del concreto para resistir cargas de flexión en dosificaciones correctas, como segundo hallazgo, se identificó que el pavimento rígido con 20 kg de componentes de acero presenta capacidad mejorada frente a cargas

de flexión, logrando un 8.71% de mejora frente al concreto convencional, como tercera conclusión se tienen que la proporción de 6 kg de macrocomponentes fibrosos de polipropileno evidencia un incremento de 18.63% de resistencia a flexión frente al concreto convencional, como cuarta conclusión se tiene que el costo de una mezcla de concreto elaborado con fibras supera al concreto tradicional, pero en campo se podría evitar la colocación de varillas transversales y longitudinales, como quinta conclusión se tiene que el valor de la composición del concreto elaborado con macrofibras de polipropileno es mucho más accesible que el fabricado con fibras de acero.

Mallqui (2023), en su investigación titulada: “Análisis de resistencia a la flexión del concreto en pavimentos rígidos con adición de fibras de caucho reciclado. Pillco Marca, Huánuco-2023”, investigación realizada en la Universidad Nacional Hermilio Valdizan en Huánuco, donde el objetivo principal fue estudiar la resistencia a flexión del concreto en pavimentos rígidos incorporando fibra de caucho reciclado, este material se adicionó en porcentajes de 4.5%, 9% y 13.5% respecto al volumen total de concreto, el diseño consideró una resistencia a compresión especificada de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, para las pruebas experimentales se elaboraron 126 vigas prismáticas y 126 especímenes cilíndricos, debido a que también se trabajó con distinto tamaño de agregado grueso ($\frac{1}{2}$ ” y $\frac{3}{4}$ ”), luego de las respectivas pruebas de laboratorio se llegó a las siguientes conclusiones; como primera conclusión se tuvo que el asentamiento de concreto es directamente proporcional al porcentaje de fibras de caucho reciclado, ya que mejora su trabajabilidad, como segunda conclusión se tiene que la capacidad de resistencia esfuerzos de flexión aumenta hasta en 10% en comparación a la composición del concreto convencional, como tercera conclusión se tienen que los tres porcentajes que se trabajaron en relación a las fibras de caucho (4.5%, 9% y 13.5%) tienen efectos muy positivos y mejoran la capacidad de resistir esfuerzos de flexión y compresión.

2.2. BASES TEÓRICAS

La presente investigación se fundamenta en estudios previos que han abordado la resistencia frente a cargas de flexión en concreto con refuerzo de fibras metálicas, la aplicación de la normativa ASTM C293 y la utilización de pavimentos rígidos en infraestructura vial. Investigaciones recientes han evidenciado que el uso de fibras metálicas de acero puede aumentar tanto la resistencia como la durabilidad del concreto (Carrillo et al., 2020; Juárez Viera et al., 2023). Asimismo, la implementación de normativas internacionales garantiza la fiabilidad de los ensayos en el campo de la ingeniería civil (ASTM, 2018).

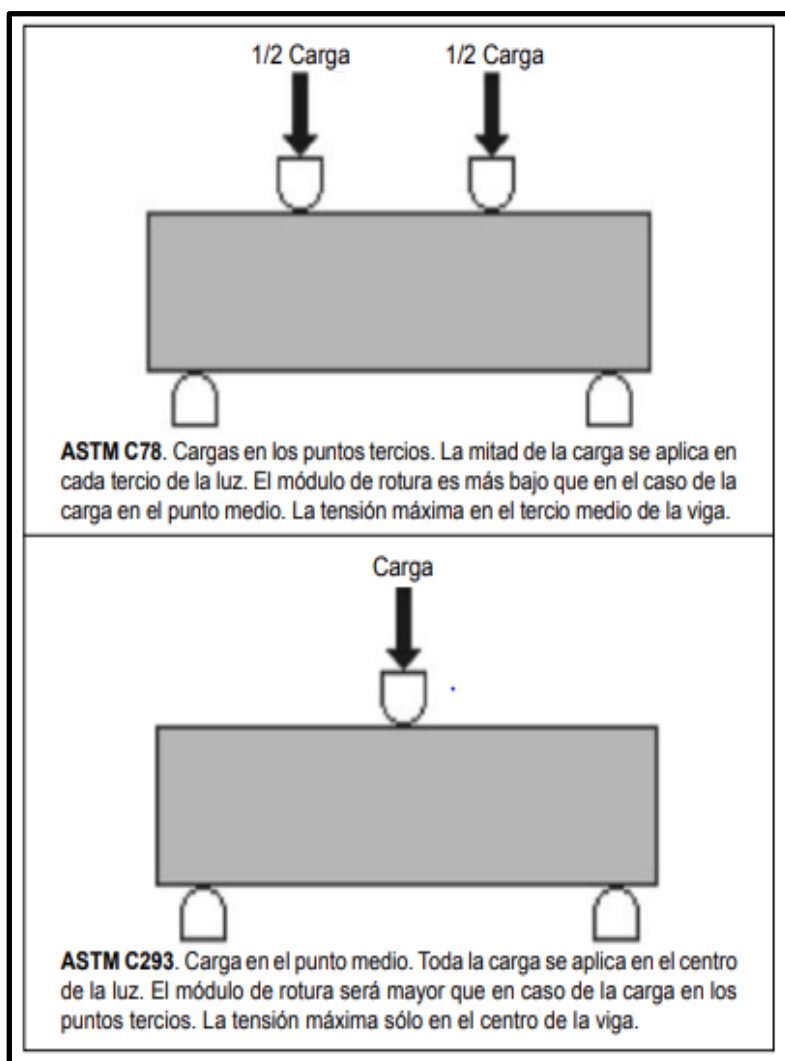
2.2.1. RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO

Según la Asociación Nacional de Concreto Premezclado, con su denominación en inglés National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2017), la capacidad estructural frente a flexión corresponde a la magnitud que permite cuantificar la resistencia del concreto frente a esfuerzos de tracción, así como de identificar rotura por momento en las vigas de concreto. Generalmente, estas vigas deben tener una dimensión de 0.15 m x 0.15 m y con una separación mínima equivalente a tres veces su espesor.

La capacidad a flexión, denominada también como módulo de rotura (MR), se expresa en megapascuales (MPa) y se determina a través de pruebas experimentales en laboratorio bajo normativas estandarizadas como la ASTM C78 (carga en puntos tercios) y la ASTM C293 (carga en punto medio) (NRMCA, 2017).

Figura 1

Diferencias en los ensayos de resistencia a flexión



Nota. La figura muestra diferencias en los ensayos de resistencia a flexión de las normas ASTM C78 y la ASTM C293.

Fuente: (NRMCA, 2017).

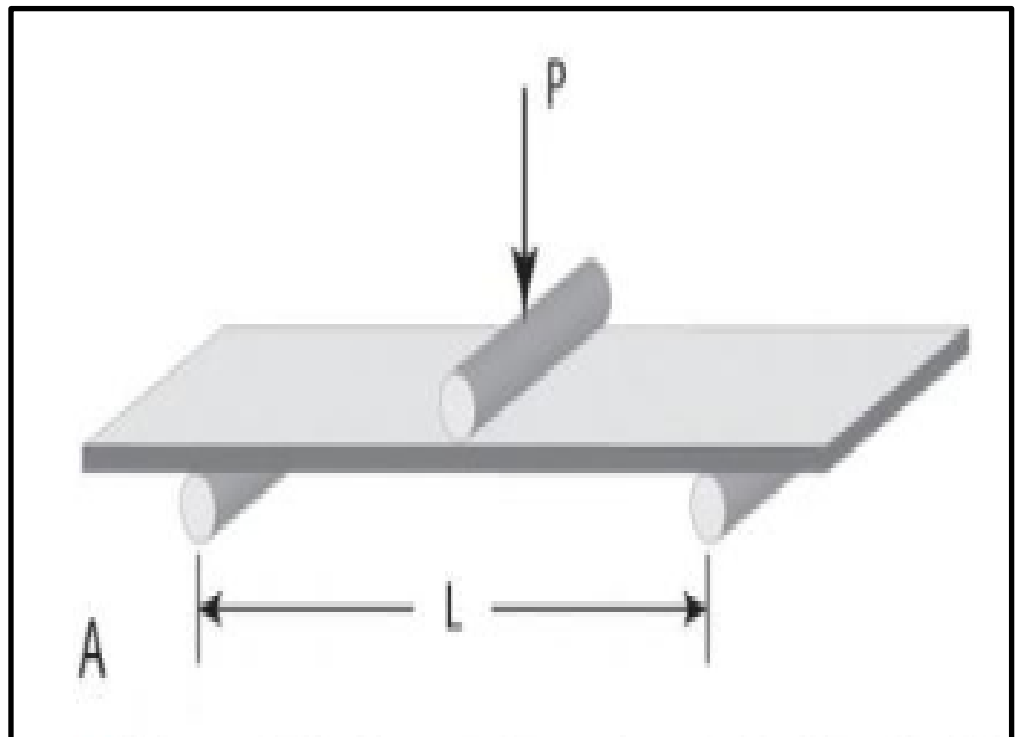
Según Shen et al. (2022), la resistencia a flexión es una magnitud que cuantifica la respuesta de un material sometido a flexión. El ensayo consiste en apoyar una barra de extremo a extremo o utilizar un disco con soportes en círculos pequeños y someterlo a una carga constante. La tensión de tracción se ubica en la superficie inferior de la muestra, provocando una fractura. Cuando el ensayo se realiza en una barra, se define como módulo de rotura o resistencia flexional bajo carga uniaxial.

a) ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

El ensayo de flexión es relevante en el proceso de diseño de pavimentos, ya que los resultados del ensayo arrojan el tipo de material o contenido de materiales cementantes y así obtener un MR de diseño. Además, también ayuda para verificar en obra y aprobar la construcción de pavimentos, a la vez este ensayo se usa muy poco en el concreto estructural y en su lugar se centran en evaluar la resistencia a compresión como criterio de calidad del concreto (NRMCA, 2017).

Figura 2

Ensayo de resistencia a flexión uniaxial

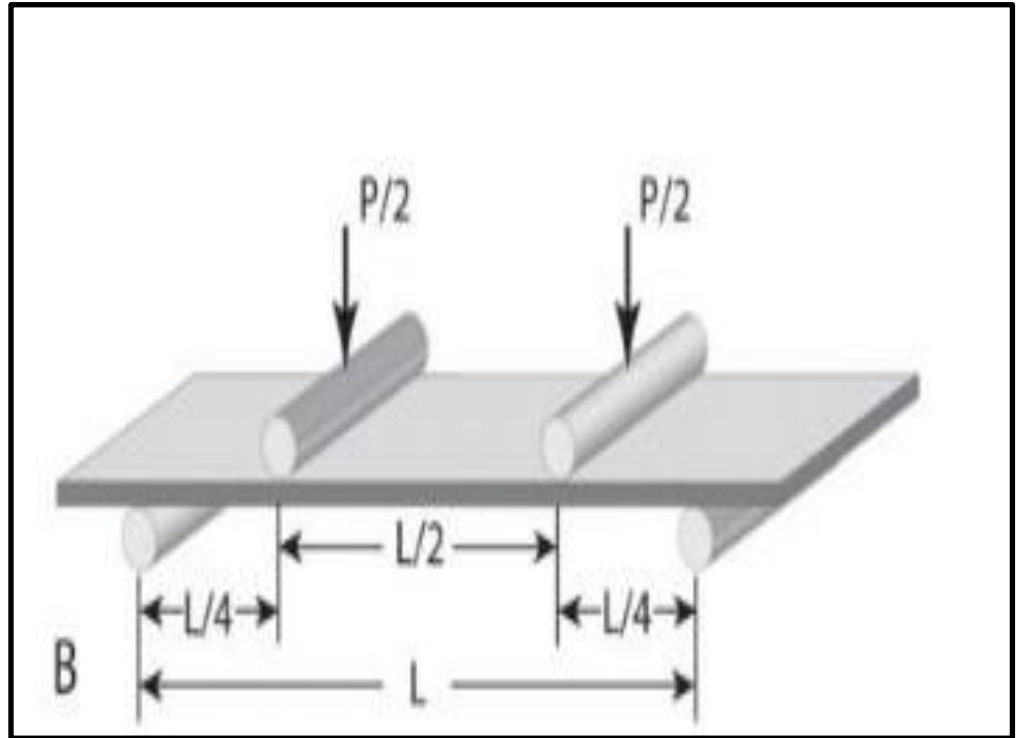


Nota. La carga se centra en el punto medio y se le conoce como prueba de tres puntos.

Fuente: (Shen et al., 2022).

Figura 3

Ensayo de resistencia a flexión uniaxial con carga en dos puntos



Nota. La carga se centra en dos puntos y se le conoce como prueba de cuatro puntos.

Fuente. (Shen et al., 2022).

La prueba para medir la capacidad flexural, también llamada ensayo de resistencia a flexión se da utilizando una viga de ensayo cuya sección transversal puede ser de forma rectangular o circular y se le va aplicando un momento flector en la parte superior, esta zona estará sometida a esfuerzos de compresión, mientras que la zona inferior experimentará tensiones de tracción. La tensión máxima que alcance a soportar antes de su fractura se le denominará resistencia a flexión o también módulo de rotura, la capacidad a flexión constituye una característica mecánica relevante en los materiales pétreos, debido a que durante las cargas de flexión el material estará sometido no solo a cargas de tracción sino también a cargas de compresión y la resistencia de capacidad de cargas de flexión es superior que la resistencia a tracción (Benavente, 2017).

b) PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DEL ENSAYO DE FLEXIÓN

Las viguetas destinadas a los respectivos ensayos, en caso de tratarse de pavimentos, deben presentar una consistencia seca de $\frac{1}{2}$ a $2\frac{1}{2}$ " entre 1.25 cm a 6.25 cm, se debe considerar la vibración para liberar las burbujas de aire, las superficies de la viga deben estar mojadas en todo momento, mantenerlas saturadas con ayuda de agua con cal durante 20 horas mínimamente antes de proceder con el ensayo. La prueba para evaluar la capacidad a flexión resulta mucho más sensible debido a que un mal secado del material genera una desviación típica muy alta y lo ideal es que esta variación se mantenga de 0.3 MPa a 0.6MPa, lo cual equivale de 3 kg/cm² a 6 kg/cm² y si se excede este intervalo indica que hay un problema en los ensayos, ya que las diferencias en la humedad pueden ser muy perjudiciales debido a un secado prematuro generan una muy baja resistencia y alteraciones en los resultados (NRMCA, 2017).

Para el valor de la resistencia a la flexión se pueden realizar dos métodos de ensayos: el primero que corresponde al ensayo de carga en un punto específico, y el segundo, al denominado ensayo a momento constante.

El ensayo de carga puntual donde la carga solo se concentrará en una única ubicación sobre la viga, mientras que el ensayo de momento constante que se aplica en la zona sometida a la carga de rotura, el cual se localiza en el tramo al que corresponda la siguiente relación $L/4 < Z < 3L/4$; donde L es la longitud total de la barra (Benavente, 2017).

2.2.2. ENSAYO ASTM C293

La organización conocida como ASTM por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials), traducida al español como

Sociedad Americana de Ensayos y Materiales, tiene como función principal establecer estándares aplicables a materiales, productos, métodos, sistemas y servicios. La ASTM C293, también denominada Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando una Viga Simple con Carga al Centro), este ensayo orientado netamente a las vigas simples y la carga se somete netamente en el punto medio de la viga, se emplea para obtener de módulo de rotura de las probetas, el resultado variara de acuerdo tamaño de agregados, mezclado y curado, los valores obtenidos mediante esta prueba se emplean en la interpretación de criterios técnicos o como fuente de información para posibles modificaciones en el diseño de mezcla y colocación, mediante este método los esfuerzos de flexión son mayores en comparación con el método que aplica la carga en los puntos terciales. A la vez las probetas de ensayo deben tener un tamaño y moldeo adecuado, las caras de las vigas deben formar un ángulo de 90° y sus superficies deben estar libres de grietas (Lamond y Pielert, 2016)

La ASTM nos indica también el procedimiento del ensayo donde la viga de concreto debe tener una forma prismática muy marcada, además debe de estar húmeda y su colocación debe estar expuesta al moldeo, para que al contactarse con la carga esta se centre en el centro del espécimen y apoyos, la carga se irá graduando hasta llegar a la falla y con ella registrar el valor máximo y dimensiones para obtener el módulo de rotura (Lamond y Pielert, 2016).

2.2.3. PAVIMENTO RÍGIDO

Este tipo de pavimento se caracteriza por el color, textura y su superficie de rodadura, ya que está diseñado para impedir el acceso del agua a su interior, este pavimento tiene una losa que cumple con las mismas funciones que cumple la capa superficial del pavimento flexible, pero difiere en el propósito de soporte estructural, ya que va transmitiendo los esfuerzos que se le van aplicando, en cuanto a su base cumple la misma función de la sub-base en el pavimento flexible y

básicamente funciona como un apoyo a la losa y como protección de cambios volumétricos en la subrasante. La base ayuda también al bombeo a pesar que la base no tiene aporte estructural, ya que es suficiente con la losa para el soporte de cargas (Juárez, 1972).

Según Rico y Castillo (1981) una de las principales particularidades del pavimento rígido es tener una losa de concreto como elemento estructural y está a su vez se apoya en una capa de material seleccionado denominado sub-base, es fundamental que el apoyo que le va aportar la sub-base sea uniforme y estable para que ninguna parte de la losa tenga ausencia de soporte y esto se logra con la ayuda de las capas de suelo y la calidad de material, además de la compactación que se empleen, clima y drenaje. Los concretos que se emplean para pavimentos rígidos son de 200 kg/cm² a 400 kg/cm² y es posible que se utilicen losas de concreto simple, armado o pretensado.

a) FACTORES QUE AFECTAN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

Según Juárez (1972) los factores que afectan el diseño de los pavimentos se mencionan en tres grupos y son los siguientes:

- **Características de los materiales de terracería y capa subrasante**

Los componentes utilizados que conforman estas capas son fundamentales en el comportamiento, grosor de la placa de concreto y comportamiento de la estructura vial con superficie sólida, para lograr un comportamiento adecuado se tienen que aplicar principios y métodos de Mecánica de Suelos.

- **Condiciones climáticas**

La influencia más significativa sobre el rendimiento del pavimento son las precipitaciones fluviales, debido a que causan un efecto directo cuando ocurre la elevación de aguas freáticas, es por ello que durante la realización de pavimentos se prevé

adicionar drenajes muy aparte de los drenajes previstos en cualquier obra vial, de igual manera las heladas pueden generar muchos conflictos como la inducción de esfuerzos estructurales de gran magnitud.

- **El tránsito**

La circulación de vehículos produce cargas al cual el pavimento va a estar sometido, por ello es importante hacer un estudio previo para obtener el nivel de esfuerzo transmitido, la presión ejercida por los neumáticos y áreas de contacto, frecuencia, frecuencia de carga y las velocidades a las que se desplazan los vehículos durante su uso, el análisis de estas solicitaciones resulta sumamente complejo de ejecutar en un laboratorio, es por ello que el estudio de pavimentos es netamente empírico lo cual es una limitante en el campo ya que no hay una complementación adecuada entre teoría y experiencia.

b) FUNCIONES DE LA SUB-BASE DE UN PAVIMENTO RÍGIDO

Según Rico y Castillo (1981) la calidad de apoyo que ofrezca la sub-base a la losa de concreto es fundamental, debido a que antiguamente las losas se colocarían directamente sobre el material de terracería sin selección del material que estaría en contacto con el concreto, incluso se juntaban arenas, arcillas o limos, con el crecimiento de vehicular y la implementación de aeropuertos se tomó en cuenta el apoyo adecuado para alargar la vida de las losas de concreto desde ahí se tiene una selección para la conformación de la sub-base a partir de materiales granulares, las principales funciones son:

- Brindar una base homogénea que sirva de soporte a la losa concreto
- Aumentar la resistencia del soporte en el apoyo (terracerías o subrasante)

- Minimizar los cambios de volúmenes que se puedan dar en las capas de apoyo (terracerías o subrasantes)
- Minimizar las consecuencias de la congelación
- Evitar bombeo

2.2.4. FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO

Según La Asociación Española de Galvanización (ATEG, 2019) el acero galvanizado consiste en un material férreo protegido mediante múltiples capas de zinc, este recubrimiento se realiza para evitar que el acero se oxide, en la actualidad el acero galvanizado se emplea en alambre, cables, estanterías metálicas, tuberías tornillos, tuercas, señalizaciones, ferroviarios, estructuras metálicas, industria y otros.

Según Asfahl (2000) el término galvanizado se refiere netamente al recubrimiento del zinc sobre un metal, la soldadura a partir de acero galvanizado requiere precauciones especiales y una buena ventilación por que la soldadura puede producir óxido de zinc, ya que la inhalación de esta sustancia puede generar efectos secundarios, los metales plateados son más peligrosos de soldar que el hierro o acero.

Los tubos de acero galvanizado actualmente son muy empleados en el mercado y existen diferentes tipos de acuerdo a su aplicación, por ejemplo para las construcciones existen tubos de acero galvanizado para pared gruesa se caracteriza por que este tubo está protegido al interior y exterior por el galvanizado eso le otorga resistencia y se emplea en instalaciones que van a estar expuestas, existen también los tubos para pared delgada donde este tubo es la mitad del tubo grueso, también es resistente a la humedad y el tubo de acero esmaltado se caracteriza por tener una pintura al interior y exterior que lo protege contra la oxidación se coloca en zonas que estarán en constante humedad (Enríquez, 1996).

Se ha comprobado que las fibras metálicas contribuyen al incremento de la capacidad de flexión del concreto al desempeñar un rol de soporte estructural en su estructura interna. Entre las diferentes

configuraciones, las fibras en forma de cruz podrían proporcionar una mejor distribución de esfuerzos debido a su geometría, que permite un mayor anclaje y contacto con la estructura del concreto. Estudios previos han demostrado que las fibras con formas más complejas tienden a mejorar la transferencia de cargas y reducir la propagación de grietas, lo que podría explicar el mejor rendimiento de las fibras metálicas de acero galvanizado en forma de cruz en comparación con las fibras rectas convencionales.

a) VENTAJAS DEL ACERO GALVANIZADO

Según ATEG (2019) las ventajas que ofrece el acero galvanizado son las siguientes:

- **Resistencia a la corrosión**

En el proceso de galvanizado, se generan recubrimientos metálicos que actúan como una capa protectora que impide el avance de la oxidación sobre el acero producida por el contacto con la atmósfera.

- **Durabilidad**

La velocidad con la que el zinc se oxida es considerablemente menor en comparación con la del acero, es por ello que el acero galvanizado puede durar en zonas rurales de 100 a 150 años, en zonas industriales o cosa de 50 a 100 años y en zonas corrosivas 25 años.

- **Sin mantenimiento**

El acero galvanizado tiene una gran durabilidad sin necesidad de mantenimiento lo cual es muy beneficioso económicamente.

- **Manejable**

Una de las propiedades del acero galvanizado es su flexibilidad y puede ser soldado o atornillado.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **FIBRAS DE ACERO:** Las fibras hechas de acero forman parte de la categoría de refuerzos metálicos, que funcionan como un aditivo y funciona por la reducción de agrietamientos durante el asentamiento plástico, a la vez este tipo de fibras son muy favorables en los pisos que serán sometidos a cargas considerables, actualmente este tipo de refuerzos se emplea en constructores, diseñadores, arquitectos y todo tipo de proyectos de construcción (Carrillo León et al., 2016).
- **F'C=210 KG/CM2:** La compresión constituye una propiedad mecánica fundamental del concreto, pues define su habilidad para soportar cargas concentradas sobre una superficie determinada, expresada en kg/cm² (megapascuales). Para evaluar esta propiedad se ejecutan ensayos en laboratorio utilizando cilindros, y además se emplea como parámetro clave en el control calidad y F'c (Pérez, 1992).
- **DRAMIX 80/60:** Es una marca de fibra de acero ya patentada que cuentan con certificado ISO 9001 e ISO 14001, que se emplea como refuerzo de cargas estáticas, dinámica y de fatiga, se usan tanto en losas aligeradas, pavimentos y control de calidad, estas fibras están unidas por una cola que es soluble al agua, lo cual ayuda a separar las fibras durante el mezclado, esta fibra presenta una capacidad de tracción de hasta 1.800 N/mm², un módulo elástico de 200.000 N/mm² y una elongación máxima bajo esfuerzo de tracción del 0,8%, pertenece a una gama de fibras en 4D con longitud de 60 mm, diámetro de 0,75 mm y una esbeltez de 80 (NV Bekaert SA, 2021).
- **ISO 9001:** Norma encargada de establecer ciertos parámetros para un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) y la organización encargada de otorgar esta certificación es la Organización Internacional de Estandarización (ISO), donde su principal propósito es estandarizar parámetros de productos para garantizar seguridad a las empresas, si una

empresa quiere contar con su certificado esta misma debe de contratar a las organizaciones para que analicen sus productos (Riesco, 2021).

- **ISO 14001:** Es un estándar establecido por la Organización Internacional de Estandarización y tiene como finalidad ayudar a las empresas a mantenerse comercialmente exitosas, esta norma se encarga de identificar los riesgos ambientales, es decir está orientado a la protección del medio ambiente a partir de ahí estudia los riesgos empresariales a partir de la protección del medio ambiente y en equilibrio con las necesidades socioeconómicas (Reyes, 2021).
- **MR (MÓDULO DE ROTURA):** Equivale a un rango estimado entre el 10 % y el 20 % de la capacidad de compresión que adquiere un concreto, el valor que se obtienen luego del ensayo variará de acuerdo a la características como la forma, tamaño y cantidad del agregado empleado principalmente dependiendo el diseño de mezcla, existen dos tipos de ensayos con el propósito de determinar el módulo de ruptura, la primera es bajo la norma ASTM C78 que se caracteriza por que durante el ensayo las cargas se van dando en puntos tercios y la segunda es según la norma ASTM C293 y se caracteriza por que durante la prueba, la viga recibe la carga directamente en su parte central (NRMCA, 2017).
- **EHE-08:** La Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08), es el nombre que se otorgó a la normativa española orientada al cálculo estructural del hormigón y es de obligatoria aplicación en España, esta normativa alberga múltiples temas de hormigón como el armado, pretensada y postensado, cambios en cuanto al control de calidad, ensayos de laboratorio, resistencias mínimas, empleo de agregados reciclados, incorporación de fibras de refuerzo, uso de agua reciclada y otros (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible y Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, 2021).
- **HRFA:** El Hormigón Reforzado con Fibras de Acero (HRFA), desde hace muchos años se ha empleado las fibras en la construcción de edificaciones

para mejorar el comportamiento estructural, la adición de fibras y agregados y posteriormente mantener una consistencia homogénea empezó hace ya 100 años y en la actualidad ya se emplea de una manera adecuada, el uso de elementos metálicos en forma de fibras dentro de la matriz del concreto ha generado una mejora en sus propiedades mecánicas pero a la vez lo hace más frágil limitando su aplicación (Carrillo et al., 2016).

- **DEFORMACIÓN AXIAL:** La deformación axial es el cambio de dimensión que se origina en una superficie debido a cargas que actúan sobre este, se considera que un cuerpo experimenta carga axial cuando es influenciado por dos esfuerzos opuestos aplicados en sus extremos, esta deformación tomará lugar debido a que la barra cambiará su longitud al estar sometida a cargas a sus extremos ya que se hará más larga en tensión y más corta en compresión (Hibbeler, 2011).
- **AASTHO 93:** Es la normativa vigente utilizada en el diseño de pavimentos rígidos, fue elaborada en Estados Unidos y alberga los conceptos sobre pavimentos rígidos, como sus elementos, factores que afectan o parámetros que se deben cumplir para un adecuado diseño de pavimentos rígidos (Alcántara, 2018).
- **ASTM C78:** Esta normativa orientada directamente a los ensayos de flexión del concreto, generalmente utilizado en superficies de rodadura, este tipo de ensayo se caracteriza por que la carga va en el tercer punto o en aproximadamente un tercio de la longitud completa de la viga o barra. Se emplea una viga de 6x6 pulgadas y una longitud de 21 pulgadas (Instron, 2020).
- **NTP 339.078:** Esta norma indica el método a ensayar con el propósito de evaluar la capacidad flexural de vigas de concreto sometidas a cargas aplicadas en las zonas correspondientes a los tercios de su longitud, se basa en ejercer cargas en las zonas correspondientes a los tercios de luz

de las vigas, hasta que se presente la fractura y se obtenga el valor del módulo de ruptura se calcula en función la distancia del tercio sin exceder el 5% de la luz libre, mientras que el módulo se ajustará según las dimensiones del espécimen, preparación, humedad, curado y tamaño (Norma Técnica Peruana [NTP], 2012).

- **TERRACERÍA:** Son estructuras que se desarrollan en el ámbito de la ingeniería, esta estructura se realiza para aumentar la altura del suelo a través de rellenos, compactación, con el afán de mejorar la accesibilidad, soluciones ante la humedad, regularizar el nivel del terreno, la terracería se ajusta al terreno (Meprosa Construcciones, 2022).
- **SUBRASANTE:** Es la base natural que ha sido acondicionada y densificada, sobre la que se construye el pavimento; su función es brindar soporte continuo evitando variaciones repentinas para una adecuada capacidad de soporte, es por ello que es muy importante su composición (Alcántara, 2018).
- **SUB-BASE:** Corresponde a una capa con función estructural dentro del pavimento rígido, situada entre la base inferior (subrasante) y la losa superior, conformada de una capa de material granular o estabilizado, encargada de prevenir el bombeo de suelos de granos finos (Alcántara, 2018).
- **LOSA:** La capa superficial de concreto en un pavimento rígido requiere que el tipo de cemento se seleccione con base en ensayos previos, considerando criterios de resistencia y durabilidad. En ocasiones se emplea concreto con aire incorporado en lugares donde hay heladas o sales para mejorar su trabajabilidad (Alcántara, 2018).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

HG: La adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz incide significativamente en la resistencia a la flexión según la ASTM C293 en el pavimento rígido, Huánuco – 2024.

HGo: La adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz no incide significativamente en la resistencia a la flexión según la ASTM C293 en el pavimento rígido, Huánuco – 2024.

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA

HE1: La adición del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

HE1o: La adición del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

HE2: La adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

HE2o: La adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

HE3: La adición del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

HE3o: La adición del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Resistencia a flexión según la ASTM 293

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Fibras de acero galvanizado en forma de cruz

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES/ INSTRUMENTOS	ESCALA/TIPO DE VARIABLE
VARIABLE INDEPENDIENTE: Fibras de acero galvanizado en forma de cruz	El acero galvanizado es un acero recubierto con una capa de zinc para evitar su corrosión. Este material se utiliza ampliamente en la industria para la fabricación de cables, alambres, estructuras metálicas y elementos de refuerzo (ATEG, 2019).	Se emplea una balanza para poder cuantificar el peso de las fibras metálicas de acero galvanizadas en relación con el peso del agregado grueso en estado seco.	Forma geométrica de la fibra (longitud, diámetro, forma de cruz)	Longitud y forma (regla, calibrador, ficha técnica).	La escala empleada es continua Variable cuantitativa
			Contenido porcentual de fibras (dosificación 1%, 2%, 3%)	Porcentaje de fibra (balanza de precisión, ficha de mezcla).	
			Distribución y adherencia en la matriz de concreto	Uniformidad de mezcla (observación visual, ficha de control)	
VARIABLE DEPENDIENTE: Resistencia a la flexión según la ASTM C293	La resistencia a la flexión es la capacidad del concreto para soportar esfuerzos de tracción indirecta antes de romperse. Se determina mediante el ensayo ASTM C293, aplicando una carga en el centro de una viga apoyada en sus extremos, con dimensiones típicas de 0.15 m × 0.15 m y una luz tres veces su espesor (NRMCA, 2017).	La resistencia a flexión se obtendrá a través del ensayo ASTM C293 en el laboratorio.	Capacidad portante a flexión (fuerza última aplicada)	Cálculo del módulo de ruptura (ASTM C293)	La escala empleada es continua Variable cuantitativa
			Comportamiento a la fisuración (modo y ubicación de falla)		
			Módulo de ruptura (MR) del concreto		

Nota. La tabla presenta la operacionalización de variables, describiendo cómo se medirán la variable independiente (fibras de acero galvanizado) y la variable dependiente (resistencia a flexión) en la investigación.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación aplicada se caracteriza por establecer políticas y ayudar con la toma de decisiones, se enfoca principalmente en la resolución de problemas y en la generación de nuevos conocimientos que se ocasionan en la sociedad, buscan novedades tecnológicas y siempre busca la teoría para poder obtener un producto (Lozada, 2014).

En este estudio, se empleó una investigación aplicada, ya que se partió de información existente como antecedentes y se generó nueva información a partir de lo planteado.

3.1.1. ENFOQUE

El enfoque cuantitativo se distingue por recopilar datos numéricos y analizarlos posteriormente mediante herramientas estadísticas, con el propósito de describir fenómenos, establecer relaciones entre variables y comprobar hipótesis a través de procedimientos sistemáticos (Carrasco et al., 2011).

En esta investigación se utilizó un enfoque cuantitativo, dado que se recopilaron datos experimentales obtenidos en laboratorio con el propósito de analizar el comportamiento estructural del material cementante al resistir esfuerzos flexionales, considerando distintos niveles de incorporación de fibras de acero galvanizado en forma de cruz. Posteriormente, estos datos fueron analizados mediante estadística inferencial para verificar la incidencia del refuerzo en el perfeccionamiento del comportamiento mecánico del pavimento de tipo rígido.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Según Hernández Sampieri et al. (2014), la investigación explicativa busca determinar las causas de los fenómenos, estableciendo relaciones de dependencia entre variables mediante la manipulación y control de factores. Este tipo de estudio permite identificar el efecto que una variable independiente ejerce sobre una variable dependiente.

En este sentido, el alcance de la presente investigación es explicativo, dado que se manipula la variable independiente (el porcentaje de fibras metálicas de acero galvanizado dispuestas en forma de cruz) para evaluar su influencia sobre la variable dependiente, la resistencia a la flexión del concreto, conforme al ensayo ASTM C293.

3.1.3. DISEÑO

El diseño cuasi experimental se caracteriza por establecer relaciones de causalidad entre variables, permitiendo la manipulación de la variable independiente sin recurrir a la asignación aleatoria de las unidades experimentales (Campbell & Stanley, 2011).

En el presente estudio se aplicó un diseño cuasi experimental, al manipular la variable independiente (contenido de fibras de acero galvanizado) con el objetivo de analizar su efecto sobre la resistencia a la flexión del concreto. Se empleó un grupo control sin incorporación de fibras (0%) y tres tratamientos experimentales con 1%, 2% y 3% de fibras, siguiendo el procedimiento del ensayo ASTM C293, bajo condiciones controladas de laboratorio en la ciudad de Huánuco.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

El grupo experimental está compuesto por 60 vigas de concreto diseñadas para pavimento rígido, con una resistencia a compresión de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Estos especímenes fueron sometidos a pruebas en

laboratorio con el propósito de evaluar su capacidad de flexión, conforme a los procedimientos establecidos en la norma ASTM C293.

3.2.2. MUESTRA

La muestra fue no probabilística de tipo censal, dado que se trabajó con la totalidad de las vigas elaboradas para el estudio. Este tipo de muestreo se justifica en investigaciones cuasi experimentales donde se busca analizar el efecto de una variable manipulada bajo condiciones controladas de laboratorio.

En este caso, la muestra estuvo compuesta por 60 vigas de concreto, distribuidas en cuatro grupos de 15 unidades cada uno, según el contenido de fibras de acero galvanizado en forma de cruz incorporadas en la mezcla del concreto.

Tabla 2

Detalle del grupo de muestras seleccionadas

DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	NÚMERO DE MUESTRAS
Vigas de concreto de 0.15 × 0.15 m de área en corte transversal, con luz libre de 0.45 m.	15 muestras
Vigas de concreto de 0.15 × 0.15 m de área en corte transversal, con luz de 0.45 m, con una proporción del 1 % de fibras de acero galvanizado en forma de cruz en reemplazo del agregado grueso seco.	15 muestras
Vigas de concreto de 0.15 × 0.15 m de área en corte transversal, con luz de 0.45 m, con una proporción del 2 % de fibras de acero galvanizado en forma de cruz en reemplazo del agregado grueso seco.	15 muestras
Vigas de concreto de 0.15 × 0.15 m de área en corte transversal, con luz 0.45 m, con una proporción de 3 % de fibras de acero galvanizado en forma de cruz en reemplazo del agregado grueso seco.	15 muestras
Total, de vigas ensayadas	60 muestras

Nota. La tabla presenta la distribución del número de muestras utilizadas en los ensayos de resistencia a la flexión, considerando distintas proporciones de fibras de acero galvanizado en forma de cruz en reemplazo del agregado grueso seco.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

La selección de las técnicas de investigación está determinada por las metas de la investigación, el contenido informativo que se requiere obtener y las condiciones del entorno experimental. Según Hernández et al. (2010, p. 250), las estrategias para recopilar datos posibilitan la obtención de información organizada y confiable, facilitando el análisis de las variables de estudio.

En esta investigación, se empleó la observación directa como técnica principal, dado que permitió registrar de manera detallada las pruebas efectuadas en el laboratorio con el propósito de analizar la capacidad de resistencia a flexión. Se recopilaron datos cuantitativos obtenidos mediante pruebas experimentales, en las cuales se analizaron vigas de concreto con distintos niveles de incorporación de fibras metálicas galvanizadas dispuestas en forma de cruz. El procedimiento experimental se realizó bajo condiciones controladas, siguiendo los criterios establecidos en la normativa ASTM C293, lo que garantizó la precisión de los valores obtenidos.

3.3.1.1. INSTRUMENTOS

Para la recopilación de datos se emplearon formatos técnicos de laboratorio de evaluación de resistencia a flexión, en las cuales se registraron los valores obtenidos en cada prueba, incluyendo la mayor fuerza ejercida y el valor correspondiente al módulo de rotura. Se utilizó el registro fotográfico para documentar las condiciones de las vigas antes, durante y después de los ensayos, con el fin de evidenciar su comportamiento y la posible formación de grietas.

El análisis de los datos se llevó a cabo utilizando herramientas estadísticas, empleando los programas Excel y SPSS con el propósito de tabular la información, calcular medidas de tendencia

central y aplicar pruebas estadísticas inferenciales. En los ensayos de laboratorio se utilizó una prensa hidráulica digital universal marca CMT, modelo CMT-UTM300, con una capacidad máxima de 300 kN, diseñada específicamente con el fin de ejecutar pruebas de flexión en elementos de concreto. Se ejerció la carga de forma controlada a una velocidad que oscila desde 0.9 y 1.2 MPa/min, respetando los parámetros fijados por la normativa ASTM C293. La información técnica del equipo se encuentra en el Anexo 03.

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Los datos recopilados fueron organizados y estructurados mediante tablas comparativas y representaciones gráficas que simplifican la interpretación. Se elaboraron tablas descriptivas para la presentación de valores promedio de valores del módulo de ruptura y de la fuerza máxima ejercida en cada grupo de ensayo. Asimismo, se generaron gráficos de barras y gráficos de dispersión que permitieron visualizar tendencias en la resistencia a flexión en función de la proporción de fibras incorporadas. Se realizó una comparación con la norma ASTM C293, con el objetivo de verificar si los valores obtenidos cumplían con los estándares de resistencia establecidos.

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

El procesamiento de los datos se realizó utilizando métodos estadísticos tanto descriptivos como inferenciales, con el propósito de evaluar el impacto de la incorporación de fibras metálicas galvanizadas en la capacidad a la resistencia a flexión del concreto. Se calculó la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación para analizar la dispersión de los datos obtenidos en los ensayos.

Se aplicaron pruebas estadísticas como Shapiro-Wilk o Kolmogorov-Smirnov para verificar si los datos seguían una distribución normal antes de aplicar pruebas inferenciales.

Posteriormente, se empleó el test no paramétrico Mann-Whitney para evaluar diferencias en la resistencia a flexión del grupo patrón con 0% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz, con cada grupo experimental, conformado por vigas con 1 %, 2 % y 3 % de fibras de acero galvanizado en forma de cruz. Finalmente, se elaboró una interpretación gráfica de los resultados obtenidos, analizando las diferencias entre los grupos y determinando la tendencia de los valores registrados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 3

Módulo de rotura del patrón a 28 días

MUESTRA	% DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	EDAD (Días)	ESPECÍMENES			CARGA MÁXIMA (Kg)	Mr (kg/cm ²)
			(L) cm	(b) cm	(h) cm		
1	PATRON	28	45	15	15	2,334.09	46.68
2	PATRON	28	45	15	15	2,303.50	46.07
3	PATRON	28	45	15	15	2,279.03	45.58
4	PATRON	28	45	15	15	2,339.19	46.78
5	PATRON	28	45	15	15	2,309.62	46.19
6	PATRON	28	45	15	15	2,346.33	46.93
7	PATRON	28	45	15	15	2,448.30	48.97
8	PATRON	28	45	15	15	2,550.27	51.01
9	PATRON	28	45	15	15	2,652.24	53.04
10	PATRON	28	45	15	15	2,754.21	55.08
11	PATRON	28	45	15	15	2,856.18	57.12
12	PATRON	28	45	15	15	2,310.64	46.21
13	PATRON	28	45	15	15	2,301.46	46.03
14	PATRON	28	45	15	15	2,288.20	45.76
15	PATRON	28	45	15	15	2,308.60	46.17

Nota. Medición de la resistencia a la flexión de las vigas patrón tras 28 días de curado, obtenidos según la norma ASTM C293.

Tabla 4

Media, desviación estándar y coeficiente de variación de la resistencia a la flexión del grupo patrón

PARAMETRO		VALORES
N	Válidas	15
	Perdidas	0
Media (kg/cm ²)		48,5080
Desviación Estándar (kg/cm ²)		3,75611
Coeficiente de Variación (%)		7,74
Mínimo (kg/cm ²)		45,58
Máximo (kg/cm ²)		57,12

Nota. Valores de la media, desviación estándar y el coeficiente de variabilidad de la resistencia a la flexión de las vigas patrón tras 28 días de curado, según la norma ASTM C293.

Interpretación

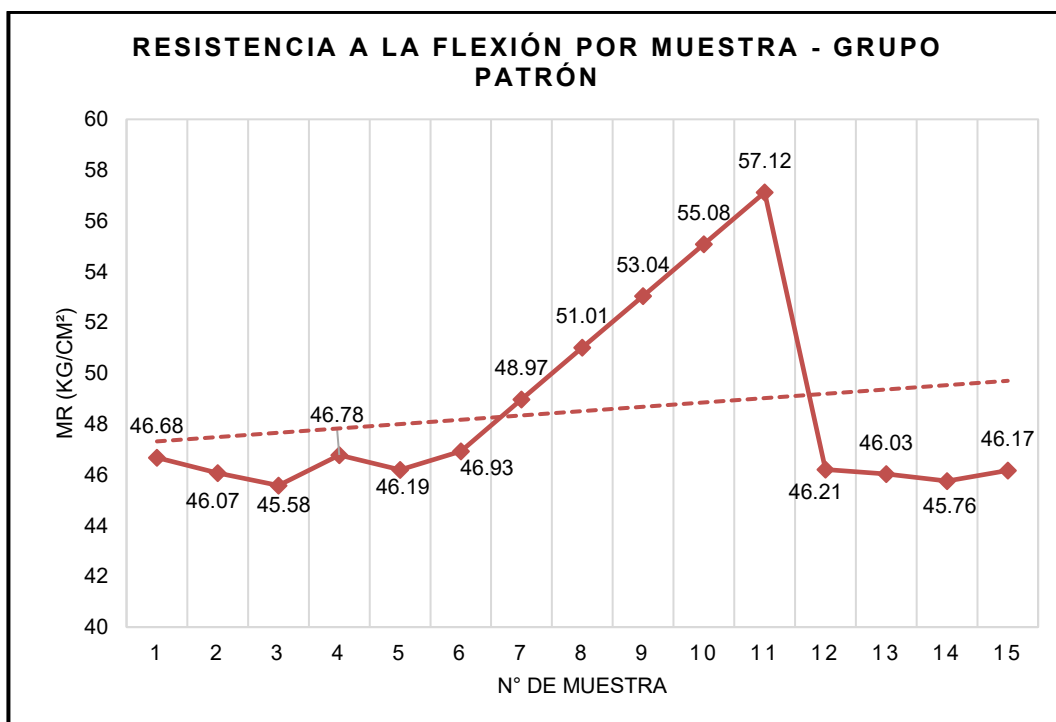
Se analizaron 15 muestras, sin valores perdidos, que representa las vigas de concreto sin incorporar fibras de acero galvanizado, presentó una media de resistencia a la flexión de 48.5080 kg/cm² y una desviación estándar de 3.75611 kg/cm².

Los valores oscilaron entre 45.58 kg/cm² (mínimo) y 57.12 kg/cm² (máximo), reflejando una estabilidad de los valores de resistencia mecánica del concreto sin fibras.

El coeficiente de variación calculado es de 7.74%, el cual refleja una variabilidad moderada en los resultados. En estudios experimentales, un coeficiente de variación menor al 10% suele considerarse aceptable, lo que sugiere que los valores de resistencia son consistentes y reproducibles. Esto significa que las vigas del grupo patrón tienen un comportamiento estable, permitiendo comparaciones confiables con los grupos que contienen fibras de acero galvanizado.

Figura 4

Variación de la resistencia a la flexión en las vigas patrón a 28 días



Nota. Valores de resistencia a la flexión de las vigas patrón tras 28 días de curado, obtenidos según la norma ASTM C293.

Interpretación

Se observa que la resistencia a la flexión de las vigas patrón presenta variaciones entre las muestras, con valores que oscilan entre 45.58 kg/cm² y 57.12 kg/cm². La tendencia general refleja un incremento progresivo en los valores de resistencia, aunque existen fluctuaciones puntuales. La mayor variabilidad se encuentra alrededor de la muestra 11, donde se alcanza el valor máximo de resistencia.

La línea de tendencia punteada sugiere un incremento leve en la resistencia, lo que puede deberse a factores como la calidad del curado y la homogeneidad del material. No obstante, los valores tienden a estabilizarse en la última parte del gráfico.

Tabla 5

Módulo de rotura de vigas con 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a 28 días

MUESTRA	% DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	EDAD (Días)	ESPECÍMENES			CARGA MÁXIMA (Kg)	Mr (kg/cm ²)
			(L) cm	(b) cm	(h) cm		
1	1%	28	45	15	15	2,475.32	49.51
2	1%	28	45	15	15	2,444.73	48.89
3	1%	28	45	15	15	2,420.26	48.41
4	1%	28	45	15	15	2,480.42	49.61
5	1%	28	45	15	15	2,450.85	49.02
6	1%	28	45	15	15	2,487.56	49.75
7	1%	28	45	15	15	2,589.53	51.79
8	1%	28	45	15	15	2,691.50	53.83
9	1%	28	45	15	15	2,793.47	55.87
10	1%	28	45	15	15	2,895.44	57.91
11	1%	28	45	15	15	2,997.41	59.95
12	1%	28	45	15	15	2,451.87	49.04
13	1%	28	45	15	15	2,442.69	48.85
14	1%	28	45	15	15	2,429.44	48.59
15	1%	28	45	15	15	2,449.83	49.00

Nota. Valores de resistencia a flexión de las vigas con una proporción del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz, tras 28 días de curado, según la norma ASTM C293.

Tabla 6

Media, desviación estándar y coeficiente de variación de la resistencia a la flexión del grupo con 1% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz

PARAMETRO		VALORES
N	Válidas	15
	Perdidas	0
Media (kg/cm ²)		51,3347
Desviación Estándar (kg/cm ²)		3,75678
Coeficiente de Variación (%)		6,09
Mínimo (kg/cm ²)		48,41
Máximo (kg/cm ²)		59,95

Nota. Valores de la media, desviación estándar y coeficiente de variación de la resistencia a la flexión de las vigas con una proporción del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz tras 28 días de curado, según la norma ASTM C293.

Interpretación

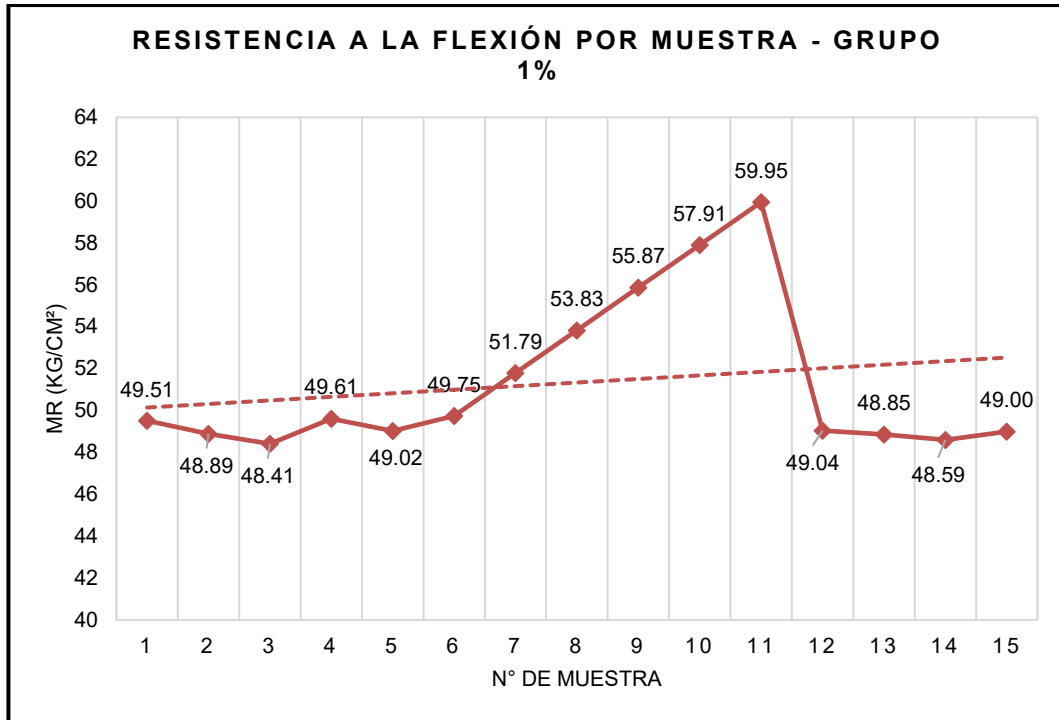
Se analizaron 15 muestras, sin valores perdidos, que representan las vigas de concreto con una proporción del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz. Estas vigas presentaron una media de resistencia a la flexión de 51.3347 kg/cm², con una desviación estándar de 3.75678 kg/cm².

Los valores oscilaron entre 48.41 kg/cm² (mínimo) y 59.95 kg/cm² (máximo), reflejando una estabilidad en la resistencia mecánica del concreto reforzado con fibras de acero galvanizado en forma de cruz.

El coeficiente de variación calculado es de 6.09%, lo que demuestra una variabilidad baja en los resultados. En estudios experimentales, un coeficiente de variación menor al 10% suele considerarse aceptable, lo que sugiere que los valores de resistencia son consistentes y reproducibles. Esto significa que las vigas del grupo con 1% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz muestran un comportamiento estable.

Figura 5

Variación de la resistencia a la flexión en las vigas con 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a 28 días



Nota. Valores de resistencia a la flexión de las vigas con una proporción del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz tras 28 días de curado, obtenidos según la norma ASTM C293.

Interpretación

Se observa que la resistencia a la flexión de las vigas con una proporción del 1% de fibra de acero galvanizado presenta variaciones entre las muestras, con valores que oscilan entre 48.41 kg/cm² y 59.95 kg/cm². La tendencia general refleja un incremento general en los valores de resistencia, con algunas fluctuaciones, especialmente en la muestra 11, donde se alcanza el valor máximo de resistencia.

La línea de tendencia punteada sugiere un incremento leve en la resistencia, lo que puede deberse a factores como la calidad del curado y la homogeneidad del material. No obstante, los valores tienden a estabilizarse en la última parte del gráfico.

Tabla 7

Módulo de rotura de vigas con 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a 28 días

MUESTRA	% DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	EDAD (Días)	ESPECÍMENES			CARGA MÁXIMA (Kg)	Mr (kg/cm ²)
			(L) cm	(b) cm	(h) cm		
1	2%	28	45	15	15	2,572.19	51.44
2	2%	28	45	15	15	2,541.60	50.83
3	2%	28	45	15	15	2,517.13	50.34
4	2%	28	45	15	15	2,577.29	51.55
5	2%	28	45	15	15	2,547.72	50.95
6	2%	28	45	15	15	2,584.43	51.69
7	2%	28	45	15	15	2,686.40	53.73
8	2%	28	45	15	15	2,788.37	55.77
9	2%	28	45	15	15	2,890.34	57.81
10	2%	28	45	15	15	2,992.31	59.85
11	2%	28	45	15	15	3,094.28	61.89
12	2%	28	45	15	15	2,548.74	50.97
13	2%	28	45	15	15	2,539.56	50.79
14	2%	28	45	15	15	2,526.31	50.53
15	2%	28	45	15	15	2,546.70	50.93

Nota. Valores de resistencia a flexión de las vigas con una proporción del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz, tras 28 días de curado, según la norma ASTM C293.

Tabla 8

Media, desviación estándar y coeficiente de variación de la resistencia a la flexión del grupo con 2% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz

PARAMETRO		VALORES
N	Válidas	15
	Perdidas	0
Media (kg/cm ²)		53,2713
Desviación Estándar (kg/cm ²)		3,75901
Coeficiente de Variación (%)		7,05
Mínimo (kg/cm ²)		50,34
Máximo (kg/cm ²)		61,89

Nota. Valores de la media, desviación estándar y coeficiente de variación de la resistencia a la flexión de las vigas con una proporción del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz tras 28 días de curado, según la norma ASTM C293.

Interpretación

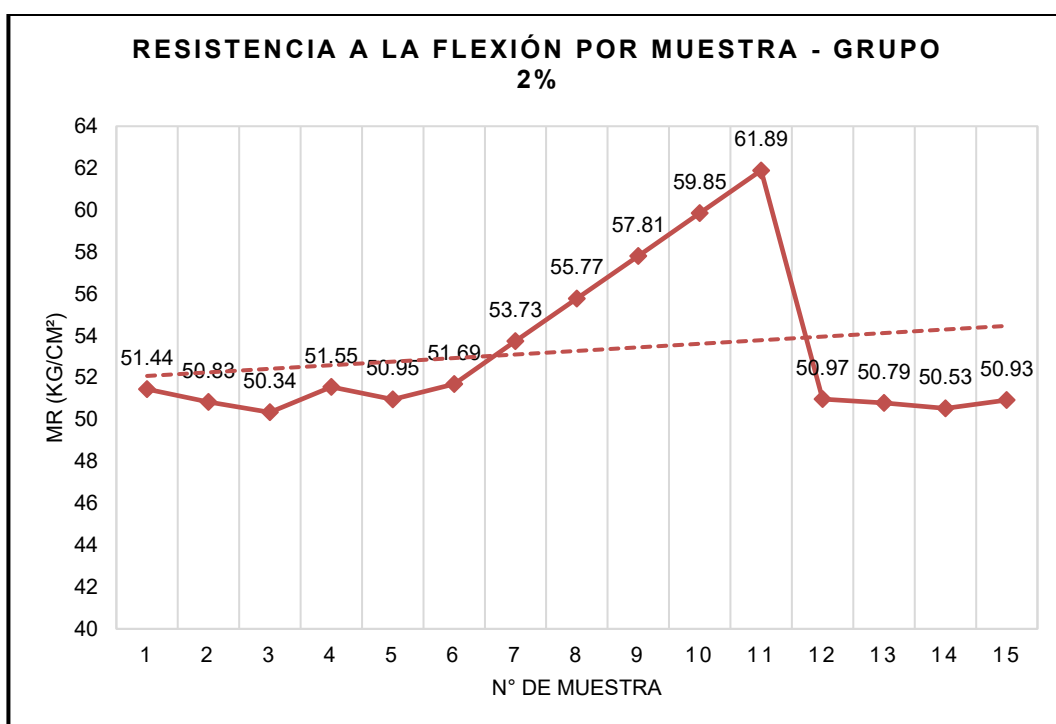
Se analizaron 15 muestras, sin valores perdidos, que representan las vigas de concreto con proporción del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz. Estas vigas presentaron una media de resistencia a la flexión de 53.27 kg/cm², con una desviación estándar de 3.76 kg/cm².

Los valores oscilaron entre 50.34 kg/cm² (mínimo) y 61.89 kg/cm² (máximo), lo que refleja una buena estabilidad en la resistencia mecánica del concreto con refuerzo de fibras de acero.

El coeficiente de variación calculado es de 7.05%, lo que demuestra una variabilidad baja en los resultados. En estudios experimentales, un coeficiente de variación menor al 10% suele considerarse aceptable, lo que sugiere que los valores de resistencia son consistentes y reproducibles.

Figura 6

Variación de la resistencia a la flexión en las vigas 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a 28 días



Nota. Valores de resistencia a la flexión de las vigas con una proporción del 2% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz tras 28 días de curado, obtenidos según la norma ASTM C293.

Interpretación

Se evidencia que la resistencia a la flexión de las vigas con una proporción del 2% de fibras de acero galvanizado presenta variaciones entre las muestras, con valores que oscilan entre 50.34 kg/cm² y 61.89 kg/cm². La tendencia general refleja un incremento general en los valores de resistencia, con algunas fluctuaciones, especialmente en la muestra 11, donde se alcanza el valor máximo de resistencia (61.89 kg/cm²).

La línea de tendencia punteada sugiere un incremento en la resistencia, pero con una caída pronunciada en la muestra 11, lo que indica una fluctuación que podría deberse a factores como la distribución irregular de las fibras en esa muestra. Después de la muestra 11, los valores tienden a estabilizarse y se mantienen en un rango más constante entre las muestras 12 y 15.

Tabla 9

Módulo de rotura de vigas con 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a 28 días

MUESTRA	% DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	EDAD (Días)	ESPECÍMENES			CARGA MÁXIMA (Kg)	Mr (kg/cm2)
			(L) cm	(b) cm	(h) cm		
1	3%	28	45	15	15	2,654.59	53.09
2	3%	28	45	15	15	2,623.99	52.48
3	3%	28	45	15	15	2,599.52	51.99
4	3%	28	45	15	15	2,659.68	53.19
5	3%	28	45	15	15	2,630.10	52.6
6	3%	28	45	15	15	2,666.82	53.34
7	3%	28	45	15	15	2,768.79	55.38
8	3%	28	45	15	15	2,870.76	57.42
9	3%	28	45	15	15	2,972.73	59.45
10	3%	28	45	15	15	3,074.70	61.49
11	3%	28	45	15	15	3,176.67	63.53
12	3%	28	45	15	15	2,631.13	52.62
13	3%	28	45	15	15	2,621.95	52.44
14	3%	28	45	15	15	2,608.70	52.17
15	3%	28	45	15	15	2,629.09	52.58

Nota. Valores de resistencia a flexión de las vigas con una proporción del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz, tras 28 días de curado, según la norma ASTM C293.

Tabla 10

Media, desviación estándar y coeficiente de variación de la resistencia a la flexión del grupo con 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz

PARAMETRO		VALORES
N	Válidas	15
	Perdidas	0
Media (kg/cm ²)		54,9180
Desviación Estándar (kg/cm ²)		3,75611
Coeficiente de Variación (%)		3,84
Mínimo (kg/cm ²)		51,99
Máximo (kg/cm ²)		63,53

Nota. Valores de la media, desviación estándar y coeficiente de variación de la resistencia a la flexión de las vigas con una proporción del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz tras 28 días de curado, según la norma ASTM C293.

Interpretación

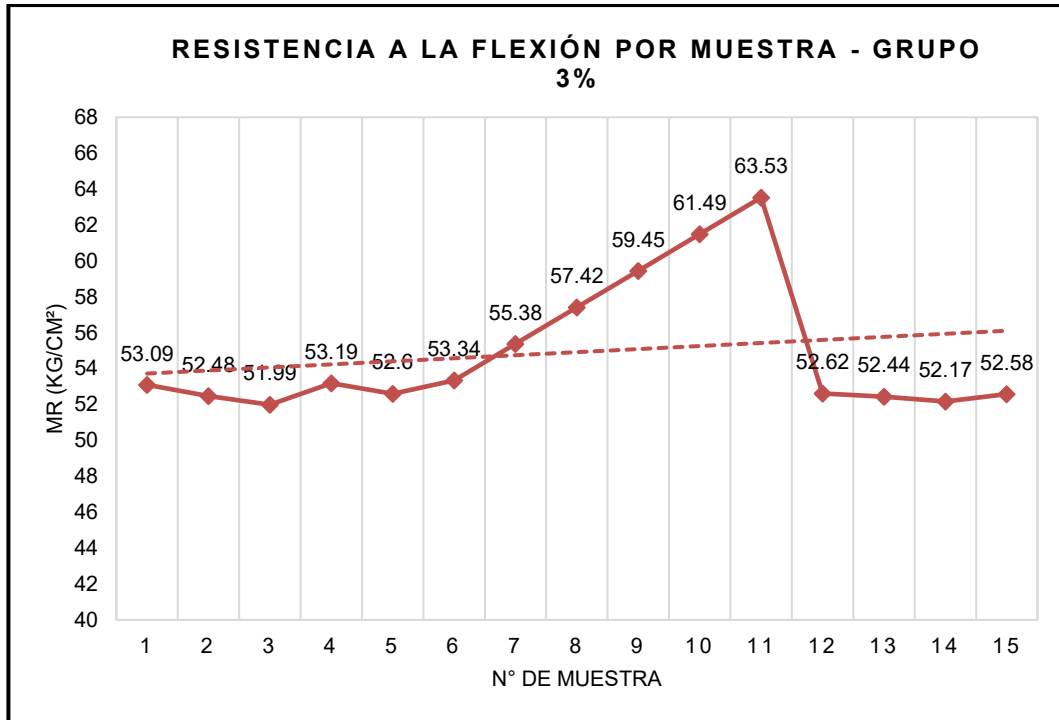
Se analizaron 15 muestras, sin valores perdidos, que representan las vigas de concreto con una proporción del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz. Estas vigas presentaron una media de resistencia a la flexión de 54.92 kg/cm², con una desviación estándar de 3.76 kg/cm².

Los valores oscilaron entre 51.99 kg/cm² (mínimo) y 63.53 kg/cm² (máximo), lo que refleja una buena estabilidad en la resistencia mecánica del concreto reforzado con fibras de acero.

El coeficiente de variación calculado es de 6.84%, lo que evidencia una variabilidad baja en los datos obtenidos. En estudios experimentales, un coeficiente de variación menor al 10% suele considerarse aceptable, lo que sugiere que los valores de resistencia son consistentes y reproducibles.

Figura 7

Variación de la resistencia a la flexión en las vigas 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a 28 días



Nota. Valores de resistencia a la flexión de las vigas con una proporción de 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz tras 28 días de curado, obtenidos según la norma ASTM C293.

Interpretación

Se observa que la resistencia a la flexión de las vigas con una proporción del 3% de fibra de acero galvanizado presenta variaciones entre las muestras, con valores que oscilan entre 51.99 kg/cm² y 63.53 kg/cm². La línea de tendencia muestra un aumento general en la resistencia, con una fluctuación notable en la muestra 11, donde se alcanza el valor máximo de resistencia de 63.53 kg/cm².

La línea de tendencia punteada sugiere un aumento progresivo en la resistencia a medida que avanza el número de muestras, pero con una caída pronunciada en la muestra 11, lo que indica una fluctuación que podría estar asociada a factores como la distribución irregular de las fibras en esa muestra específica. Tras la muestra 11, los valores se estabilizan y se mantienen dentro de un rango más constante entre las muestras 12 y 15, reflejando un comportamiento más homogéneo en el grupo.

4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.2.1. HIPÓTESIS GENERAL

HG: La adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz incide significativamente en la resistencia a la flexión según la ASTM C293 en el pavimento rígido, Huánuco – 2024.

HGo: La adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz no incide significativamente en la resistencia a la flexión según la ASTM C293 en el pavimento rígido, Huánuco – 2024.

Tabla 11

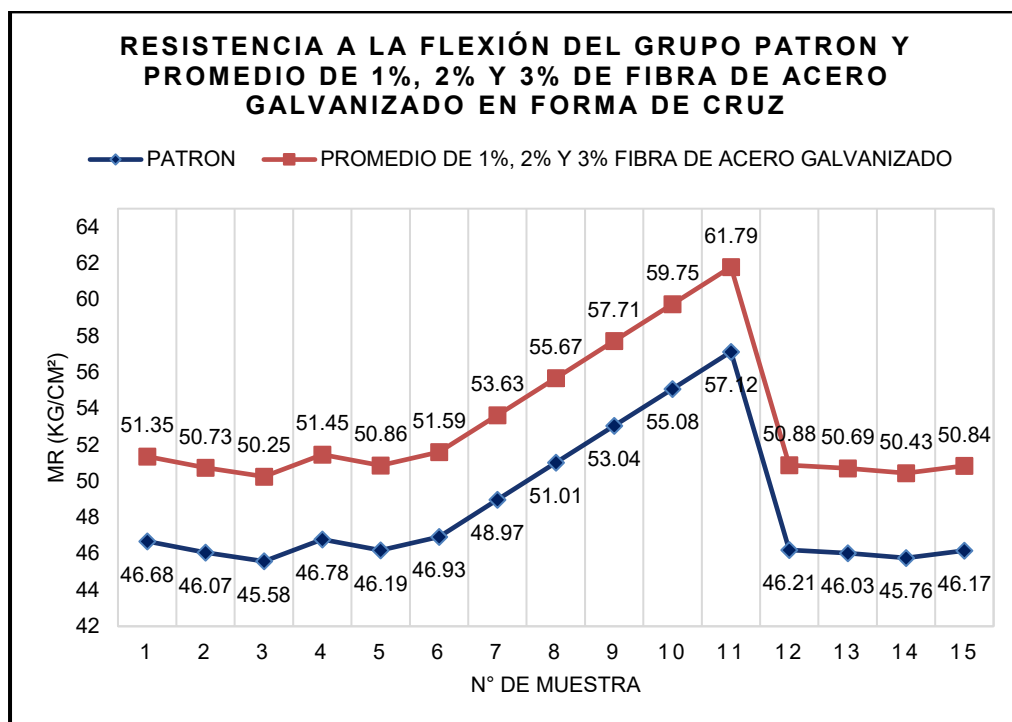
Comparación de Valores del Grupo Patrón y los Grupos Experimentales

MR DEL PATRÓN Y PROMEDIO CON FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ DEL 1%, 2% Y 3%		
MUESTRA	MR (kg/cm ²)	
	PATRÓN	PROMEDIO DE 1%, 2% Y 3% FIBRA DE ACERO GALVANIZADO
1	46.68	51.35
2	46.07	50.73
3	45.58	50.25
4	46.78	51.45
5	46.19	50.86
6	46.93	51.59
7	48.97	53.63
8	51.01	55.67
9	53.04	57.71
10	55.08	59.75
11	57.12	61.79
12	46.21	50.88
13	46.03	50.69
14	45.76	50.43
15	46.17	50.84

Nota. Los valores del grupo patrón y los promedios con fibra de acero galvanizado en forma de cruz para las proporciones del 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz.

Figura 8

Variación de la Resistencia a la Flexión del Grupo Patrón y Promedio de 1%, 2% y 3% de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz a los 28 Días



Nota. Se presenta la comparación de la resistencia a la flexión entre el grupo patrón y el promedio de vigas con 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz a los 28 días de curado, mostrando cómo varía la resistencia a medida que se incrementa el porcentaje de fibras en el concreto.

Tabla 12

Comparación de la Resistencia a la Flexión (kg/cm²) del Grupo Patrón y Promedio con 1%, 2% y 3% de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXIÓN (kg/cm2)				
% de Fibras de Acero Galvanizado en Forma de Cruz			estadístico	Desv. Error
GRUPO PATRÓN (0%)	Media		48.5080	0.96982
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	46.4279	
		Límite superior	50.5881	
	Desviación Estándar		3.75611	
	Mínimo		45.58	
	Máximo		57.12	
PROMEDIO DEL GRUPO CON 1%, 2% Y 3% DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	Media		53.1747	0.59008
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	51.9854	
		Límite superior	54.3639	
	Desviación Estándar		3.95842	
	Mínimo		48.41	

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXIÓN (kg/cm ²)		
% de Fibras de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	estadístico	Desv. Error
Máximo	63.53	

Nota. Se presentan los estadísticos descriptivos y el intervalo de confianza al 95% para la resistencia a la flexión (MR) de las vigas de concreto con fibra de acero galvanizado en forma de cruz al 0% (grupo patrón) y el promedio de 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz. Los resultados incluyen la media, la desviación estándar, los límites de confianza y los valores mínimo y máximo de la resistencia.

Tabla 13

Resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) para el grupo patrón y el promedio de los grupos con 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz

PRUEBAS DE NORMALIDAD						
% DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
GRUPO PATRÓN (0%)	0.329	15	0.000	0.750	15	0.001
PROMEDIO DEL GRUPO CON 1%, 2% Y 3% DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	0.178	15	0.001	0.888	15	0.000

Nota. Se muestran los datos de las pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk realizadas para evaluar la distribución de los datos de resistencia a la flexión de las vigas del grupo patrón y el promedio de los grupos con 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado.

Interpretación

Los resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) muestran que los datos de resistencia a la flexión para el grupo patrón y el promedio del grupo con 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado no siguen una distribución normal, debido a que los resultados p fueron menores a 0.05 en ambas pruebas ($p = 0.000$ para el grupo patrón y $p = 0.001$ para el promedio de 1%, 2% y 3% de fibra).

Este resultado indica que, debido a la distribución no normal de los datos, es apropiado utilizar pruebas no paramétricas como la prueba de Kruskal-Wallis o Mann-Whitney para las comparaciones entre los grupos, ya que estas pruebas no requieren que los datos sigan una distribución normal.

Tabla 14

Resultados de la prueba de Mann-Whitney para la comparación de la resistencia a la flexión entre el grupo patrón y el promedio de los grupos con 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz

PRUEBA DE MANN-WHITNEY					
Rangos				Estadísticos de prueba	
% de Fibras de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	N	Rango promedio	Suma de rangos	Mr (kg/cm2)	
GRUPO PATRÓN (0%)	15	15.87	238.00	U de Mann-Whitney	118.000
				W de Wilcoxon	238.000
PROMEDIO DEL GRUPO CON 1%, 2% Y 3% DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	15	35.38	1592.00	Z	-3.747
				Sig. Asintótica (bilateral)	0.000

Nota. Se muestran los resultados de la prueba de Mann-Whitney para evaluar las diferencias entre el grupo patrón (0%) y el promedio de los grupos con 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz.

Interpretación

Los datos obtenidos a través de la prueba de Mann-Whitney evidencian que hay una diferencia estadísticamente significativa entre la resistencia a la flexión del grupo patrón (0%) y el promedio de los grupos con 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado, dado que el valor p (0.000) es inferior a 0.05. Esto rechaza la hipótesis nula (H_0) y confirma la hipótesis general, sugiriendo que la incorporación de fibras de acero galvanizado incide significativamente en la resistencia a la flexión del concreto en pavimento rígido. El valor U de Mann-Whitney es 118.000, y el valor Z es -3.747, lo que también refuerza la existencia de una variación significativa entre los dos grupos comparados.

Las pruebas de normalidad rechazaron la normalidad en ambos conjuntos ($p < 0.05$), por lo que se aplicó Mann-Whitney entre el patrón y el conjunto experimental agregado (1%, 2% y 3 %). Se obtuvo $U=118.000$, $Z=-3.747$, $p < 0.001$, lo que indica diferencia significativa y

respalda la HG: la adición de fibras galvanizadas en cruz incrementa la resistencia a flexión del concreto para pavimentos.

4.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1

HE1: La adición del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

HE1o: La adición del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

Tabla 15

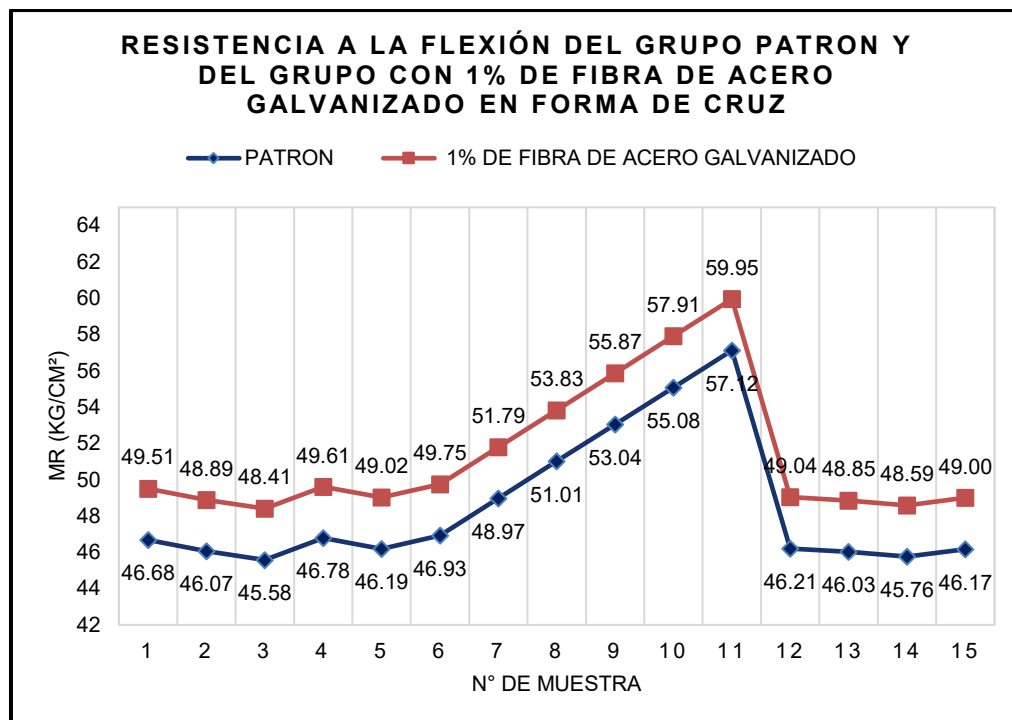
Comparación de Valores del Grupo Patrón y el Grupo con 1% de fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz

MR DEL PATRÓN Y DE LA FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ DEL 1%		
MUESTRA	MR (kg/cm²)	
	PATRÓN	1% FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ
1	46.68	49.51
2	46.07	48.89
3	45.58	48.41
4	46.78	49.61
5	46.19	49.02
6	46.93	49.75
7	48.97	51.79
8	51.01	53.83
9	53.04	55.87
10	55.08	57.91
11	57.12	59.95
12	46.21	49.04
13	46.03	48.85
14	45.76	48.59
15	46.17	49.00

Nota. Los valores del grupo patrón y de la fibra de acero galvanizado en forma de cruz para el porcentaje del grupo 1%.

Figura 9

Variación de la Resistencia a la Flexión del Grupo Patrón y del grupo con 1% de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz a los 28 Días



Nota. Se presenta la comparación de la resistencia a la flexión entre el grupo patrón y el grupo de vigas con 1% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz a los 28 días de curado, mostrando cómo varía la resistencia a medida que se incrementa el porcentaje de fibras en el concreto.

Tabla 16

Comparación de la Resistencia a la Flexión (kg/cm²) del Grupo Patrón y del grupo con 1%, de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXIÓN (kg/cm2)				
% de Fibras de Acero Galvanizado en Forma de Cruz			estadístico	Desv. Error
GRUPO PATRÓN (0%)	Media		48.5080	0.96982
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	46.4279	
		Límite superior	50.5881	
	Desviación Estándar		3.75611	
	Mínimo		45.58	
	Máximo		57.12	
GRUPO CON 1%, DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	Media		51.3347	0.97000
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	49.2542	
		Límite superior	53.4151	
	Desviación Estándar		3.75678	
	Mínimo		48.41	

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXIÓN (kg/cm²)

% de Fibras de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	estadístico	Desv. Error
Máximo	59.95	

Nota. Se presentan los estadísticos descriptivos y el intervalo de confianza al 95% para la resistencia a la flexión (MR) de las vigas de concreto con fibra de acero galvanizado en forma de cruz al 0% (grupo patrón) y el grupo con 1% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz. Los resultados incluyen la media, la desviación estándar, los límites de confianza y los valores mínimo y máximo de la resistencia.

Tabla 17

Resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) para el grupo patrón y el grupo con 1% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz

PRUEBAS DE NORMALIDAD						
% DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
GRUPO PATRÓN (0%)	0.329	15	0.000	0.750	15	0.001
GRUPO CON 1% DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	0.330	15	0.000	0.750	15	0.001

Nota. Se muestran los resultados de las pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk realizadas para evaluar la distribución de los datos de resistencia a la flexión de las vigas del grupo patrón y del grupo con un porcentaje de 1% fibras de acero galvanizado.

Interpretación

Los datos de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) evidencian que los datos de resistencia a la flexión para el grupo patrón (0%) y el grupo con 1% de fibra de acero galvanizado no siguen una distribución normal, debido a que los resultados p para ambas pruebas son inferiores a 0.05 ($p = 0.000$ para el grupo patrón y $p = 0.001$ para el grupo con 1% de fibra de acero galvanizado).

Este resultado muestra que los valores no cumplen con el supuesto de normalidad. Por lo tanto, es apropiado utilizar pruebas no paramétricas como la prueba de Kruskal-Wallis o Mann-Whitney para las comparaciones entre los grupos, ya que estas pruebas no requieren que los datos sigan una distribución normal.

Tabla 18

Resultados de la prueba de Mann-Whitney para la comparación de la resistencia a la flexión entre el grupo patrón y el grupo con 1% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz

PRUEBA DE MANN-WHITNEY					
Rangos				Estadísticos de prueba	
% de Fibras de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	N	Rango promedio	Suma de rangos	Mr (kg/cm2)	
GRUPO PATRÓN (0%)	15	11.33	170.00	U de Mann-Whitney	50.000
				W de Wilcoxon	170.000
GRUPO CON 1% DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	15	19.67	295.00	Z	-2.592
				Sig. Asintótica (bilateral)	0.010

Nota. Se muestran los resultados de la prueba de Mann-Whitney para evaluar las diferencias entre el grupo patrón (0%) y el grupo con 1% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz.

Interpretación

Los valores obtenidos a través de la prueba de Mann-Whitney evidencian que hay una diferencia estadísticamente significativa entre la resistencia a la flexión del grupo patrón (0%) y el grupo con proporción del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz, dado que el valor p (0.010) es menor a 0.05. Esto rechaza la hipótesis nula (HE_0) y confirma la hipótesis específica (HE_1), sugiriendo que la incorporación del 1% de fibra de acero galvanizado influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto en pavimento rígido. El valor U de Mann-Whitney es 50.000, y el valor Z es -2.592, lo que también refuerza la existencia de una variación considerable entre los dos grupos comparados.

El módulo de rotura promedio aumentó de 48.51 kg/cm² en el grupo patrón a 51.33 kg/cm² en el grupo experimental, lo que representa una ganancia del 5.8 %. Este incremento, junto con un tamaño de efecto moderado–alto ($r \approx 0.47$), confirma que el 1% de fibras en forma de cruz

no solo tiene significancia estadística, sino también un impacto práctico en la mejora del desempeño flexural del concreto.

4.2.3. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2

HE2: La adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

HE2o: La adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

Tabla 19

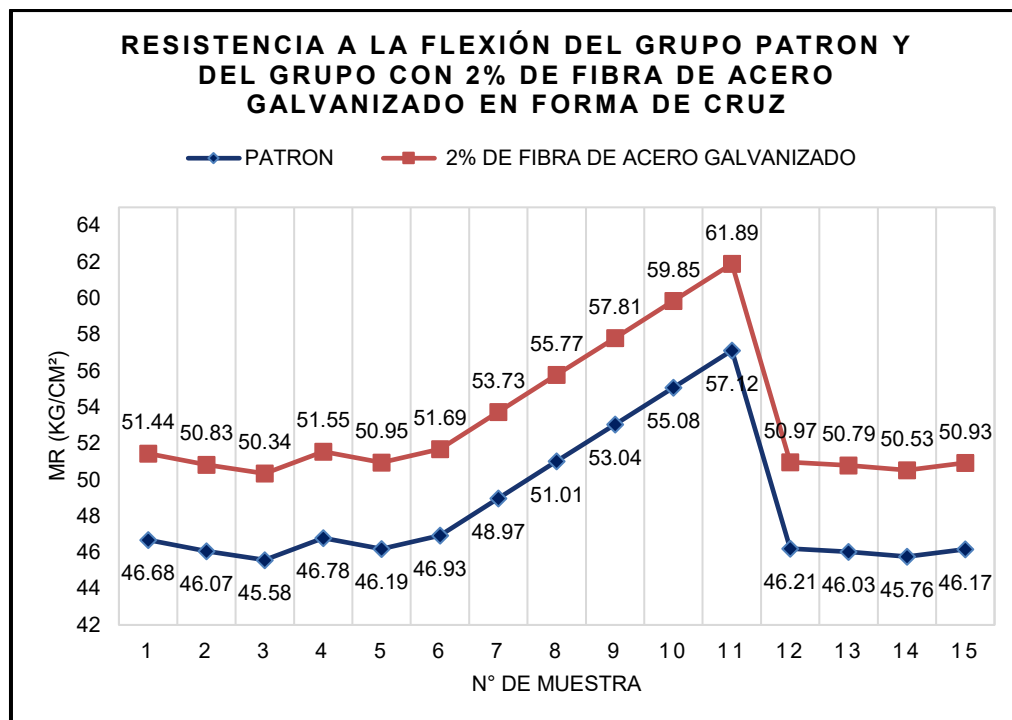
Comparación de Valores del Grupo Patrón y el Grupo con 2% de fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz

MR DEL PATRÓN Y DE LA FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ DEL 2%		
MUESTRA	MR (kg/cm²)	
	PATRÓN	2% FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ
1	46.68	51.44
2	46.07	50.83
3	45.58	50.34
4	46.78	51.55
5	46.19	50.95
6	46.93	51.69
7	48.97	53.73
8	51.01	55.77
9	53.04	57.81
10	55.08	59.85
11	57.12	61.89
12	46.21	50.97
13	46.03	50.79
14	45.76	50.53
15	46.17	50.93

Nota. Los valores del grupo patrón y de la fibra de acero galvanizado en forma de cruz para el porcentaje del grupo 2%.

Figura 10

Variación de la Resistencia a la Flexión del Grupo Patrón y del grupo con 2% de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz a los 28 Días



Nota. Se presenta la comparación de la resistencia a la flexión entre el grupo patrón y el grupo de vigas con 2% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz a los 28 días de curado, mostrando cómo varía la resistencia a medida que se incrementa el porcentaje de fibras en el concreto.

Tabla 20

Comparación de la Resistencia a la Flexión (kg/cm²) del Grupo Patrón y del grupo con 2%, de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXIÓN (kg/cm2)			
% de Fibras de Acero Galvanizado en Forma de Cruz			estadístico
			Desv. Error
GRUPO PATRÓN (0%)	Media		48.5080
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	46.4279
		Límite superior	50.5881
	Desviación Estándar		3.75611
	Mínimo		45.58
	Máximo		57.12
GRUPO CON 2%, DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	Media		53.2713
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	51.1897
		Límite superior	55.3530
	Desviación Estándar		3.75901
	Mínimo		50.34

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXIÓN (kg/cm²)

% de Fibras de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	estadístico	Desv. Error
Máximo	61.89	

Nota. Se presentan los estadísticos descriptivos y el intervalo de confianza al 95% para la resistencia a la flexión (MR) de las vigas de concreto con fibra de acero galvanizado en forma de cruz al 0% (grupo patrón) y el grupo con 2% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz. Los resultados incluyen la media, la desviación estándar, los límites de confianza y los valores mínimo y máximo de la resistencia.

Tabla 21

Resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) para el grupo patrón y el grupo con 2% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz

PRUEBAS DE NORMALIDAD

% DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
GRUPO PATRÓN (0%)	0.329	15	0.000	0.750	15	0.001
GRUPO CON 2% DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	0.330	15	0.000	0.750	15	0.001

Nota. Se presentan los resultados de las pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk realizadas para evaluar la distribución de los datos de resistencia a la flexión de las vigas del grupo patrón y del grupo con proporción del 2% fibras de acero galvanizado.

Interpretación

Los valores de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) muestran que los datos de resistencia a la flexión para el grupo patrón (0%) y el grupo con una proporción del 2% de fibra de acero galvanizado no siguen una distribución normal, debido a que los resultados p para ambas pruebas son inferiores a 0.05 ($p = 0.000$ para el grupo patrón y $p = 0.001$ para el grupo con proporción del 2% de fibras de acero galvanizado).

Este valor evidencia que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad. Por lo tanto, es apropiado utilizar pruebas no paramétricas como la prueba de Kruskal-Wallis o Mann-Whitney para las

comparaciones entre los grupos, ya que estas pruebas no requieren que los datos sigan una distribución normal.

Tabla 22

Resultados de la prueba de Mann-Whitney para la comparación de la resistencia a la flexión entre el grupo patrón y el grupo con 2% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz

PRUEBA DE MANN-WHITNEY					
Rangos				Estadísticos de prueba	
% de Fibras de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	N	Rango promedio	Suma de rangos	Mr (kg/cm ²)	
GRUPO PATRÓN (0%)	15	10.67	160.00	U de Mann-Whitney	40.000
				W de Wilcoxon	160.000
GRUPO CON 2% DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	15	20.33	305.00	Z	-3.007
				Sig. Asintótica (bilateral)	0.003

Nota. Se muestran los resultados de la prueba de Mann-Whitney para evaluar las diferencias entre el grupo patrón (0%) y el grupo con una proporción del 2% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz.

Interpretación

Los valores obtenidos a través de la prueba de Mann-Whitney evidencian que hay una diferencia estadísticamente significativa entre la resistencia a la flexión del grupo patrón (0%) y el grupo con una proporción del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz, dado que el valor p (0.003) es menor a 0.05. Esto rechaza la hipótesis nula (HE_0) y confirma la hipótesis específica (HE_2), sugiriendo que la adición del 2% de fibra de acero galvanizado influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido. El valor U de Mann-Whitney es 40.000, y el valor Z es -3.007, lo que también refuerza la existencia de una variación considerable entre los dos grupos comparados.

El módulo de rotura promedio aumentó de 48.51 kg/cm² en el grupo patrón a 53.27 kg/cm² en el grupo experimental, lo que representa una ganancia del 9.8 %. Este incremento, junto con un tamaño de efecto alto ($r \approx 0.55$), confirma que el 2% de fibras en forma de cruz no solo tiene significancia estadística, sino también un impacto práctico relevante en la mejora del desempeño flexural del concreto.

4.2.4. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3

HE3: La adición del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

HE3o: La adición del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

Tabla 23

Comparación de Valores del Grupo Patrón y el Grupo con 3% de fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz

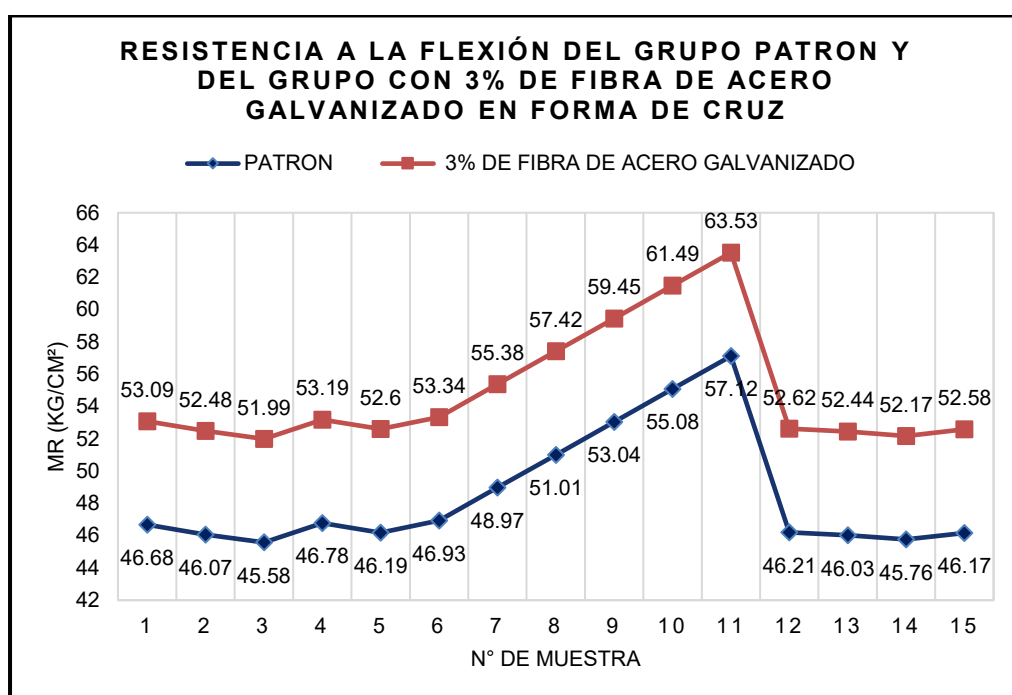
MR DEL PATRÓN Y DE LA FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ DEL 3%		
MUESTRA	MR (kg/cm2)	
	PATRÓN	3% FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ
1	46.68	53.09
2	46.07	52.48
3	45.58	51.99
4	46.78	53.19
5	46.19	52.6
6	46.93	53.34
7	48.97	55.38
8	51.01	57.42
9	53.04	59.45
10	55.08	61.49
11	57.12	63.53
12	46.21	52.62
13	46.03	52.44

MR DEL PATRÓN Y DE LA FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ DEL 3%		
MUESTRA	MR (kg/cm ²)	
	PATRÓN	3% FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ
14	45.76	52.17
15	46.17	52.58

Nota. Los valores del grupo patrón y de la fibra de acero galvanizado en forma de cruz para el porcentaje del grupo 3%.

Figura 11

Variación de la Resistencia a la Flexión del Grupo Patrón y del grupo con 3% de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz a los 28 Días



Nota. Se presenta la comparación de la resistencia a la flexión entre el grupo patrón y el grupo de vigas con 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz a los 28 días de curado, mostrando cómo varía la resistencia a medida que se incrementa el porcentaje de fibras en el concreto.

Tabla 24

Comparación de la Resistencia a la Flexión (kg/cm²) del Grupo Patrón y del grupo con 3%, de Fibra de Acero Galvanizado en Forma de Cruz

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXIÓN (kg/cm ²)				
% de Fibras de Acero Galvanizado en Forma de Cruz			estadístico	Desv. Error
GRUPO PATRÓN (0%)	Media		48.5080	0.96982
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	46.4279	
		Límite superior	50.5881	
	Desviación Estándar		3.75611	

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA FLEXIÓN (kg/cm²)

% de Fibras de Acero Galvanizado en Forma de Cruz			estadístico	Desv. Error
GRUPO CON 3%, DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	Mínimo		45.58	
	Máximo		57.12	
	Media		54.9180	0.96982
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	52.8379	
		Límite superior	56.9980	
	Desviación Estándar		3.75611	
	Mínimo		51.99	
	Máximo		63.53	

Nota. Se presentan los estadísticos descriptivos y el intervalo de confianza al 95% para la resistencia a la flexión (MR) de las vigas de concreto con fibra de acero galvanizado en forma de cruz al 0% (grupo patrón) y el grupo con 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz. Los resultados incluyen la media, la desviación estándar, los límites de confianza y los valores mínimo y máximo de la resistencia.

Tabla 25

Resultados de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) para el grupo patrón y el grupo con 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz

PRUEBAS DE NORMALIDAD

% DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
GRUPO PATRÓN (0%)	0.329	15	0.000	0.750	15	0.001
GRUPO CON 3% DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	0.329	15	0.000	0.750	15	0.001

Nota. Se presentan los resultados de las pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk realizadas para evaluar la distribución de los datos de resistencia a la flexión de las vigas del grupo patrón y del grupo con una proporción del 3% fibras de acero galvanizado.

Interpretación

Los valores de las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) evidencian que los valores de resistencia a la flexión para el grupo patrón (0%) y el grupo con una proporción del 3% de fibras de acero galvanizado no siguen una distribución normal, debido a que los

resultados p para ambas pruebas son inferiores a 0.05 ($p = 0.000$ para el grupo patrón y $p = 0.001$ para el grupo con 3% de fibra de acero galvanizado).

Este dato indica que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad. Por lo tanto, es apropiado utilizar pruebas no paramétricas como la prueba de Kruskal-Wallis o Mann-Whitney para las comparaciones entre los grupos, debido a que estas pruebas no requieren que los datos sigan una distribución normal.

Tabla 26

Resultados de la prueba de Mann-Whitney para la comparación de la resistencia a la flexión entre el grupo patrón y el grupo con 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz

PRUEBA DE MANN-WHITNEY					
Rangos				Estadísticos de prueba	
% de Fibras de Acero Galvanizado en Forma de Cruz	N	Rango promedio	Suma de rangos	Mr (kg/cm ²)	
GRUPO PATRÓN (0%)	15	9.87	148.00	U de Mann-Whitney	28.000
				W de Wilcoxon	148.000
GRUPO CON 3% DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	15	21.13	317.00	Z	-3.505
				Sig. Asintótica (bilateral)	0.00004

Nota. Se muestran los resultados de la prueba de Mann-Whitney para evaluar las diferencias entre el grupo patrón (0%) y el grupo con 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz.

Interpretación

Los valores obtenidos a través de la prueba de Mann-Whitney evidencia que hay una diferencia estadísticamente significativa entre la resistencia a la flexión del grupo patrón (0%) y el grupo con 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz, dado que el valor p (0.00004)

es inferior a 0.05. Esto rechaza la hipótesis nula ($HE3_0$) y confirma la hipótesis específica ($HE3$), sugiriendo que la incorporación de la proporción del 3% de fibras de acero galvanizado influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

El valor U de Mann-Whitney es 28.000, y el valor Z es -3.505, lo que también refuerza la diferencia significativa observada entre los dos grupos comparados.

El módulo de rotura promedio aumentó de 48.51 kg/cm² en el grupo patrón a 53.27 kg/cm² en el grupo experimental, lo que representa una ganancia del 9.8 %. Este incremento, junto con un tamaño de efecto alto ($r \approx 0.55$), confirma que el 2% de fibras en forma de cruz no solo tiene significancia estadística, sino también un impacto práctico relevante en la mejora del desempeño flexural del concreto.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Hipótesis General (HG):

HG: La adición de fibra de acero galvanizado en forma de cruz incide significativamente en la resistencia a la flexión según la ASTM C293 en el pavimento rígido, Huánuco – 2024.

Los resultados experimentales confirmaron que la adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz, en proporciones de 1 %, 2 % y 3 % respecto al peso del agregado grueso seco, incrementó de manera significativa la resistencia a la flexión del concreto para pavimentos rígidos. La prueba de Mann–Whitney arrojó un valor $p < 0.001$, lo que evidencia la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre el grupo patrón y los grupos experimentales. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se valida la hipótesis general (HG), demostrando que la incorporación de fibras en forma de cruz incide positivamente en el comportamiento flexural del concreto.

Este resultado concuerda con lo reportado por Carrillo et al. (2020), quienes al adicionar fibras metálicas tipo Dramix en distintas dosificaciones (expresadas en kg/m^3), evidenciaron incrementos considerables en la resistencia a la flexión. Aunque el presente estudio dosificó las fibras como porcentaje respecto al agregado grueso, ambos coinciden en que la incorporación de fibras metálicas refuerza la matriz cementicia al actuar como elementos de puenteo que transfieren cargas y limitan la propagación de fisuras.

De manera similar, los hallazgos son consistentes con lo señalado por Vargas y Yataco (2020), quienes al emplear fibras metálicas de acero en pavimentos rígidos registraron incrementos de hasta 37 % en la resistencia a la flexión. Pese a que su dosificación también se expresó en kg/m^3 , el patrón de resultados es semejante: el acero metálico en el concreto incrementa significativamente la resistencia flexural frente al concreto convencional.

En conjunto, los resultados obtenidos respaldan la hipótesis general y aportan evidencia experimental de que las fibras de acero galvanizado en forma de cruz constituyen una alternativa innovadora y eficaz para optimizar la capacidad flexural, el desempeño estructural y la durabilidad de los pavimentos rígidos, especialmente en condiciones de alto tránsito.

Hipótesis Específica 1 (HE1):

HE1: La adición del 1% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz, respecto al peso agregado grueso seco, influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

En este estudio, el grupo experimental con 1 % de fibras de acero galvanizado en forma de cruz alcanzó un módulo de rotura promedio de 51.33 kg/cm², mientras que el grupo patrón obtuvo 48.51 kg/cm², lo que representa un incremento del 5.8 %. Esta diferencia fue confirmada mediante la prueba de Mann–Whitney ($U = 50.000$; $Z = -2.592$; $p = 0.010$), indicando que existe una variación estadísticamente significativa. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula ($HE1_0$) y se valida la hipótesis específica (HE1).

Estos resultados son consistentes con lo señalado por Moreno y Ramírez (2021), quienes, al incorporar alambre galvanizado en proporciones de 1 % y 3 %, obtuvieron mejoras en la resistencia a flexión en comparación con el concreto patrón. Aunque el tipo de refuerzo empleado en su estudio fue alambre galvanizado y en el presente trabajo se utilizó fibras de acero en forma de cruz, en ambos casos se confirma que la adición de acero galvanizado mejora la capacidad flexural del concreto.

La mejora observada en este estudio se explica por la geometría en forma de cruz de las fibras, que actúan como elementos de puenteo capaces de restringir la propagación de microfisuras y de distribuir de manera más uniforme las tensiones internas. Esta forma de anclaje más eficiente en la matriz cementicia incrementa la capacidad de absorción de cargas antes del colapso estructural.

En conclusión, la incorporación del 1 % de fibras de acero galvanizado en forma de cruz constituye una alternativa técnica viable y económicamente eficiente, especialmente en pavimentos rígidos de tránsito medio, donde se busca mejorar la resistencia a flexión sin necesidad de recurrir a altas proporciones de refuerzo.

Hipótesis Específica 2 (HE2):

HE2: La adición del 2% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz, respecto al peso agregado grueso seco, influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

El grupo experimental con 2 % de fibras alcanzó un módulo de rotura promedio de 53.27 kg/cm², frente a los 48.51 kg/cm² del grupo patrón, lo que representa un incremento del 9.8 %. Esta diferencia fue confirmada mediante la prueba de Mann–Whitney ($U = 40.000$; $Z = -3.007$; $p = 0.003$), lo cual indica una variación estadísticamente significativa con un tamaño de efecto alto ($r \approx 0.55$). En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula ($HE2_0$) y se acepta la hipótesis específica (HE2).

Este resultado guarda relación con lo señalado por Toribio y Ugaz (2021), quienes identificaron que el 2 % de fibras metálicas recicladas constituía la proporción óptima para maximizar la resistencia flexural del concreto. Aunque en el presente estudio se emplearon fibras galvanizadas en forma de cruz y no recicladas, los hallazgos son comparables, pues ambos confirman que el 2 % representa un punto de equilibrio entre resistencia y trabajabilidad.

Se concluye que el 2 % constituye la dosificación óptima dentro del rango evaluado, al maximizar la resistencia sin presentar efectos negativos de saturación, consolidándose como una alternativa técnica eficiente para el diseño de pavimentos rígidos.

Hipótesis Específica 3 (HE3):

HE3: La adición del 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz, respecto al peso agregado grueso seco, influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.

El grupo experimental con 3 % de fibras alcanzó un módulo de rotura promedio de 54.92 kg/cm², frente a los 48.51 kg/cm² del grupo patrón, lo que representa un incremento del 13.2 %. Esta diferencia fue confirmada mediante la prueba de Mann–Whitney ($U = 28.000$; $Z = -3.505$; $p < 0.001$), lo cual indica una variación estadísticamente significativa con un tamaño de efecto alto ($r \approx 0.64$). En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula ($HE3_0$) y se confirma la hipótesis específica (HE3).

Estos resultados coinciden parcialmente con lo encontrado por Carrillo et al. (2020), quienes reportaron que el incremento de fibras metálicas mejora la resistencia, aunque señalaron que a partir de cierto porcentaje los beneficios tienden a estabilizarse. De forma similar, en este estudio se evidenció que, aunque el 3 % sigue mejorando la resistencia respecto al patrón, su ganancia adicional frente al 2 % fue reducida, sugiriendo un inicio de efecto de saturación en la mezcla.

Se concluye que, aunque el 3 % es eficaz para mejorar la resistencia a la flexión, el 2 % resulta más eficiente en términos de costo-beneficio, siendo la dosificación más recomendable para el diseño de pavimentos rígidos reforzados.

En conjunto, los resultados de esta investigación demuestran que la incorporación de fibras de acero galvanizado en forma de cruz incrementa significativamente la resistencia a la flexión del concreto para pavimentos rígidos. El 1 % generó una mejora moderada (+5.8 %), confirmando un efecto positivo inicial; el 2 % alcanzó el mayor incremento proporcional (+9.8 %), consolidándose como la dosificación óptima dentro del rango evaluado; y el 3 % produjo un aumento adicional (+13.2 %), aunque con una ganancia marginal respecto al 2 %, lo que sugiere un inicio de saturación en la mezcla. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas que identificaron un punto óptimo cercano al 2 % en el uso de fibras metálicas

(Toribio y Ugaz, 2021; Carrillo et al., 2020), y confirman que la geometría en forma de cruz favorece el anclaje y la redistribución de tensiones, potenciando la capacidad flexural del concreto. En consecuencia, se valida la hipótesis general y se concluye que el 2 % constituye la dosificación más eficiente en términos de resistencia y costo-beneficio, mientras que el 3 % ofrece mejoras adicionales que no justifican su implementación en condiciones prácticas de diseño.

CONCLUSIONES

La investigación demostró que la adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz mejora significativamente la resistencia a la flexión del concreto para pavimentos rígidos, validando la hipótesis general planteada. Los resultados obtenidos a los 28 días de curado mostraron incrementos notables en el módulo de rotura respecto al grupo patrón (sin fibras), respaldando su uso como refuerzo estructural eficaz en la industria de la construcción de pavimentos.

Respecto al primer objetivo específico, la incorporación del 1 % de fibras en forma de cruz elevó el módulo de rotura promedio de 48.51 a 51.33 kg/cm², lo que representó una ganancia del 5.8 %. Este incremento, verificado mediante la prueba de Mann–Whitney ($p = 0.010$), valida la hipótesis específica 1 y demuestra que incluso bajas proporciones de este tipo de refuerzo generan mejoras estadísticamente significativas.

Respecto al segundo objetivo específico, la adición del 2 % de fibras en forma de cruz alcanzó un módulo de rotura promedio de 53.27 kg/cm², equivalente a un incremento del 9.8 % frente al concreto patrón. Este resultado, con un tamaño de efecto alto ($r \approx 0.55$) y significancia estadística ($p = 0.003$), confirmó la hipótesis específica 2 y permitió identificar al 2 % como la dosificación óptima, ya que maximiza la resistencia sin evidenciar problemas de saturación ni pérdida de trabajabilidad.

Para el tercer objetivo específico, la incorporación del 3 % de fibras en forma de cruz generó un módulo de rotura de 54.92 kg/cm², lo que significó un incremento del 13.2 % respecto al patrón y fue estadísticamente significativo ($p < 0.001$). Sin embargo, este aumento fue ligeramente inferior al obtenido con el 2 %, lo que sugiere el inicio de un efecto de saturación en la matriz cementicia que limita la dispersión óptima de las fibras. Ello respalda la conclusión de que, aunque el 3 % sigue siendo efectivo, no resulta más eficiente en términos de costo–beneficio que el 2 %.

En general, la aplicación de fibras metálicas en forma de cruz otorga ventajas adicionales frente a fibras rectas u otro tipo de configuración, al favorecer un mejor anclaje en la matriz cementicia y actuar como elementos de puenteo que restringen la propagación de microfisuras. Por tanto, la aplicación de fibras de acero galvanizado en forma de cruz no solo mejora el desempeño mecánico del concreto, sino que constituye una alternativa técnica viable e innovadora para optimizar la durabilidad y la capacidad estructural de pavimentos rígidos en contextos urbanos y de alto tránsito, como en la región Huánuco

RECOMENDACIONES

Se recomienda la utilización del 2 % de fibras de acero galvanizado en forma de cruz en pavimentos rígidos, ya que fue la dosificación óptima identificada en esta investigación, al maximizar la resistencia a la flexión sin presentar problemas de trabajabilidad ni saturación de la mezcla.

Dado que la capacidad del concreto para soportar esfuerzos de flexión no es el único parámetro determinante en el comportamiento del concreto, se recomienda expandir la investigación hacia la resistencia a la compresión de concretos con fibra de acero galvanizado en forma de cruz, para obtener una visión más completa sobre el impacto de la fibra en las características mecánicas del concreto. La capacidad de resistencia a la compresión es fundamental para evaluar la resistencia global del concreto en condiciones de carga.

Aunque el 3 % mostró un incremento en el módulo de rotura, este no representó una mejora sustancial frente al 2 %, por lo que su aplicación debe evaluarse cuidadosamente en función del costo–beneficio y de las condiciones de obra.

En proyectos de pavimentos rígidos sometidos a alto tránsito y solicitudes intensas, se recomienda considerar la geometría en forma de cruz frente a fibras rectas, debido a su mayor capacidad de anclaje y su eficiencia en la restricción de microfisuras.

Para futuras investigaciones, se sugiere evaluar la adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz combinada con otros materiales (como fibras poliméricas o aditivos plastificantes), con el fin de analizar su comportamiento en trabajabilidad, durabilidad y desempeño a largo plazo.

Es importante realizar un análisis económico detallado para evaluar la viabilidad económica de la incorporación de fibra de acero galvanizado en forma de cruz en comparación con otros métodos de refuerzo. Este análisis debe considerar no solo los costos de la fibra de acero, sino también los beneficios a largo plazo en términos de durabilidad y mantenimiento. Además,

se debe evaluar la disponibilidad de fibra de acero galvanizado en distintas regiones para asegurar que su uso sea sostenible.

Finalmente, se recomienda desarrollar futuras investigaciones con porcentajes superiores al 3 % de fibras de acero galvanizado en forma de cruz, con el fin de determinar si existe un punto de saturación definido o si la resistencia continúa incrementándose. Asimismo, se sugiere explorar otras geometrías de fibra metálica, como fibras en gancho o espiral, para comparar su desempeño frente al modelo en forma de cruz y así optimizar las propiedades mecánicas del concreto en distintas aplicaciones estructurales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, H. (2018). *Capítulo I: Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos*. En *Diseño y construcción de pavimentos*. <https://hugoalcantara.files.wordpress.com/2014/02/disec3b1o-aashto-93.pdf>
- Asfahl, C. R. (2000). *Seguridad industrial y salud* (G. Sánchez García, Trad.; 4.^a ed.). Pearson Educación. <https://fullseguridad.net/wp-content/uploads/2017/02/seguridad-y-salud-industrial-ray-asfahl.pdf>
- Benavente, D. (2017, octubre 1). *Resistencia a la flexión*. Universidad de Alicante. <https://personal.ua.es/es/david-benavente/docencia/practicas-de-petrofisica/resistencia-a-la-flexion.html>
- Camarena Flores, A., & Díaz Garamendi, D. (2022, noviembre). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión, flexión y trabajabilidad del concreto tradicional versus un concreto utilizando escoria de acero como agregado fino*. *Revista Gaceta Técnica*, 23(1), 20–34. <https://biblat.unam.mx/hevila/Gacetatecnica/2022/vol23/no1/2.pdf>
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (2011). *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social* (2.^a ed.). Amorrortu Editores.
- Carrasco Soto, R., Barraza, A., & Cabero, J. (2011). *El enfoque cuantitativo y el objeto de investigación: La construcción del objeto de investigación desde el enfoque cuantitativo*. Editorial Académica Española.
- Carrillo León, J., Alcocer, S. M., & Alcocer Martínez de Castro, S. M. (2016). *Muros de concreto reforzados con fibras de acero: Desempeño sismo-resistente basado en ensayos en mesa vibratoria*. Ecoe Ediciones.
- Carrillo, J., Aperador, W., & González, G. (2020, julio). *Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero*. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, XIV(3), 435–450.

- Chapoñan, J., & Quispe, J. (2018). *Análisis del comportamiento en las propiedades del concreto hidráulico para el diseño de pavimentos rígidos adicionando fibras de polipropileno en el A.A.H.H Villa María - Nuevo Chimbote* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio UNS. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2724>
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE Publications.
- Dueñas Quispe, P. R., & Villanueva Villavicencio, J. L. (2019). *Análisis de resistencia del concreto en pavimentos rígidos con adición de fibras metálicas recicladas* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/111901/Due%C3%B1as_QRP-Villanueva_VJL-SD.pdf
- Enríquez Harper, G. (1996). *Manual de instalaciones eléctricas residenciales e industriales* (2.ª ed.). Editorial Limusa.
- Espinoza Rosales, J. P., & Arquíñigo Jaimes, A. J. (2022, diciembre). *Análisis comparativo de resistencia a flexión del concreto reforzado con fibras metálicas recicladas en pavimentos rígidos* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio UNHEVAL. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/7952/TIC00313E88.pdf>
- Flor Chávez, G., Robalino Cabrera, D., Yáñez, A. H., López Chipre, C., Cabrera Montes, F., & Arroyo Orozco, J. (2019, diciembre). *Determinación de cantidad óptima de fibra de acero para la elaboración de hormigón de cemento Portland para losas de pavimentos rígidos*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/336569758>
- Goytia, O. (2023, febrero 21). *¿Qué son las fibras de acero y para qué sirven? Ventajas de usos. Aceros Torices*. <https://acerostorices.com.mx/blog/que-son-las-fibras-de-acero/>

- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5.^a ed.). McGraw-Hill.
- Hibbeler, R. C. (2011). *Mecánica de materiales* (8.^a ed.). Pearson Educación de México.
- Instron. (2020). *ASTM C78: Flexural strength of concrete beams*. Instron. <https://www.instron.com/es-es/testing-solutions/astm-standards/astm-c78>
- Juárez Badillo, E. (1972). *Mecánica de suelos* (Vol. 2). Limusa.
- Juárez Viera, P. D., Sánchez Zapata, E. G., & De La Cruz Vega, S. A. (2023, agosto). *Uso de fibras de acero recicladas para mejorar el comportamiento estructural de pavimentos rígidos*. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 27, 8–18. <https://ve.scielo.org/pdf/uct/v27n120/2542-3401-uct-27-120-8.pdf>
- La Asociación Española de Galvanización (ATEG). (2019). *Preguntas frecuentes sobre galvanizado*. ATEG. <https://www.ateg.es/la-galvanizacion/preguntas-frecuentes>
- Lamond, J. F., & Pielert, J. H. (2016). *Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials*. ASTM International.
- Lara, G. (2023, agosto 1). *¿Es seguro el concreto en pavimentos? Ventajas y desventajas de usarlo en carreteras*. *Obras*. <https://obras.expansion.mx/infraestructura/2023/08/01/concreto-en-pavimentos-ventajas-y-desventajas>
- Lozada, J. (2014, diciembre). *Investigación aplicada*. *CIENCIAMÉRICA*, 3, 33–39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- Mallqui Aguilar, K. K. (2023). *Análisis de resistencia a la flexión del concreto en pavimentos rígidos con adición de fibras de caucho reciclado*. *Pillco Marca, Huánuco – 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional

Hermilio Valdizán]. Repositorio UNHEVAL.
<https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/9479>

Meprosa Construcciones. (2022, junio 7). *Importancia de las terracerías*. Meprosa Construcciones.
<https://meprosaconstrucciones.mx/importancia-de-las-terracerias/>

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible & Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. (2021). *EHE 08 versión en castellano*. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.
<https://www.mitma.gob.es/organos-colegiados/mas-organos-colegiados/comision-permanente-del-hormigon/cph/instrucciones/ehe-08-version-en-castellano>

Moreno Meza, J. J., & Ramírez Rondan, R. N. (2021). *Evaluación del concreto reforzado con fibras de acero recicladas para mejorar las propiedades de un pavimento rígido* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/73777/Moreno_MJJ-SD.pdf

National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). (2017, enero). *CIP 16 - Resistencia a flexión del concreto*. Concrete Supply Co.
<https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/16pes.pdf>

Norma Técnica Peruana (NTP). (2012, septiembre 26). *Ensayo de flexión compresiva* – NTP 339078.
<https://www.studocu.com/pe/document/instituto-de-educacion-superior-tecnologico-publico-naranjillo/educacion-primaria/pdf-ntp-339078-ensayo-de-flexion-compress/68734129>

NV Bekaert SA. (2021). *Datasheet Dramix 3D 4550BL_ES*. Materiales y Aditivos PESA. <https://aditivospesa.com/wp-content/uploads/2022/03/Fichas-tecnicas-DRAMIX-MX.pdf>

Pérez White, T. (1992). *Resistencia de materiales*. Ediciones Universidad de Salamanca.

Reyes, A. (2021, junio 9). *14001 ISO*. Ática Ingeniería. <https://aticaingenieria.cl/14001-iso-que-es-para-que-sirve/>

Rico Rodríguez, A., & Castillo, H. de. (1981). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas* (Vol. 2). Limusa.

Riesco, S. (2021, noviembre 19). *Norma ISO 9001: ¿qué es y para qué sirve?* FormaZion.com. https://www.formazion.com/noticias_ formacion/norma-iso-9001-que-es-y-para-que-sirve-org-6833.html

Shen, C., Rawls, H. R., & Esquivel-Upshaw, J. F. (2022). *PHILLIPS: Ciencia de los materiales dentales* (13.^a ed.). Elsevier Health Sciences.

Toribio Huamani, D. R., & Ugaz Arenas, J. A. (2021). *Evaluación del concreto reforzado con fibras de acero recicladas para mejorar las propiedades de un pavimento rígido* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Martín de Porres]. Repositorio USMP. https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/8860/toribio_hdr-ugaz_aja.pdf

Vargas Ortiz, G. B., & Yataco Barreda, A. G. (2020). *Evaluación del concreto reforzado con fibras metálicas recicladas para pavimentos rígidos* [Tesis de licenciatura, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio URP. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3678/CIV-T030_72636801_T.pdf

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACION

Javier Danos, I. Y. (2025). *“Resistencia a flexión según ASTM C293 en pavimento rígido con adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz”* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://>

ANEXOS

ANEXOS 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN SEGÚN LA ASTM C293 EN EL PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ, HUÁNUCO 2024"

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL PG: ¿Cuál es la incidencia de la adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz en la resistencia a flexión según la ASTM C293 en el pavimento rígido, Huánuco - 2024?	OBJETIVO GENERAL OG: Determinar la incidencia de la adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz en la resistencia a la flexión según la ASTM C293 en el pavimento rígido, Huánuco – 2024.	HIPÓTESIS GENERAL HG: La adición de fibras de acero galvanizado en forma de cruz incide significativamente en la resistencia a la flexión según la ASTM C293 en el pavimento rígido, Huánuco – 2024.	TIPO DE INVESTIGACIÓN: ENFOQUE: cuantitativo Alcance o nivel: Aplicativo
PROBLEMA ESPECÍFICOS PE1: ¿De qué manera influye la adición del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco de la resistencia a flexión del concreto para pavimento rígido?	OBJETIVO ESPECÍFICOS OE1: Determinar la influencia de la adición del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS HE1: La adición del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.	DISEÑO: Cuasi experimental TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN: Observación directa
PE2: ¿De qué manera influye la adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido?	OE2: Determinar la influencia de la adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.	HE2: La adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.	INSTRUMENTOS: Fichas de campo POBLACIÓN: La población está conformada por 60 vigas de concreto para pavimento rígido de $f'c=210$ kg/cm ² que se someterán a la evaluación de resistencia a flexión según la norma ASTM C293 y la dosificación que se

PE3: ¿De qué manera influye la adición del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido?	OE3: Determinar la influencia de la adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.	HE3: La adición del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz respecto al peso agregado grueso seco influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido.	emplea será la de 0%; 1%; 2% y 3% respecto al peso seco del agregado grueso.
		VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	
		VARIABLE INDEPENDIENTE: Resistencia a flexión según la ASTM 293.	MUESTRA: La muestra seleccionada será no probabilística, se contará con 60 vigas de concreto, donde 15 de ellas pertenecen a la viga patrón con 0% de adición de fibras de acero, las siguientes 15 vigas pertenecen a la proporción de 1%, otras 15 para el 2% y 15 para el 3% de fibras de acero galvanizado respecto al peso seco del agregado grueso.
		VARIABLE DEPENDIENTE: Fibras de acero galvanizado en forma de cruz.	

ANEXOS 2
PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 12

Adición del desmoldante a los moldes prismas rectangulares para vigas de 50 x 15 x 15 cm



Nota: se le cubrirá las paredes de los moldes de las vigas con un desmoldante para mayor facilidad para Desencofrar.

Figura 13

Selección del agregado fino



Nota: se recolectó el agregado fino de la cantera de Andabamba según la mezcla diseñada para las vigas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

Figura 14

Selección del agregado Grueso



Nota: se recolectó material granular grueso proveniente de la cantera de Andabamba según el diseño de mezcla para las vigas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

Figura 15

Pesaje del agregado fino según el diseño de mezcla de concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$



Nota: se pesará el agregado fino según mezcla diseñada para concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo indica la norma ACI 211.

Figura 16

Pesaje del agregado grueso según el diseño de mezcla de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$



Nota: se pesará el agregado grueso según el diseño de la mezcla de concreto con una resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ como lo indica la norma ACI 211.

Figura 17

Pesaje del agua según el diseño de mezcla concreto para las vigas de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$



Nota: se pesará el agua según mezcla diseñada para concreto con una resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ como lo indica la norma ACI 211.

Figura 18

Pesaje del cemento tipo I según el diseño de mezcla concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$



Nota: se pesará el cemento tipo I según mezcla diseñada para concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo indica la norma ACI 211.

Figura 19

Pesaje de las adiciones de 1% y 2% de fibras de acero galvanizado en forma cruz



Nota: se pesarán las muestras 1% y 2% de fibras de acero galvanizado en forma cruz para añadir al concreto con una resistencia de $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

Figura 20

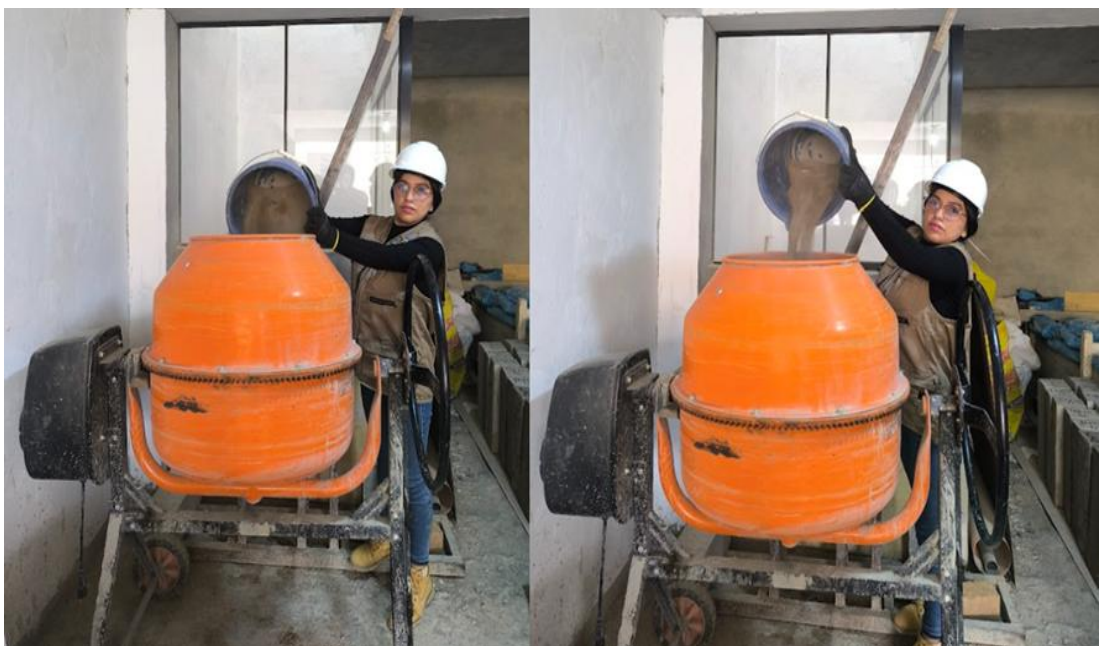
Pesaje de las adiciones de 3% de fibras de acero galvanizado en forma cruz



Nota: se pesarán las muestras 3% de fibras de acero galvanizado en forma cruz para añadir al concreto con una resistencia de $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

Figura 21

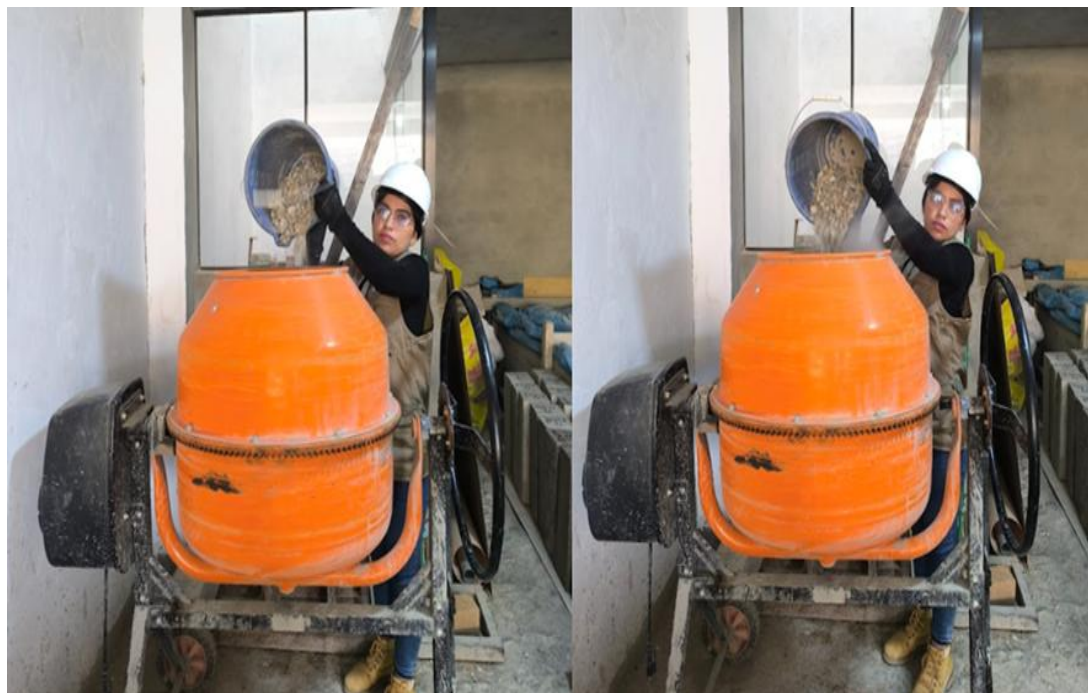
Adición del agregado fino al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$



Nota: Proceso de elaboración de la matriz del concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo indica la norma ACI 211, agregado fino tamaño máximo nominal N° 4 según la NTP 400.012.

Figura 22

Adición del agregado grueso al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$



Nota: Proceso de elaboración de la matriz del concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo indica la norma ACI 211, agregado grueso tamaño máximo nominal $3/4"$ según la NTP 400.012.

Figura 23

Adición de agua al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y con adiciones de 1,2 y 3 % de fibra de acero galvanizado en forma de cruz



Nota: Proceso de elaboración de la matriz del concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo indica la norma ACI 211, para la elaboración del concreto el agua tiene que ser libre de impurezas (agua potable) según la NTP 339.088.

Figura 24

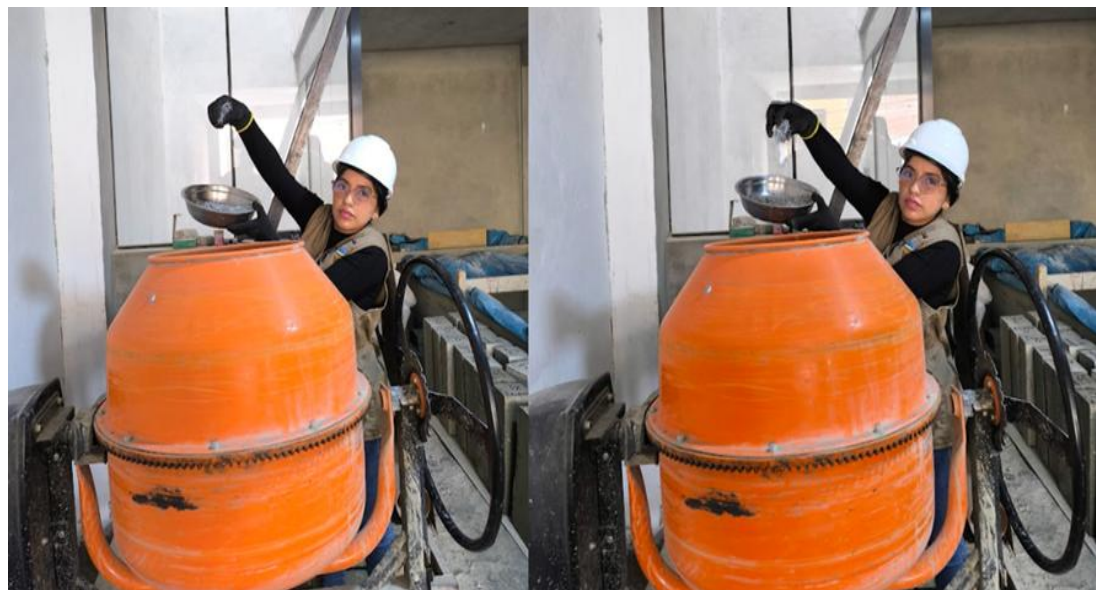
Adición del cemento al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y con adiciones de 1% ,2% y 3 % de fibras de acero galvanizado en forma cruz



Nota: Proceso de elaboración de la matriz del concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo indica la norma ACI 211, para la elaboración del concreto se usa el cemento tipo I especificado en la NTP 334.009.

Figura 25

Adición del 1% de fibra de acero galvanizado en forma cruz al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$



Nota: Proceso de elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo indica la norma ACI 211, se usará la adición de una proporción de 1% de fibras de acero galvanizado en forma cruz para la elaboración de vigas de concreto para ser ensayadas en la resistencia a la flexión según la ASTM C 293.

Figura 26

Adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$



Nota: Proceso de elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo indica la norma ACI 211, se usará la adición de una proporción del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz para la elaboración de vigas de concreto para ser ensayadas en la resistencia a la flexión según la ASTM C 293.

Figura 27

Adición del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz al trompo para la elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$



Nota: Proceso de elaboración de la mezcla de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo indica la norma ACI 211, se usará la adición de una proporción del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz para la elaboración de vigas de concreto para ser ensayadas en la resistencia a la flexión según la ASTM C 293.

Figura 28

Ensayo del SLUMP para determinar su asentamiento del concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$



Nota: Proceso del ensayo del SLUMP se tendrá que compactar con 25 golpes a cada 1/3 de volumen por capa usando una varilla redondeada de 16mm de diámetro y aproximado de 600 mm de longitud según lo indica la NTP. 339.035.

Figura 29

Ensayo del SLUMP para determinar su asentamiento del concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$



Nota: Proceso del ensayo del SLUMP al terminar la compactación de los 25 golpes por cada capa 1/3 se levantará el molde y se invertirá para poder medir desde su base y poder determinar su asentamiento lo cual dio una medida de 4" (plástica) según lo indica la NTP. 339.035.

Figura 30

Elaboración de vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con medidas de $50 \times 15 \times 15 \text{ cm}$ patrón y con adición de 1, 2 y 3 % de fibra de acero galvanizado en forma de cruz



Nota: Proceso de elaboración de vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$, se compactará a cada 1/2 de volumen por capa usando una varilla redondeada de 16mm de diámetro y aproximado de 600 mm de longitud se nivelará el concreto al ras con una plancha de pulir según lo indica la ASTM C 293

Figura 31

Proceso de fraguado de las vigas de concreto con una resistencia de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 1%, 2% y 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz



Nota: se nivelará el concreto al ras con una plancha de pulir y se dejará fraguar en un periodo de 24 horas según lo indica la ASTM C 293.

Figura 32

Muestra poblacional de las vigas de concreto



Nota: En la foto se muestra la foto poblacional de las vigas de concreto patrón y con adición de 1%, 2%, 3% de fibra de acero galvanizado en forma de cruz.

Figura 33

trazos de los apoyos para realizar el ensayo de resistencia a la flexión con una carga al centro ASTM C 293



Nota: Las vigas de concreto con una resistencia $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con medidas de $50 \times 15 \times 15$ cm patrón y con adición de una proporción del 1%, 2%, 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz se trazarán los apoyos con medidas de una 1" a los extremos y una luz de $L/2$ según el diagrama estipulado en la ASTM C 293.

Figura 34

Ensayo de resistencia a la flexión de Las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ a los 28 días de curado (Patrón)



Nota: se aplicará una carga constante de una velocidad de 0,9 MPa/min y 1,2 MPa/min de a las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo estipula la ASTM C 293.

Figura 35

Rotura de las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ a los 28 días de curado (Patrón)



Nota: se registra la carga máxima que dio la prensa digital Stye 2000 de las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ a los 28 días de curado (Patrón).

Figura 36

Ensayo de resistencia a la flexión de Las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adicción de 1% de la viruta metálica a los 28 días de curado



Nota: se aplicará una carga constante de una velocidad de 0,9 MPa/min y 1,2 MPa/min de a las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo estipula la ASTM C 293.

Figura 37

Rotura de las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adicción de 1% de fibra de acero galvanizado en forma cruz a los 28 días de curado



Nota: se registra la carga máxima que dio la prensa digital Sty 2000 de las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adicción de 1% de la viruta metálica a los 28 días de curado.

Figura 38

Ensayo de resistencia a la flexión de Las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adicción de 2% de fibra de acero galvanizado en forma cruz a los 28 días de curado



Nota: se aplicará una carga constante de una velocidad de 0,9 MPa/min y 1,2 MPa/min de a las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo estipula la ASTM C 293.

Figura 39

Rotura de las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adicción de 2% de fibra de acero galvanizado en forma cruz a los 28 días de curado



Nota: se registra la carga máxima que dio la prensa digital Stye 2000 de las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adicción de 2% de fibra de acero galvanizado en forma cruz a los 28 días de curado.

Figura 40

Ensayo de resistencia a la flexión de Las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición del 3% de fibra de acero galvanizado en forma cruz a los 28 días de curado



Nota: se aplicará una carga constante de una velocidad de 0,9 MPa/min y 1,2 MPa/min de a las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ como lo estipula la ASTM C 293.

Figura 41

Rotura de las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición del 3% de fibra de acero galvanizado en forma cruz a los 28 días de curado



Nota: se registra la carga máxima que dio la prensa digital Sty 2000 de las vigas de concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición del 3% de fibra de acero galvanizado en forma cruz a los 28 días de curado.

ANEXO 3
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

PyS

EQUIPOS

Comercialización de Equipos
Para Laboratoria - Ingeniería Civil
Suelos - Asfaltos - Concreto

CERTIFICADO DE CALIDAD

El equipo identificado en el presente documento ha sido inspeccionado, y revisado de acuerdo con procedimientos estándar, se establece y se encuentra que está dentro de las tolerancias prescritas.

NOMBRE DEL PRODUCTO: PRENSA DE CONCRETO.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: La máquina de prueba de compresión hidráulica se utiliza para la prueba de compresión de hormigón y otros materiales de construcción, carga manual, visualización digital del valor de la presión y la relación de carga.

CARACTERÍSTICAS:

Carga manual, Cubierta protectora

Capacidad de carga máxima: 2000 kN

Espacio de compresión: 360 mm

Carrera del pistón: 120 mm

Tamaño de las placas de compresión superiores: 300 mm

Tamaño de las placas de compresión inferiores: 300 mm

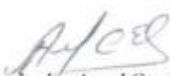
Dimensión (marco de carga: 900×400×1250 mm

Energía: 220V, 50Hz /60Hz, 1.3kW

MODELO: STYE-2000

SERIE: 221165

FECHA: 22/03/2024


Aprobado: Amed Castillo
Control de Calidad



Tel: +51 522 0723
Cel: 945 183 033
945 181 317 / 970 055 989



ventas@pys.pe
apozo@pys.pe
www.pys.pe



Calle 4, Mz. F1 Lt. 5
Urb. Virgen del Rosario - Lima 31



ANEXO 4
RESULTADOS DE LABORATORIO

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS FINOS Y
AGREGADOS GRUESOS.**

Contenido de Humedad de los agregados Gruesos y agregados Finos.

CONTENIDO DE HUMEDAD

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD		
NORMA	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127		
CANTERA	ANDABAMBA	FECHA DE MUESTREO	19/10/2024
UBICACIÓN	HUANUCO	FECHA DE ENSAYO	19/10/2024

AGREGADO FINO

ID	Descripción	Ensayo N°		
		1	2	3
A	Peso Tara (g)	27.50	27.53	27.50
B	Peso Tara más muestra Húmeda (g)	318.10	310.60	315.40
C	Peso Tara más muestra Seca (g)	314.20	307.10	311.30
D	Peso muestra Húmeda - P_h (g), $D = B - A$	290.60	283.07	287.90
E	Peso muestra Seca - P_s (g), $E = C - A$	286.70	279.57	283.80
F	Peso del Agua (g), $F = B - C$	3.90	3.50	4.10
G	Contenido de Humedad (W%) $= \frac{P_h - P_s}{P_s} \cdot 100$	1.36%	1.25%	1.44%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (W%)		1.35%		

AGREGADO GRUESO

ID	Descripción	Ensayo N°		
		1	2	3
A	Peso Tara (g)	28.71	28.68	28.74
B	Peso Tara más muestra Húmeda (g)	231.50	235.20	233.20
C	Peso Tara más muestra Seca (g)	230.13	233.95	231.81
D	Peso muestra Húmeda - P_h (g), $D = B - A$	202.79	206.52	204.46
E	Peso muestra Seca - P_s (g), $E = C - A$	201.42	205.27	203.07
F	Peso del Agua (g), $F = B - C$	1.37	1.25	1.39
G	Contenido de Humedad (W%) $= \frac{P_h - P_s}{P_s} \cdot 100$	0.68%	0.61%	0.68%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (W%)		0.66%		



AQUINO GARCIA KEVIN JOEL
TEC. LABORATORISTA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Samuel Juanito Falcon Pardaz
Ingeniero Civil
Reg. CIP. N° 218968

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.

GRANULOMETRÍA

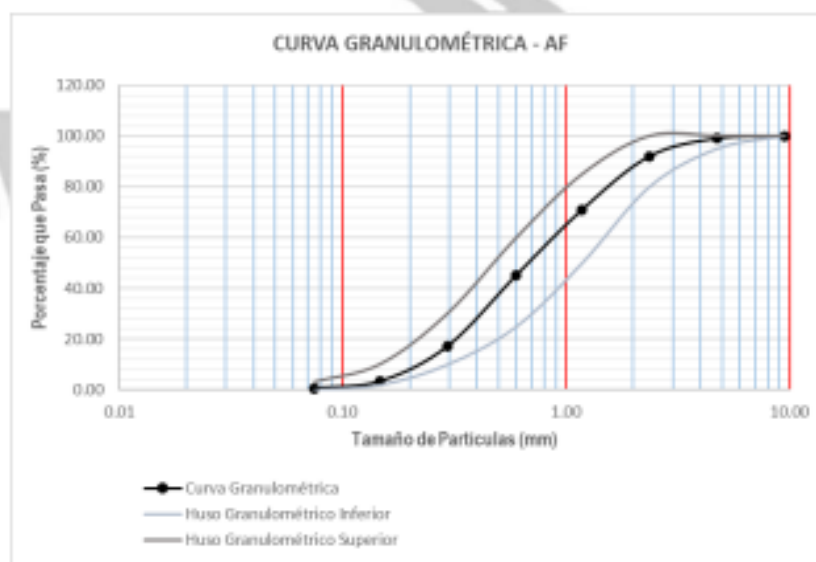
ENSAYO	GRANULOMETRÍA		
NORMA	MTC E204 / ASTM C136 / NTP 400.012		
CANTERA	ANDABAMBA	FECHA DE MUESTREO	19/10/2024
UBICACIÓN	HUANUCO	FECHA DE ENSAYO	19/10/2024

AGREGADO FINO		PESO MUESTRA SECA, Ws (gr)		1,000.00 gr			
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA		
(pulg)	(mm)	(gr)	(%)	(%)	ARENA	ESPECIFICACIÓN	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N° 4	4.75	8.75	0.88	0.88	99.12	95	100
N° 8	2.36	70.69	7.07	7.95	92.05	80	100
N° 16	1.18	209.54	20.96	28.90	71.10	50	85
N° 30	0.60	258.96	25.90	54.80	45.20	25	60
N° 50	0.30	281.32	28.14	82.94	17.06	10	30
N° 100	0.15	137.89	13.79	96.73	3.27	2	10
N° 200	0.075	28.09	2.81	99.54	0.46	0	3
FONDO		4.58	0.46	100.00	0.00		
		999.82	100.00				

Error: 0.0180%

Ensayo Aceptado

Módulo de Finura Agregado Fino	2.72
$M.F. = \frac{\%ret. Acum\ malla (N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$	




 AQUINO GARCÍA KEVIN JHOEL
 TEC. LABORATORISTA DE SUELOS,
 CONCRETO Y PAVIMENTOS


 Ing. Samuel Jussito Polanco Pardase
 Ingeniero Civil
 Reg. CIP. N° 218968

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO.

GRANULOMETRÍA

ENSAYO	GRANULOMETRÍA		
NORMA	MTC E204 / ASTM C136 / NTP 400.012		
CANTERA	ANDABAMBA	FECHA DE MUESTREO	19/10/2024
UBICACIÓN	HUANUCO	FECHA DE ENSAYO	19/10/2024

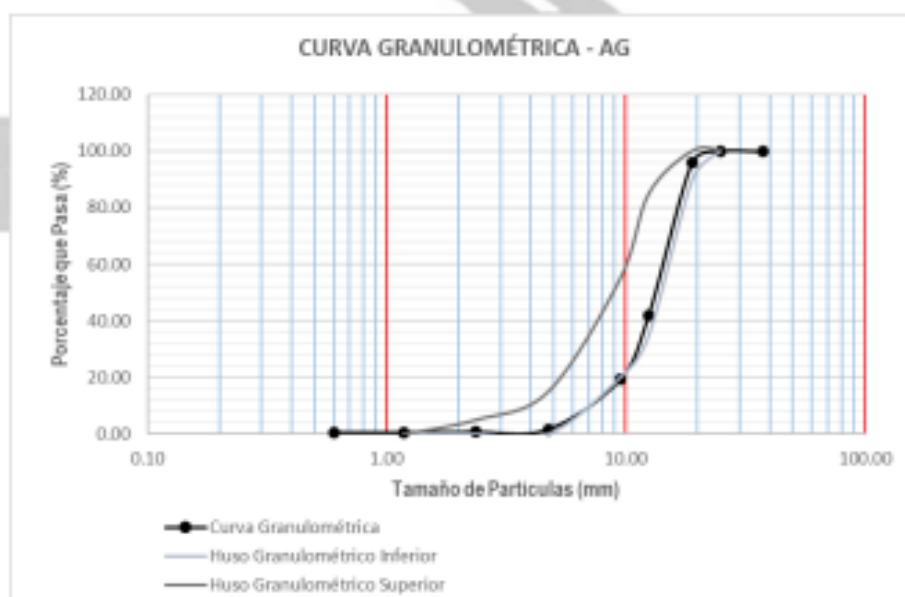
AGREGADO GRUESO		PESO MUESTRA SECA, Ws (gr)		5,000.00 gr			
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA		
(pulg)	(mm)	(gr)	(%)	(%)	GRAVA	ESPECIFICACIÓN	
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	209.00	4.18	4.18	95.82	90	100
1/2"	12.50	2,701.00	54.03	58.21	41.79	35	85
3/8"	9.50	1,111.00	22.22	80.43	19.57	20	55
N° 4	4.75	885.00	17.70	98.13	1.87	0	15
N° 8	2.36	51.34	1.03	99.16	0.84	0	5
N° 16	1.18	7.05	0.14	99.30	0.70	0	0
N° 30	0.60	6.62	0.13	99.43	0.57		
FONDO		28.27	0.57	100.00	0.00		
		4999.28	100.00				

Error: 0.0144%

Ensayo Aceptado

Módulo de Finura Agregado Grueso	6.81
$M.F. = \frac{\% \text{Ret. Acum. malla } (N^{\circ} 1.1/2" + N^{\circ} 2/4" + N^{\circ} 3/8" + N^{\circ} 4 + N^{\circ} 8 + N^{\circ} 16 + N^{\circ} 30 + N^{\circ} 50 + N^{\circ} 100)}{100}$	

Tamaño Máximo Nominal Agregado Grueso	3/4"
"Está dado por la abertura de la malla inmediata superior a la que retiene el 15% acumulado, o más del agregado grueso tamizado"	



**PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS
AGREGADOS FINO Y AGREGADOS GRUESOS.**

Peso unitario y vacío de los agregados fino y Agregados gruesos.

PESO UNITARIO Y VACÍO DE LOS AGREGADOS

ENSAYO	PESO UNITARIO Y VACÍO DE LOS AGREGADOS		
NORMA	MTC E203 / ASTM C29 / NTP 400.017		
CANTERA	ANDABAMBA	FECHA DE MUESTREO	19/10/2024
UBICACIÓN	HUANUCO	FECHA DE ENSAYO	19/10/2024

Diámetro del Cilindro Metálico	23.00 cm
Altura del Cilindro Metálico	24.08 cm

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO						
AGREGADO FINO		Tamaño Máximo Nominal (TMN)		< 1/2"	Volumen Molde	0.01000 m³
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADOS
A	Peso del Molde + AF Compactado	kg	21.62	21.84	21.83	
B	Peso del Molde	kg	3.54	4.79	4.79	
C	Peso del AF Compactado, C = A - B	kg	18.08	17.05	17.04	
D	PESO UNITARIO COMPACTADO D = C / Vol. Molde	kg/m³	1,807.16	1,704.21	1,703.21	1,738.19
E	Peso del Molde + AF Suelto	kg	20.15	20.24	20.19	
F	Peso del AF Suelto, F = E - B	kg	16.61	15.45	15.40	
G	PESO UNITARIO SUELTO G = F / Vol. Molde	kg/m³	1,660.23	1,544.28	1,539.28	1,581.26

Diámetro del Cilindro Metálico	23.00 cm
Altura del Cilindro Metálico	24.08 cm

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO						
AGREGADO GRUESO		Tamaño Máximo Nominal (TMN)		3/4"	Volumen Molde	0.01000 m³
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADO
A	Peso del Molde + AG Compactado	kg	26.29	26.20	26.41	
B	Peso del Molde	kg	5.82	5.82	5.82	
C	Peso del AG Compactado, C = A - B	kg	20.47	20.38	20.59	
D	PESO UNITARIO COMPACTADO D = C / Vol. Molde	kg/m³	2,046.05	2,037.05	2,058.04	2,047.05
E	Peso del Molde + AG Suelto	kg	29.43	28.41	30.81	
F	Peso del AG Suelto, F = E - B	kg	23.61	22.59	24.99	
G	PESO UNITARIO SUELTO G = F / Vol. Molde	kg/m³	2,359.90	2,257.95	2,497.84	2,371.90



MONTAÑA
 AQUINO GARCIA KEVIN JHOEL
 TEC. LABORATORISTA DE SUELOS,
 CONCRETO Y PAVIMENTOS


 Ing. Juanito Polanco
 Ingeniero Civil
 Reg. CIP. N° 218968

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN – AGREGADO FINO.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - AF

ENSAYO	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - AF		
NORMA	MTC E205 / ASTM C128 / NTP 400.022		
CANTERA	ANDABAMBA	FECHA DE MUESTREO	19/10/2024
UBICACIÓN	HUANUCO	FECHA DE ENSAYO	19/10/2024

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADOS
A	Peso Saturado Superficialmente Seco del Suelo (Pss)	gr	500.00	500.00	500.00	
B	Peso del frasco + Agua hasta marca de 500ml	gr	1,296.83	1,297.81	1,296.16	
C	Peso del frasco + Agua + Pss, $C = A + B$	gr	1,796.83	1,797.81	1,796.16	
D	Peso del frasco + Pss + Agua hasta la marca de 500ml	gr	1,595.62	1,605.85	1,605.64	
E	Volumen de masa + Volumen de vacío, $E = C - D$	cm ³	201.21	191.96	190.52	
F	Peso seco del suelo (en estufa a 105°C ± 5°C)	gr	494.53	494.56	493.34	
G	Volumen de masa, $G = E - (A - F)$	cm ³	195.74	186.52	183.86	
H	PESO ESPECÍFICO BULK (base seca) $H = F / E$	gr/cm ³	2.46	2.58	2.59	2.54
I	PESO ESPECÍFICO (base saturada) $I = A / E$	gr/cm ³	2.48	2.60	2.62	2.57
J	PESO ESPECÍFICO APARENTE (base seca) $J = F / G$	gr/cm ³	2.53	2.65	2.68	2.62
K	ABSORCIÓN $K = [(A - F) / F] * 100$	%	1.11%	1.10%	1.35%	1.19%



AQUINO GARCIA KEVIN JHOEL
TÉC. LABORATORISTA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

[Firma]
Ing. Samuel Juanito Falcon Pardo
Ingeniero Civil
Reg. CIP. N° 218968

MONTAÑA

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN – AGREGADO GRUESO.

Peso específico y absorción – Agregado Grueso.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN - AG

ENSAYO	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN - AG		
NORMA	MTC E206 / ASTM C127 / NTP 400.021		
CANTERA	ANDABAMBA	FECHA DE MUESTREO	19/10/2024
UBICACIÓN	HUANUCO	FECHA DE ENSAYO	19/10/2024

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADOS
A	Peso Saturado Superficialmente Seco del Suelo en aire	gr	3,041.04	3,060.04	3,076.04	
B	Peso Saturado Superficialmente Seco del Suelo en agua	gr	1,872.04	1,896.04	1,878.04	
C	Volumen de masa + Volumen de vacío, $C = A - B$	gr	1,169.00	1,164.00	1,198.00	
D	Peso seco del suelo (en estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)	gr	3,020.04	3,038.04	3,030.04	
E	Volumen de masa, $E = C - (A - D)$	cm ³	1,148.00	1,142.00	1,152.00	
F	PESO ESPECÍFICO BULK (base seca) $= D / C$	gr/cm ³	2.58	2.61	2.53	2.57
G	PESO ESPECÍFICO (base saturada) $G = A / C$	gr/cm ³	2.60	2.63	2.57	2.60
H	PESO ESPECÍFICO APARENTE (base seca) $H = D / E$	gr/cm ³	2.63	2.66	2.63	2.64
I	ABSORCIÓN $I = [(A - D) / D] * 100$	%	0.70%	0.72%	1.52%	0.98%



MONTAÑA

Kevin Jhoel Aquino García
AQUINO GARCIA KEVIN JHOEL
 TEC. LABORATORISTA DE SUELOS,
 CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Samuel Juanito Polanco Pardave
Ing. Samuel Juanito Polanco Pardave
 Ingeniero Civil
 Reg. CIP. N° 218968

MONTAÑA

ABRASIÓN AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS.

ABRASIÓN AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS

ENSAYO	ABRASIÓN AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS		
NORMA	MTC E207 / ASTM C131 / NTP 400.019		
CANTERA	ANDABAMBA	FECHA DE MUESTREO	19/10/2024
UBICACIÓN	HUANUCO	FECHA DE ENSAYO	19/10/2024

ABRASIÓN AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADOS
A	Peso muestra total	gr	5,006.00	5,004.00	5,008.00	
B	Peso retenido en tamiz N° 12	gr	3,247.21	3,146.10	3,451.14	
C	DESGASTE A LA ABRASIÓN LOS ÁNGELES $C = [(A - B) / A] * 100$	%	35.13%	37.13%	31.09%	34.45%



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - MÉTODO ACI 211



MONTAÑA
LABORATORIO DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

MÉTODO ACI

a) REQUISITOS

Resistencia Especificada (f'_{cu})	210 kg/cm ²	Desviación Estándar (S)	84 kg/cm ²
Uso (Tipo de Estructural)	Vigas	Asentamiento (Uso)	1 a 4 Pulgadas
Consistencia	Pástica	Asentamiento (Consistencia)	3 a 4 Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado		
Condiciones Específicas de Exposición	Sin Condición Especial		
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No		

b) MATERIALES

○ CEMENTO	Andino Tipo I	Peso Específico	3.15 g/cm ³
○ AGUA	Potable		
○ AGREGADO FINO			
Peso Específico	2.620 g/cm ³		
Absorción	1.180%		
Contenido de Humedad	1.30%		
Módulo de Finura	2.72		
○ AGREGADO GRUESO			
Tamaño Máximo Nominal	3/4"		
Peso Específico	2.64 g/cm ³		
Peso Seco Compactado	2047.547 kg/m ³		
Absorción	0.979%		
Contenido de Humedad	0.66%		

c) DESARROLLO

1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

For = 294.000 kg/cm²

2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

TMN = 3/4"

3 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Slump = 3 a 4 Pulgadas

4 VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

205 Litro

5 CONTENIDO DE AIRE

2.0 %

6 RELACIÓN AGUA / CEMENTO

a/c Por Resistencia 0.558

a/c Por Durabilidad

A/C de diseño es 0.558

7 FACTOR CEMENTO

367.384 kg/m³

8.644 t/m³

8 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO

Vol. A.G. Seco Compactado 0.623

Peso Agr. Grueso Seco 1285.546 kg/m³

9 CÁLCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS

Cemento = 0.117 m³

Agua = 0.295 m³

Aire = 0.020 m³

Agr. Grueso = 0.487 m³

Σ Volúmenes Absolutos 0.929 m³

10 CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino 0.171 m³

Peso Agr. Fino Seco 448.096 kg/m³

11 VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento 367.384 kg/m³

Agua de Diseño 205.000 Litro

Agregado Fino Seco 448.096 kg/m³

Agregado Grueso Seco 1285.546 kg/m³



AQUINO GARCIA KEVIN JOHEL
TIC. LABORATORISTA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Samuel Jussito Polanco Paredes
Ingeniero Civil
Reg. CIP. N° 218968

ADVERTISING FUND**ARTILANO STUDIO**

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

EFECTOS DE MATERIALES CORROIDOS POR HUMEDAD DEL AGRADO

⑤ **PROPORCIÓN EN PESO**

DOSIFICACIÓN	1 - 1.238 - 3.522 - 34.108 Litros/Bolsa
--------------	---

© PERO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA.

IV) APPLICATION

**RESULTADO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
DE LAS VIGAS DE CONCRETO (PATRÓN) 28 DÍAS DE
CURADO**

Resultado del ensayo de resistencia a la flexión de las vigas de concreto (Patrón) 28 días de curado

ENSAYO:	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS EN EL CENTRO
NORMA:	NTP- 339.079 - 2012 / ASTM C 293
PROYECTO:	TESIS:"RESISTENCIA A FLEXIÓN SEGÚN ASTM C293 EN PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ"
SOLICITA:	BACH. IBETH YESENIA JAVIER DANOS
FECHA:	NOVIEMBRE - 2024
EQUIPO:	PRENSA DIGITAL STYE 2000

MUESTRA	% DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD MORTERO	CARGA MÁXIMA (KN)	CARGA MÁXIMA (Kg)	ESPECÍMENES			Mr (kg/cm ²)
							(L) cm	(b) cm	(h) cm	
M-1	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	22.89 kn	2,334.09 kg	45 cm	15 cm	15 cm	46.68 kg/cm ²
M-2	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	22.59 kn	2,303.50 kg	45 cm	15 cm	15 cm	46.07 kg/cm ²
M-3	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	22.35 kn	2,279.03 kg	45 cm	15 cm	15 cm	45.58 kg/cm ²
M-4	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	22.94 kn	2,339.19 kg	45 cm	15 cm	15 cm	46.78 kg/cm ²
M-5	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	22.65 kn	2,309.62 kg	45 cm	15 cm	15 cm	46.19 kg/cm ²
M-6	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	23.01 kn	2,346.33 kg	45 cm	15 cm	15 cm	46.93 kg/cm ²
M-7	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.01 kn	2,448.30 kg	45 cm	15 cm	15 cm	48.97 kg/cm ²
M-8	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.01 kn	2,550.27 kg	45 cm	15 cm	15 cm	51.01 kg/cm ²
M-9	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	26.01 kn	2,652.24 kg	45 cm	15 cm	15 cm	53.04 kg/cm ²
M-10	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	27.01 kn	2,754.21 kg	45 cm	15 cm	15 cm	55.08 kg/cm ²
M-11	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	28.01 kn	2,856.18 kg	45 cm	15 cm	15 cm	57.12 kg/cm ²
M-12	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	22.66 kn	2,310.64 kg	45 cm	15 cm	15 cm	46.21 kg/cm ²
M-13	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	22.57 kn	2,301.46 kg	45 cm	15 cm	15 cm	46.03 kg/cm ²
M-14	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	22.44 kn	2,288.21 kg	45 cm	15 cm	15 cm	45.76 kg/cm ²
M-15	PATRON	22/10/2024	19/11/2024	28 días	22.64 kn	2,308.60 kg	45 cm	15 cm	15 cm	46.17 kg/cm ²

$$Mr = \frac{3PL}{2bh^2}$$

En donde:

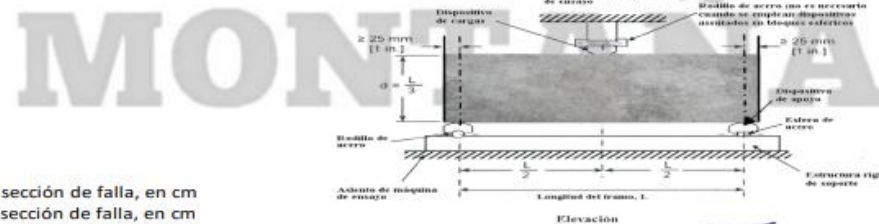
Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm²

P: Es la carga máxima de rotura en kg

L: Es la luz libre entre apoyos, cm.

b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm

h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm



PROMEDIO 48.51 kg/cm²

N° 173- Jr. Las Fresas – Pillcomarca – Cayhuayna

laboratorio.montana.ing@gmail.com

962306428

MONTAÑA
AQUINO GARCIA KEVIN JOEL
TEC. LABORATORISTA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Semaniel Juanito Palcon Pardave
Ingeniero Civil
Reg. CIP. N° 218968

**RESULTADO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
DE LAS VIGAS DE CONCRETO CON ADICIÓN DEL 1% DE
FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ A
LOS 28 DÍAS DE CURADO.**

Resultado del ensayo de resistencia a la flexión de las vigas de concreto con adición del 1% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a los 28 días de curado.

ENSAYO:	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS EN EL CENTRO
NORMA:	NTP- 339.079 - 2012 / ASTM C 293
PROYECTO:	TESIS: "RESISTENCIA A FLEXIÓN SEGÚN ASTM C293 EN PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ"
SOLICITA:	BACH. IBETH YESENIA JAVIER DANOS
FECHA:	NOVIEMBRE - 2024
EQUIPO:	PRENSA DIGITAL STYE 2000

MUESTRA	% DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD MORTERO	CARGA MÁXIMA (KN)	CARGA MÁXIMA (Kg)	ESPECÍMENES			Mr (kg/cm ²)
							(L) cm	(b) cm	(h) cm	
M-1	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.28 kn	2,475.32 kg	45 cm	15 cm	15 cm	49.51 kg/cm ²
M-2	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	23.98 kn	2,444.73 kg	45 cm	15 cm	15 cm	48.89 kg/cm ²
M-3	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	23.74 kn	2,420.26 kg	45 cm	15 cm	15 cm	48.41 kg/cm ²
M-4	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.33 kn	2,480.42 kg	45 cm	15 cm	15 cm	49.61 kg/cm ²
M-5	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.04 kn	2,450.85 kg	45 cm	15 cm	15 cm	49.02 kg/cm ²
M-6	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.40 kn	2,487.56 kg	45 cm	15 cm	15 cm	49.75 kg/cm ²
M-7	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.40 kn	2,589.53 kg	45 cm	15 cm	15 cm	51.79 kg/cm ²
M-8	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	26.40 kn	2,691.50 kg	45 cm	15 cm	15 cm	53.83 kg/cm ²
M-9	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	27.40 kn	2,793.47 kg	45 cm	15 cm	15 cm	55.87 kg/cm ²
M-10	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	28.40 kn	2,895.44 kg	45 cm	15 cm	15 cm	57.91 kg/cm ²
M-11	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	29.40 kn	2,997.41 kg	45 cm	15 cm	15 cm	59.95 kg/cm ²
M-12	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.05 kn	2,451.87 kg	45 cm	15 cm	15 cm	49.04 kg/cm ²
M-13	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	23.96 kn	2,442.69 kg	45 cm	15 cm	15 cm	48.85 kg/cm ²
M-14	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	23.83 kn	2,429.44 kg	45 cm	15 cm	15 cm	48.59 kg/cm ²
M-15	1%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.03 kn	2,449.83 kg	45 cm	15 cm	15 cm	49.00 kg/cm ²

$$Mr = \frac{3PL}{2bh^2}$$

En donde:

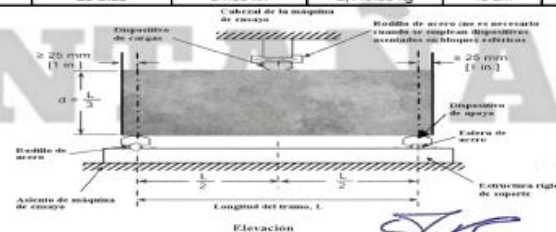
Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm²

P: Es la carga máxima de rotura en kg

L: Es la luz libre entre apoyos, cm.

b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm

h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm



PROMEDIO 51.33 kg/cm²

↑ N° 173- Jr. Las Fresas – Pillcomarca – Cayhuayna

✉ laboratorio.montana.ing@gmail.com

☎ 962306428



AQUINO GARCIA KEVIN JHOEL
TEC. LABORATORISTA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Samuel Juanito Falcon Pardave
Ingeniero Civil
Reg. CIP. N° 218968

**RESULTADO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
DE LAS VIGAS DE CONCRETO CON ADICIÓN DEL 2% DE
FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ A
LOS 28 DÍAS DE CURADO**

Resultado del ensayo de resistencia a la flexión de las vigas de concreto con adición del 2% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a los 28 días de curado.

ENSAYO:	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS EN EL CENTRO
NORMA:	NTP- 339.079 - 2012 / ASTM C 293
PROYECTO:	TESIS: "RESISTENCIA A FLEXIÓN SEGÚN ASTM C293 EN PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ"
SOLICITA:	BACH. IBETH YESENIA JAVIER DANOS
FECHA:	NOVIEMBRE - 2024
EQUIPO:	PRENSA DIGITAL STYE 2000

MUESTRA	% DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD MORTERO	CARGA MÁXIMA (KN)	CARGA MÁXIMA (Kg)	ESPECÍMENES			Mr (kg/cm²)
							(L) cm	(b) cm	(h) cm	
M-1	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.23 kn	2,572.19 kg	45 cm	15 cm	15 cm	51.44 kg/cm²
M-2	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.93 kn	2,541.60 kg	45 cm	15 cm	15 cm	50.83 kg/cm²
M-3	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.69 kn	2,517.13 kg	45 cm	15 cm	15 cm	50.34 kg/cm²
M-4	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.28 kn	2,577.29 kg	45 cm	15 cm	15 cm	51.55 kg/cm²
M-5	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.99 kn	2,547.72 kg	45 cm	15 cm	15 cm	50.95 kg/cm²
M-6	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.35 kn	2,584.43 kg	45 cm	15 cm	15 cm	51.69 kg/cm²
M-7	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	26.35 kn	2,686.40 kg	45 cm	15 cm	15 cm	53.73 kg/cm²
M-8	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	27.35 kn	2,788.37 kg	45 cm	15 cm	15 cm	55.77 kg/cm²
M-9	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	28.35 kn	2,890.34 kg	45 cm	15 cm	15 cm	57.81 kg/cm²
M-10	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	29.35 kn	2,992.31 kg	45 cm	15 cm	15 cm	59.85 kg/cm²
M-11	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	30.35 kn	3,094.28 kg	45 cm	15 cm	15 cm	61.89 kg/cm²
M-12	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.00 kn	2,548.74 kg	45 cm	15 cm	15 cm	50.97 kg/cm²
M-13	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.91 kn	2,539.56 kg	45 cm	15 cm	15 cm	50.79 kg/cm²
M-14	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.78 kn	2,526.31 kg	45 cm	15 cm	15 cm	50.53 kg/cm²
M-15	2%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	24.98 kn	2,546.70 kg	45 cm	15 cm	15 cm	50.93 kg/cm²

$$Mr = \frac{3PL}{2bh^2}$$

En donde:

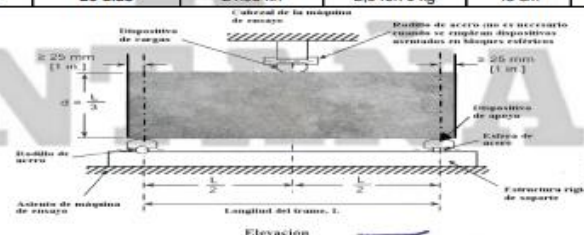
Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm²

P: Es la carga máxima de rotura en kg

L: Es la luz libre entre apoyos, cm.

b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm

h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm



PROMEDIO 53.27 kg/cm²

MONTAÑA
AQUINO GARCIA KEVIN JOEL
 TEC. LABORATORISTA DE SUELOS,
 CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Samuel Juanito Falcon Pardave
 Ingeniero Civil
 Reg. CIP. N° 218968

N° 173- Jr. Las Fresas – Pilcomarca – Cayhuayna

laboratorio.montana.ing@gmail.com

962306428

**RESULTADO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
DE LAS VIGAS DE CONCRETO CON ADICIÓN DEL 3% DE
FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ A
LOS 28 DÍAS DE CURADO.**

Resultado del ensayo de resistencia a la flexión de las vigas de concreto con adición del 3% de fibras de acero galvanizado en forma de cruz a los 28 días de curado.

ENSAYO:	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS EN EL CENTRO
NORMA:	NTP- 339.079 - 2012 / ASTM C 293
PROYECTO:	TESIS: "RESISTENCIA A FLEXIÓN SEGÚN ASTM C293 EN PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ"
SOLICITA:	BACH. IBETH YESENIA JAVIER DANOS
FECHA:	NOVIEMBRE - 2024
EQUIPO:	PRENSA DIGITAL STYE 2000

MUESTRA	% DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD MORTERO	CARGA MÁXIMA (KN)	CARGA MÁXIMA (Kg)	ESPECÍMENES			Mr (kg/cm ²)
							(L) cm	(b) cm	(h) cm	
M-1	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	26.03 kn	2,654.59 kg	45 cm	15 cm	15 cm	53.09 kg/cm ²
M-2	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.73 kn	2,623.99 kg	45 cm	15 cm	15 cm	52.48 kg/cm ²
M-3	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.49 kn	2,599.52 kg	45 cm	15 cm	15 cm	51.99 kg/cm ²
M-4	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	26.08 kn	2,659.68 kg	45 cm	15 cm	15 cm	53.19 kg/cm ²
M-5	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.79 kn	2,630.11 kg	45 cm	15 cm	15 cm	52.60 kg/cm ²
M-6	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	26.15 kn	2,666.82 kg	45 cm	15 cm	15 cm	53.34 kg/cm ²
M-7	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	27.15 kn	2,768.79 kg	45 cm	15 cm	15 cm	55.38 kg/cm ²
M-8	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	28.15 kn	2,870.76 kg	45 cm	15 cm	15 cm	57.42 kg/cm ²
M-9	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	29.15 kn	2,972.73 kg	45 cm	15 cm	15 cm	59.45 kg/cm ²
M-10	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	30.15 kn	3,074.70 kg	45 cm	15 cm	15 cm	61.49 kg/cm ²
M-11	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	31.15 kn	3,176.67 kg	45 cm	15 cm	15 cm	63.53 kg/cm ²
M-12	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.80 kn	2,631.13 kg	45 cm	15 cm	15 cm	52.62 kg/cm ²
M-13	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.71 kn	2,621.95 kg	45 cm	15 cm	15 cm	52.44 kg/cm ²
M-14	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.58 kn	2,608.70 kg	45 cm	15 cm	15 cm	52.17 kg/cm ²
M-15	3%	22/10/2024	19/11/2024	28 días	25.78 kn	2,629.09 kg	45 cm	15 cm	15 cm	52.58 kg/cm ²

$$Mr = \frac{3PL}{2bh^2}$$

En donde:

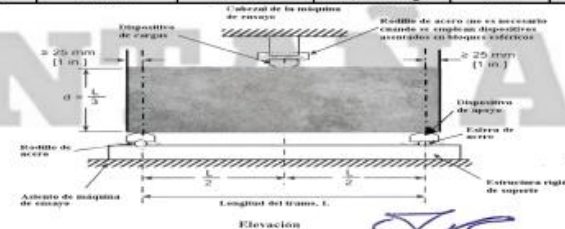
Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm²

P: Es la carga máxima de rotura en kg

L : Es la luz libre entre apoyos, cm.

b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm

h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm



PROMEDIO 54.92 kg/cm²

MONTAÑA
AQUINO GARCIA KEVIN JOEL
TÉC. LABORATORISTA DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Samuel Juanito Falcon Pardave
Ingeniero Civil
Reg. CIP. N° 218968

N° 173- Jr. Las Fresas – Pillcomarca – Cayhuayna

laboratorio.montana.ing@gmail.com

962306428

ANEXO 5
DOCUMENTOS ADMINISTRATIVOS
(RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR)

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 0304-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 21 de febrero de 2024

Visto, el Oficio N° 201-2024-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 469091-0000000689, de la Bach. **Ibeth Yesenia JAVIER DANOS**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45° inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 469091-0000000689, presentado por el (la) Bach. **Ibeth Yesenia JAVIER DANOS**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone a la Mg. Yenerit Pamela Malpartida, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - **DESIGNAR**, como Asesor de Tesis de la Bach. **Ibeth Yesenia JAVIER DANOS** a la Mg. Yenerit Pamela Malpartida, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

Artículo Segundo.- El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería – PAIC – Asesor – Mat. y Reg.Acad. – Interesado – Archivo.
BLCR/EJML/nto.

**(RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN)**

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1699-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 07 de agosto de 2024

Visto, el Oficio N° 1165-2024-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **“RESISTENCIA A FLEXIÓN SEGÚN ASTM C293 EN PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ”**, presentado por el (la) Bach. **Ibeth Yesenia JAVIER DANOS**.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 0304-2024-D-FI-UDH, de fecha 21 de febrero de 2024, perteneciente a la Bach. **Ibeth Yesenia JAVIER DANOS** se le designó como ASESOR(A) a la Mg. Yenerit Pamela Malpartida, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 1165-2024-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **“RESISTENCIA A FLEXIÓN SEGÚN ASTM C293 EN PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ”**, presentado por el (la) Bach. **Ibeth Yesenia JAVIER DANOS**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Luis Fernando Narro Jara (Presidente), Mg. Martin Cesar Valdivieso Echevarria (Secretario) y Mg. Biseth Miraval Rojas (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - **APROBAR**, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: **“RESISTENCIA A FLEXIÓN SEGÚN ASTM C293 EN PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO GALVANIZADO EN FORMA DE CRUZ”**, presentado por el (la) Bach. **Ibeth Yesenia JAVIER DANOS** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Ethel Johana Manzano Lozano
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
DECANO
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería – PAIC – Asesor – Exp. Graduando – Interesado – Archivo.
BCR/EJML/nto.