

Articulo de Tesis - Frank Llave vf5.pdf

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:567766226

Fecha de entrega

15 mar 2026, 10:36 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

15 mar 2026, 10:43 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

Articulo de Tesis - Frank Llave vf5.pdf

Tamaño del archivo

2.4 MB

21 páginas

9486 palabras

51.094 caracteres

19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 16%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 16% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	www.coursehero.com	2%
2	Internet	hdl.handle.net	<1%
3	Internet	repositorio.upeu.edu.pe	<1%
4	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2025-03-29	<1%
5	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica del Peru on 2025-12-17	<1%
6	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica de los Andes on 2026-01-14	<1%
7	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
8	Trabajos entregados	upeu on 2025-07-01	<1%
9	Trabajos entregados	Universidad TecMilenio on 2024-11-16	<1%
10	Internet	dokumen.pub	<1%
11	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-12	<1%

12	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-22	<1%
13	Trabajos entregados	University of London External System on 2021-01-25	<1%
14	Internet	repositorio.unica.edu.pe	<1%
15	Trabajos entregados	Universidad Continental on 2025-07-04	<1%
16	Trabajos entregados	Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE o...	<1%
17	Internet	pdfcookie.com	<1%
18	Internet	www.conftool.pro	<1%
19	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2018-02-23	<1%
20	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-04	<1%
21	Internet	polodelconocimiento.com	<1%
22	Trabajos entregados	Universidad Católica San Pablo on 2023-08-16	<1%
23	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-24	<1%
24	Internet	repositorio.umariana.edu.co	<1%
25	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2026-01-28	<1%

26	Internet	www.slideshare.net	<1%
27	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2017-02-09	<1%
28	Internet	worldwidescience.org	<1%
29	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2023-04-13	<1%
30	Internet	ibdigital.uib.es	<1%
31	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2024-08-23	<1%
32	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2023-11-29	<1%
33	Trabajos entregados	Universidad Tecnológica del Peru on 2025-12-07	<1%
34	Trabajos entregados	uni on 2023-11-16	<1%
35	Internet	www.dspace.espol.edu.ec	<1%
36	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2016-09-05	<1%
37	Internet	cienciadigital.org	<1%
38	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2015-09-15	<1%
39	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2024-08-13	<1%

40	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica del Peru on 2023-10-12	<1%
41	Internet	per.sika.com	<1%
42	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2018-12-31	<1%
43	Trabajos entregados	Universidad Nacional de Cajamarca on 2025-09-24	<1%
44	Internet	it.minitab.com	<1%
45	Trabajos entregados	uncedu on 2024-03-12	<1%
46	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2018-03-22	<1%
47	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-12-14	<1%
48	Trabajos entregados	Universidad de Salamanca on 2022-05-28	<1%
49	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
50	Internet	repositorio.ucp.edu.pe	<1%
51	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
52	Internet	repositoriodigital.uns.edu.ar	<1%
53	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-07-18	<1%

54	Internet	fs-morente.filos.ucm.es	<1%
55	Internet	issuu.com	<1%
56	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
57	Trabajos entregados	uncedu on 2024-11-13	<1%
58	Internet	www.forma0.es	<1%
59	Internet	www.ingenioelectronico.com.ar	<1%
60	Internet	zagan.unizar.es	<1%
61	Trabajos entregados	Southern New Hampshire University - Continuing Education on 2025-03-24	<1%
62	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-08	<1%
63	Trabajos entregados	Universidad Francisco Marroquín on 2024-10-27	<1%
64	Trabajos entregados	Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC on 2025-09-28	<1%
65	Publicación	Anabel Patricia Castillo Rodríguez, Justo García Navarro. "Compuestos de yeso co...	<1%
66	Trabajos entregados	Infile on 2015-05-10	<1%
67	Trabajos entregados	Infile on 2022-08-31	<1%

68	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-13	<1%
69	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica del Peru on 2024-12-05	<1%
70	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica del Peru on 2026-02-03	<1%
71	Internet	monedagt.terra.com	<1%
72	Internet	pt.scribd.com	<1%
73	Internet	www.clubensayos.com	<1%
74	Publicación	Aliyu Abubakar, Abbagana Mohammed, Samson Duna, Sa'eed Yusuf Umar. "Evalu...	<1%
75	Trabajos entregados	Consortio CIXUG on 2022-01-19	<1%
76	Publicación	Malenka Areas, Guadalupe Molinari, Juan-Martín Gómez-Penedo, Javier Fernánde...	<1%
77	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2017-10-31	<1%
78	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-12-15	<1%
79	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-07-12	<1%
80	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-07-22	<1%
81	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-09	<1%

82	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-20	<1%
83	Trabajos entregados	Universidad Militar Nueva Granada on 2020-03-03	<1%
84	Trabajos entregados	Universitat Oberta de Catalunya on 2026-02-15	<1%
85	Internet	docshare.tips	<1%
86	Internet	repositorio.upla.edu.pe	<1%
87	Trabajos entregados	Universidad Católica San Pablo on 2023-11-29	<1%
88	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2017-12-08	<1%
89	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-22	<1%
90	Trabajos entregados	Universitat Politècnica de València on 2022-05-18	<1%
91	Trabajos entregados	uncedu on 2025-01-31	<1%

1

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



EFFECTOS DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO, MICROFILAMENTOS DE COBRE Y ADITIVO CURADOR EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO PARA LOSAS INDUSTRIALES

1

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Frank Ruiz Llave Sucle

8

Asesor:

Mg. Lily Zea Gonzales

Juliaca, diciembre 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mg. Lily Zea Gonzales, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

11

Que la presente investigación titulada: **“EFECTOS DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO, MICROFILAMENTOS DE COBRE Y ADITIVO CURADOR EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO PARA LOSAS INDUSTRIALES”** del autor Frank Ruiz Llave Sucle tiene un índice de similitud de 20 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

3

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 13 días del mes de marzo del año 2026.



Lily Zea Gonzales

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 03 día(s) del mes de diciembre del año 2025, siendo las 15:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección (de la) presidente(a):

Mtro Leonel Chohuaras Paucar, el (la) secretario(a): Msc. Eder Mamani Chombi y los demás miembros: Dr. Edwin Parillo Escarona y el (la) asesor(a) Mg. Lily Lea Gonzales

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

Efectos de la adición de fibras de acero, microfilamentos de cobre y aditivo curador en la resistencia mecánica del concreto para losas industriales

del(los) bachiller/es: a) Frank Ruiz Llave Suelle

b)

c)

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Frank Ruiz Llave Suelle

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	14	C	Aceptable	Bueno

Bachiller (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a
Asesor/a
Bachiller (a)

Miembro
Bachiller (b)

Secretario/a
Miembro
Bachiller (c)

INDICE

52	1. INTRODUCCIÓN	6
	2. METODOLOGÍA	6
	2.1. Diseño experimental	6
	2.2. Materiales	7
	2.3. Preparación de muestras	8
	2.4. Ensayos realizados	8
	2.5. Análisis económico.....	9
	3. RESULTADOS	9
	3.1. Control de asentamiento (Slump).....	9
7	3.2. Resistencia a compresión.....	10
	3.3. Resistencia a flexión.....	10
	3.4. Análisis estadístico	11
66	4. DISCUSION.....	15
	5. CONCLUSIONES	16
	6. REFERENCIAS / REFERENCES	18
	7. ANEXOS	19

11

Efectos de la adición de fibras de acero, microfilamentos de cobre y aditivo curador en la resistencia mecánica del concreto para losas industriales

91

Effects of the addition of steel fibers, copper microfilaments and curing additive on the mechanical resistance of concrete for industrial slabs

Autor: F. Llave ^(a)

RESUMEN

Las losas industriales están sometidas a cargas dinámicas y condiciones severas, lo que exige concretos con alto desempeño mecánico. Sin embargo, el concreto tradicional presenta limitaciones en tracción y flexión, lo que compromete su durabilidad y resistencia ante esfuerzos repetitivos. Este estudio tiene como objetivo evaluar los efectos de incorporar fibras de acero (FA), microfilamentos de cobre (MFC) y un aditivo curador (AC) en la resistencia mecánica del concreto para losas industriales. Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con cuatro configuraciones: concreto patrón (sin refuerzo), y tres mezclas con 0.5%, 0.7% y 1.0% de FA y MFC, todas curadas con aditivo. Se fabricaron 48 probetas cilíndricas para ensayos de compresión y 32 prismáticas para ensayos de flexión, ensayadas a los 7, 14 y 28 días, conforme a normas ASTM y NTP. Los resultados mostraron que la dosificación con 0.7% de FA y MFC logró el mayor incremento en resistencia a compresión (22.7%), mientras que la mezcla con 1.0% alcanzó el mayor módulo de ruptura por flexión (39.8%). El análisis estadístico ANOVA confirmó diferencias significativas entre las configuraciones. Se identificó que la dosificación óptima para compresión es 0.7%, debido a su distribución homogénea sin saturar la matriz, mientras que para flexión el 1.0% ofrece mejor ductilidad y control de fisuras. Se concluye que la adición combinada de FA, MFC y AC mejora significativamente el desempeño del concreto, permitiendo su aplicación eficiente en losas industriales, con mayor resistencia, durabilidad y menor necesidad de mantenimiento a largo plazo.

Palabras clave: concreto reforzado; fibras de acero; microfilamentos de cobre; aditivo curador; losas industriales.

ABSTRACT

Industrial slabs are subjected to dynamic loads and severe conditions, which require concrete with high mechanical performance. However, conventional concrete presents limitations in tensile and flexural strength, which compromises its durability and resistance under repetitive loading. This study aims to evaluate the effects of incorporating steel fibers (SF), copper microfilaments (CMF), and a curing admixture (CA) on the mechanical strength of concrete for industrial slabs. A completely randomized experimental design was employed with four configurations: control concrete (without reinforcement) and three mixtures containing 0.5%, 0.7%, and 1.0% SF and CMF, all cured with the admixture. A total of 48 cylindrical specimens were produced for compression tests and 32 prismatic specimens for flexural tests, tested at 7, 14, and 28 days in accordance with ASTM and NTP standards. The results showed that the mixture with 0.7% SF and CMF achieved the highest increase in compressive strength (22.7%), while the 1.0% mixture reached the highest flexural modulus of rupture (39.8%). Statistical ANOVA analysis confirmed significant differences among the configurations. It was identified that the optimal dosage for compression is 0.7%, due to its homogeneous distribution without saturating the matrix, whereas for flexural performance, 1.0% provides better ductility and crack control. It is concluded that the combined addition of SF, CMF, and CA significantly improves the performance of concrete, enabling its efficient application in industrial slabs with higher strength, enhanced durability, and reduced long-term maintenance requirements.

Keywords: Reinforced concrete; steel fibers; copper microfilaments; curing additive; industrial slabs.

3

^(a)Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Juliaca (Perú).

Persona de contacto: frank25.fls@gmail.com (F. Llave)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5026-5627> (F. Llave)

1. INTRODUCCIÓN

Las losas industriales constituyen el elemento estructural más expuesto y exigido en instalaciones industriales, como indican Ríos et al. (2015), "el piso es la parte más importante de una construcción industrial. Es la base sobre la que se llevan a cabo todas las operaciones, y debe ser diseñado y construido para perdurar en el tiempo, cumpliendo su función y con el más bajo costo de mantenimiento posible."; estas losas soportan diariamente cargas extremas de maquinaria pesada, impactos, vibraciones y tráfico constante de vehículos. Sin embargo, el concreto tradicional utilizado en estas losas presenta una alarmante vulnerabilidad frente a esfuerzos de tracción y flexión, provocando un deterioro prematuro, lo que se traduce con el tiempo en fallas estructurales que pueden interrumpir las operaciones industriales, generar paros de producción y ocasionar pérdidas económicas. Este problema se agrava en ambientes industriales agresivos, donde la presencia de agentes químicos, humedad y abrasión aceleran el deterioro del concreto, reduciendo drásticamente su vida útil.

A pesar de que el concreto es un material que destaca por su alta resistencia a la compresión, presenta una significativa vulnerabilidad crítica antes esfuerzos de tracción y flexión, propiedades que son fundamentales en losas industriales debido a la naturaleza de las cargas que deben resistir. Como señala Smith (2018), "aunque el concreto es excepcionalmente fuerte en compresión, su desempeño bajo tensiones de tracción y flexión es insuficiente para soportar los esfuerzos dinámicos e imprevistos a los que son sometidas las losas industriales." Esta deficiencia hace que, a menudo, las losas de concreto sin refuerzo sean incapaces de resistir las tensiones generadas por cargas de impacto o repetidas, lo que puede dar lugar a fallas estructurales.

Para contrarrestar esta debilidad, se recurre tradicionalmente al refuerzo con acero, donde este refuerzo actúa como un mecanismo para distribuir de manera más eficiente las tensiones internas generadas por las cargas. Salsilli et al. (2020) indica que "Para losas con espesor insuficiente para resistir las cargas como en el caso de losas de hormigón simple, el refuerzo requerido debe dimensionarse utilizando las técnicas de hormigón armado recomendándose para este efecto el método descrito en el ACI 318. Sin embargo, como advierten González et al. (2020) "El uso de este método con altos niveles de tensiones en la armadura puede resultar en anchos de grietas excesivos", lo que afectaría gravemente al desempeño en el tiempo de la losa y aumentaría los costos de mantenimiento."

Este fenómeno subraya la necesidad de buscar alternativas más eficaces y duraderas, lo que ha impulsado el estudio y la implementación de nuevas tecnologías de refuerzo para mejorar el desempeño a flexión y tracción de las losas industriales. Una de las soluciones más prometedoras y que es frecuente que profesionales y/o proyectistas involucrados en los diseños de losas industriales no conozcan en la actualidad; es la incorporación de fibras. Donde la incorporación de fibras metálicas como las de acero y microfilamentos de cobre surge como una alternativa

eficaz para mejorar las propiedades mecánicas del concreto.

Estas fibras distribuyen las tensiones de manera más uniforme, reducen mejorando la ductilidad del concreto, reforzando sus propiedades para resistir esfuerzos de tracción y flexión. Además, el uso de microfilamentos de cobre no solo mejora las propiedades mecánicas del concreto, sino que también tiene beneficios adicionales, especialmente en ambientes industriales donde el concreto está expuesto a condiciones severas, como la corrosión y el desgaste. El cobre es un material altamente resistente a la corrosión, lo que mejora la longevidad del concreto al reducir la posibilidad de deterioro debido a agentes corrosivos presentes en el ambiente industrial.

Asimismo, la durabilidad de los pisos industriales se ve fuertemente influenciada por el proceso de curado del concreto, ya que un curado inadecuado puede incrementar la susceptibilidad al desgaste superficial y reducir el desempeño mecánico del material. En la actualidad, el uso de aditivos curadores constituye una alternativa al curado tradicional, permitiendo una hidratación más uniforme del concreto y una mejora potencial en sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Como se indica en los estudios de López et al. (2020), "los aditivos curadores facilitan una hidratación uniforme del concreto, lo que reduce la aparición de fisuras y mejora la resistencia a los esfuerzos mecánicos a largo plazo."

El presente estudio tiene como objetivo mejorar la resistencia a compresión y flexión del concreto mediante el uso de fibras de acero, microfilamentos de cobre y aditivos de curado. La implementación de estas tecnologías avanzadas en la mezcla de concreto, permite la creación de concretos más resistentes, duraderos y sostenibles, destinado a las losas industriales. Estas innovaciones no solo optimizan el desempeño estructural para soportar las exigencias de las instalaciones industriales modernas, también según, Gómez y Sánchez (2018) señalan que "el uso de tecnologías avanzadas en el refuerzo del concreto está alineado con las tendencias actuales de diseño sostenible, buscando reducir los costos y el impacto ambiental de las construcciones, al mismo tiempo que se mejora la eficiencia y la seguridad de las estructuras industriales."

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño experimental

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, pues busca cuantificar el efecto de la incorporación de fibras de acero, microfilamentos de cobre y aditivo curador en las propiedades mecánicas del concreto destinado a losas industriales. Este enfoque permite obtener datos objetivos, replicables y comparables, basados en mediciones y análisis estadísticos (Hernández Sampieri et al., 2010).

El tipo de investigación es aplicada, dado que se orienta a solucionar un problema concreto del sector industrial, como es la mejora de la resistencia mecánica y durabilidad de las losas

industriales mediante innovaciones en las mezclas de concreto (Murillo, 2008).

El diseño de investigación es de tipo experimental, ya que se manipula deliberadamente la variable independiente (proporción de fibras metálicas y uso de aditivo curador) para observar sus efectos sobre la variable dependiente (propiedades mecánicas del concreto). El estudio se estructura con grupos experimentales y un grupo control:

- Grupo control: concreto patrón, sin incorporación de fibras ni aditivo curador, diseñado para una resistencia $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ (34.3 MPa).
- Grupos experimentales: concretos reforzados con combinaciones de fibras de acero (FA) y microfilamentos de cobre (MFC) al 0.5%, 0.7% y 1.0% (respectivamente) y curados con aditivo líquido Sika Antisol.

El enfoque de investigación es cuantitativo porque se basa en la recolección y análisis de datos numéricos a partir de ensayos estandarizados de laboratorio (Hernández Sampieri et al., 2010). Esto asegura rigor y objetividad para comparar resultados entre las distintas mezclas evaluadas.

El nivel de investigación es longitudinal, ya que evalúa la evolución de las propiedades mecánicas del concreto en tres etapas de maduración: a los 7, 14 y 28 días. Este enfoque permite analizar cómo se desarrolla la resistencia mecánica del concreto reforzado a lo largo del tiempo.

Este diseño experimental proporciona un marco metodológico sólido para evaluar la influencia de los materiales empleados en la respuesta mecánica del concreto, optimizando su aplicabilidad en elementos estructurales sometidos a cargas dinámicas y condiciones exigentes de servicio como las losas industriales.

2.2. Materiales

A continuación, se detallan las características de los materiales usados en la fabricación de las muestras de concreto:

Agregado fino: El agregado fino utilizado corresponde a arena gruesa de origen silíceo, seleccionada conforme a los requisitos de la norma ASTM C33/C33M-18. Sus propiedades físico-mecánicas son las siguientes:

Tabla 1: Características del agregado fino

Tipo	Arena gruesa
Peso específico	2660 kg/m ³
Peso unitario compactado	1723 kg/m ³
Peso unitario suelto	1489 kg/m ³
Contenido de humedad	4.40 %
Porcentaje de absorción	1.92 %
Granulometría	(ASTM C33/33M-18)
Módulo de fineza	2.88

Agregado grueso: El agregado grueso empleado corresponde a una piedra angular clasificada dentro del HUSO 57 de la norma ASTM C33/C33M-18, con una distribución granulométrica controlada para garantizar la compacidad y resistencia mecánica del concreto. Sus características son:

Tabla 2: Características del agregado grueso

Tipo	Angular
Peso específico	2620 kg/m ³
Peso unitario compactado	1580 kg/m ³
Peso unitario suelto	1418 kg/m ³
Contenido de humedad	0.84 %
Porcentaje de absorción	1.53 %
Granulometría	HUSO 57 (ASTM C33/33M-18)
Tamaño máximo	3/4"

Cemento: Se utilizó cemento Portland de alta resistencia inicial (Tipo HE), conforme a la norma ASTM C150. Sus propiedades físico-químicas se detallan a continuación:

Tabla 3: Características del cemento

Tipo	HE (Yura Pro)
Densidad	2.9 – 3.1 g/cm ³
Expansión en Autoclave	-0.05 a 0.07 %
Tiempo de fraguado inicial Vicat	110 – 230 min
Contenido de aire	3 – 9 %

Fibra de acero: Para mejorar la ductilidad y resistencia a la fisuración del concreto, se incorporaron fibras de acero de tipo comercial, cuyas especificaciones mecánicas se detallan a continuación:

Tabla 4: Características de la fibra de acero

Tipo	Comercial (Dramix 4D)
Longitud	60 mm
Diámetro	1.05 mm
Proporción (l/d)	55
Resistencia a la tracción	1500 N/mm ²
Módulo de Young	210000 N/mm ²



Figura 1: Fibra de acero tipo comercial

Microfilamentos de cobre: Adicionalmente, se utilizaron microfilamentos de cobre. Estos microfilamentos mejoran la resistencia a la fisuración y aumentan la conductividad térmica y eléctrica del concreto, propiedades que pueden ser relevantes en aplicaciones específicas. Sus características son:

Tabla 5: Características de los microfilamentos de cobre

Tipo	Artesanal
Longitud	60 mm
Diámetro	1.25 mm
Proporción (l/d)	48



Figura 2: Microfilamento de cobre tipo artesanal

Aditivo de Curado:

Para las muestras con curado por aditivo, se utilizó el aditivo Sika Antisol, un agente de curado líquido aplicado mediante pulverizadores. Este aditivo previene la pérdida de agua de la superficie del concreto recién colocado, formando un sello cristallino en los poros del concreto que reduce la tasa de evaporación de la humedad de la mezcla. Además, minimiza los agrietamientos, contribuye a alcanzar la resistencia requerida (f_c), controla la hidratación del concreto, reduce la formación de polvo y no afecta otros tratamientos posteriores. El uso de este aditivo está recomendado para aplicaciones en edificios, hangares, áreas de carga, muros de contención, estructuras pretensadas, canales de irrigación y otras estructuras de ingeniería civil.

2.3. Preparación de muestras

Para la realización de los ensayos mecánicos, se elaboraron un total de 48 probetas cilíndricas con dimensiones de 15×30 cm, destinadas a los ensayos de resistencia a la compresión, de acuerdo con la norma peruana NTP 339.034:2009, que se basa en la especificación internacional ASTM C31/C31M.

Asimismo, se fabricaron 32 probetas prismáticas de $15 \times 15 \times 52$ cm para los ensayos de resistencia a la flexión, cumpliendo con los lineamientos de la norma NTP 339.106:2008, equivalente a la norma ASTM C78/C78M. Ambas normas garantizan procedimientos estandarizados en la preparación, curado y ensayo de especímenes de concreto.

El diseño de mezcla empleado para la fabricación de las probetas cilíndricas y prismáticas se desarrolló siguiendo la metodología establecida por el American Concrete Institute (ACI), específicamente bajo las recomendaciones del ACI 211.1-91 para mezclas de concreto con fines estructurales. Este diseño consideró una resistencia característica de 350 kg/cm^2 (34.3 MPa), acorde con las exigencias de estructuras de alta durabilidad y desempeño en aplicaciones industriales, como losas industriales.

Tabla 6: Dosificación en kg usada para concreto $F'_c=350 \text{ kg/cm}^2$

Cemento	1.00
Agregado grueso	2.32
Agregado fino	1.67
Agua	0.46

Además, durante el proceso de diseño y preparación de las mezclas, se tuvo en cuenta la norma NTP 339.185:2015, basada en la ASTM C192/C192M, para garantizar el manejo y la preparación adecuados del concreto en laboratorio. Asimismo, el curado de las probetas se realizó durante 28 días bajo las condiciones prescritas en la norma ASTM C511.



Figura 3: Curado de muestras de concreto según norma ASTM C511



Figura 4: Control de Asentamiento (Slump)

De esta manera, el cumplimiento riguroso de las normas técnicas peruanas e internacionales asegura la validez y reproducibilidad de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, garantizando que estos puedan ser comparables con estudios similares a nivel global.

2.4. Ensayos realizados

El motivo por el que en ingeniería civil se acostumbra romper probetas de concreto a los 7, 14 y 28 días, aunque la Norma

Técnica Peruana (NTP 339.034) contemple edades de ensayo en 1, 3, 7, 28 y 90 días, responde a razones prácticas y técnicas. Las edades de 7 y 14 días se utilizan como un control intermedio que permite verificar cómo evoluciona la resistencia del concreto antes de llegar al valor de diseño, mientras que los 28 días representan la referencia estándar para aceptar la resistencia final de la mezcla. En otras palabras, no se trata de una contradicción con la norma, sino de una práctica complementaria de control de calidad que facilita el seguimiento del comportamiento del material en obra.

El estándar de diseño: 28 días

El código de diseño (Norma E.060 Concreto Armado) establece que la resistencia especificada (f'_c) debe alcanzarse a los 28 días. Donde es la edad normativa por excelencia, ya que a este punto el concreto ha alcanzado aproximadamente el 99% de su resistencia potencial de diseño. La rotura a los 28 días es el ensayo de aceptación o rechazo definitivo de la calidad del concreto colocado.

Control temprano (7 y 14 días)

Los ensayos a edades tempranas, especialmente a los 7 días, tienen un propósito crucial de control de calidad y toma de decisiones rápidas en la obra.

A los 7 días el concreto típicamente alcanza entre el 65% y 75% de su resistencia a los 28 días. La rotura a esta edad sirve como un indicador de tendencia. Si la resistencia a los 7 días es significativamente baja, es una alerta temprana de que la mezcla probablemente no cumplirá el f'_c a los 28 días. Esto permite al constructor detener el uso de la mezcla defectuosa, cambiar las proporciones o mejorar el curado de inmediato, evitando mayores problemas estructurales y costos de demolición futura.

A los 14 días el concreto alcanza alrededor del 85% al 90% de su resistencia a los 28 días. Lo que sirve como un control adicional, confirmando la tendencia de ganancia de resistencia. También es útil para determinar el momento seguro para retirar formaleas o puntales de elementos que soportarán cargas tempranas.

La NTP 339.034 provee las tolerancias de tiempo exactas para garantizar que los ensayos se realicen dentro de un margen aceptable, pero la elección de ensayar también a 7 y 14 días es una práctica estándar de gestión de calidad y control de proyectos.

El ensayo de resistencia a la flexión, se realizó conforme a la norma NTP 339.106:2008, que se basa en la ASTM C78/C78M. El ensayo fue realizado a las edades de 14 y 28 días, períodos durante los cuales el concreto ha alcanzado una parte significativa de su resistencia final. Este ensayo es fundamental para determinar la resistencia a la flexión de las probetas prismáticas, que simulan el comportamiento del concreto en elementos estructurales sometidos a esfuerzos de flexión, como vigas y losas. Estos ensayos, realizados de acuerdo con las normativas

peruanas e internacionales, proporcionan información crucial para el control de calidad del concreto y aseguran que los materiales utilizados cumplan con los requisitos de resistencia mecánica necesarios para el diseño y construcción de estructuras seguras y duraderas.

2.5. Análisis económico

Un concepto clave a considerar al evaluar la viabilidad de la inversión en concreto reforzado con fibras es el análisis costo-beneficio. Este análisis va más allá del simple costo inicial y se enfoca en el valor que la inversión genera a largo plazo. Al agregar fibras de acero y cobre, se está invirtiendo en un material que, aunque más caro al inicio, ofrece una mayor resistencia y durabilidad, lo que se traduce en un ahorro significativo en futuros gastos de mantenimiento y reparaciones.

El costo de la losa de concreto es solo una parte del costo total de un proyecto. Los costos de reparación de fisuras, de mantenimiento de la superficie y, en el peor de los casos, de reemplazo total de la losa, pueden ser mucho más altos que el costo extra de las fibras. Por lo tanto, el aumento de la durabilidad y el rendimiento del concreto hace que este costo adicional sea una inversión inteligente.

A continuación, se presenta un desglose de los costos, mostrando cómo la adición de fibras influye en el precio final.

Peso del concreto =	2200	kg/m ³
Costo del concreto x m ³ =	S/ 450.00	
Costo de FA x kg =	S/ 4.00	
Costo de MFC x kg =	S/ 6.00	

COSTO DE CONCRETO REZFORZADO X m3

% de FA y MFC	Cantidad	UND	PU de FA x m3	PU de MFC x m3	Costo x m3 de concreto reforzado	Costo extra en %
0.5%	11.0	kg/m3	S/ 44.00	S/ 66.00	S/ 560.00	24%
0.7%	15.0	kg/m3	S/ 60.00	S/ 90.00	S/ 600.00	33%
1.0%	22.0	kg/m3	S/ 88.00	S/ 132.00	S/ 670.00	49%

3. RESULTADOS

En esta sección se muestra y presentan los resultados de las pruebas realizadas a las muestras de concreto fabricadas, preparadas y tratadas según las normativas peruanas y extranjeras; se evaluaron las propiedades y desempeño de estas muestras con base en los resultados obtenidos para comprender mejor los efectos de la fibra de acero, microfilamentos de cobre y el aditivo curador en el comportamiento del concreto.

3.1. Control de asentamiento (Slump)

La tabla muestra claramente el efecto más común de la adición de fibras en el concreto; en el concreto patrón, el concreto sin fibras logra un Slump de 76 mm, el cual está perfectamente dentro del rango objetivo de 75±10 mm (entre 65 mm y 85 mm).

65

Mientras que en el concreto Reforzado a medida que la cantidad de fibras de acero (FA) y microfilamentos de cobre (MFC) aumenta, el Slump Medido disminuye significativamente.

54

La dosificación máxima (1.0% de FA y MFC) tiene una variación del -22.67%, resultando en un asentamiento de 58 mm. Este valor de 58 mm está fuera del rango objetivo (65 mm a 85 mm). Esto confirma que las fibras reducen la trabajabilidad del concreto, ya que actúan como "agregados muy finos" que absorben agua y aumentan la fricción interna de la mezcla, haciendo más difícil su colocación y compactación. En la práctica, esta pérdida de trabajabilidad se compensa con el uso de aditivos superplastificantes o manteniendo un control estricto de la relación agua/cemento.

25

Tabla 7: Resultados del Slump de las probetas

Tipo de concreto	Slump objetivo (mm)	Slump medido (mm)	Variación (%)
Patrón	75 ± 10	76	1.33%
FA (0.5%) - MFC (0.5%)	75 ± 10	70	-6.67%
FA (0.7%) - MFC (0.7%)	75 ± 10	65	-13.33%
FA (1.0%) - MFC (1.0%)	75 ± 10	58	-22.67%

87

32

3.2. Resistencia a compresión

En los ensayos de resistencia a la compresión, se observó un

Tabla 8: Resistencia a la compresión de los especímenes de concreto patrón y concreto reforzado en distintas edades

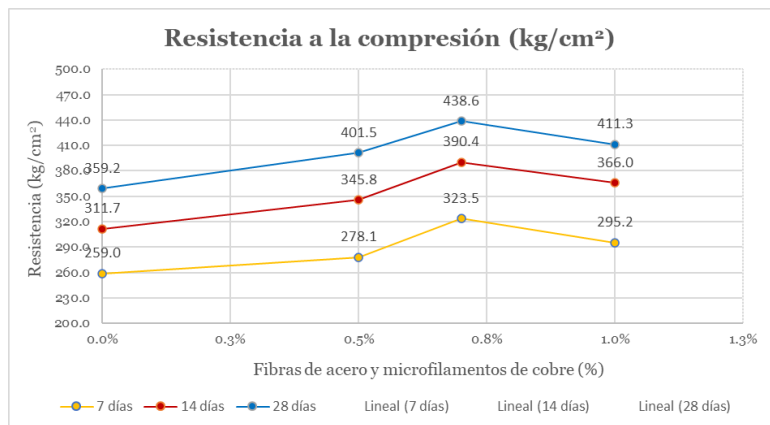
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO

Tipo de concreto	Resistencia de diseño (kg/cm²)	Resistencia Promedio 7 Días (kg/cm²)	Resistencia Promedio 14 Días (kg/cm²)	Resistencia Promedio 28 Días (kg/cm²)	% Promedio 28 Días	% De mejora 28 Días
PATRON	350	259.0	311.7	359.2	102.6%	0.0%
FA (0.5%) - MFC (0.5%) - AC	350	278.1	345.8	401.5	114.7%	12.1%
FA (0.7%) - MFC (0.7%) - AC	350	323.5	390.4	438.6	125.3%	22.7%
FA (1.0%) - MFC (1.0%) - AC	350	295.2	366.0	411.3	117.5%	14.9%

17

6

47



17

7

Figura 6: Tendencia de la resistencia a compresión de las probetas de concreto en las distintas edades de evaluación y configuraciones, alcanzando su punto máximo en la mezcla con 0.7%, que registró una resistencia de 438.6 kg/cm² a los 28 días.

12

3.3. Resistencia a flexión

incremento progresivo en todas las configuraciones reforzadas en comparación con el concreto patrón, en función de las distintas edades evaluadas. Este comportamiento indica el impacto favorable de la inclusión de fibras de acero (FA), microfilamentos de cobre (MFC) y aditivo curador en el desarrollo de la resistencia mecánica del concreto.

En la tabla 1 se observa que el porcentaje de mejora de las probetas reforzadas a la edad de 28 días (99% de resistencia según la NTP 339.033:2015), existe un incremento del 12.1% en la configuración de 0.5% de FA - 0.5% de MFC, un incremento de 22.7% en la configuración de 0.7% FA - 0.7% MFC y un incremento del 14.9% en la configuración del 1.0% FA - 1.0% MFC; donde se tiene que el uso del 0.7% de fibras de acero (FA) y 0.7 % de microfilamentos de cobre (MFC) fue la mejor dosificación reforzada, resaltando en un 7.8% de mejora en comparación con la siguiente mejor dosificación (1.0% FA - 1.0% MFC).

Además, el empleo del aditivo de curado optimizó el proceso de hidratación, asegurando un adecuado desarrollo de la resistencia mecánica y minimizando la pérdida prematura de humedad. Estos resultados sugieren que una dosificación equilibrada de refuerzos, junto con un adecuado proceso de curado, es fundamental para maximizar la resistencia a compresión del concreto.



Figura 5: Ensayo de resistencia a compresión en probetas reforzadas con FA y MFC

En los ensayos de resistencia a flexión, se observaron mejoras significativamente más notables en todas las configuraciones reforzadas y curadas por aditivo en comparación con el concreto patrón, destacándose especialmente la configuración con 1.0% de fibras de acero (FA) y 1.0% de microfilamentos de cobre (MFC).

En la tabla se muestra que, a los 28 días (cuando el concreto alcanza aproximadamente el 99% de su resistencia máxima según la NTP 339.033:2015), se evidencian los siguientes incrementos en la resistencia a flexión: un 16.6% en la configuración de 0.5%

FA – 0.5% MFC, un 24.4% en la de 0.7% FA – 0.7% MFC, y un 39.8% en la de 1.0% FA – 1.0% MFC. De estas configuraciones, la dosificación de 1.0% de fibras de acero (FA) y 1.0% de microfilamentos de cobre (MFC) resultó ser la más efectiva, mostrando una mejora del 15.4% con respecto al siguiente mejor resultado. Esto indica que una mayor proporción de ambos aditivos, además, del empleo del aditivo de curado aseguran un adecuado desarrollo de la resistencia mecánica del concreto para resistir cargas de flexión, mejorando su rendimiento estructural y resistencia a la fisuración.

Tabla 9: Resistencia a la flexión de los especímenes de concreto patrón y concreto reforzado en distintas edades

MODULO DE RUPTURA (R) DE PROBETAS PRISMATICAS DE CONCRETO					
Tipo de concreto	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Promedio 14 Días (kg/cm ²)	Promedio 28 Días (kg/cm ²)	% Promedio 28 Días	% De mejora 28 Días
PATRON	47.8	39.7	50.3	105.2%	0.0%
FA (0.5%) - MFC (0.5%) - AC	47.8	48.6	58.2	121.8%	16.6%
FA (0.7%) - MFC (0.7%) - AC	47.8	55.3	61.9	129.6%	24.4%
FA (1.0%) - MFC (1.0%) - AC	47.8	60.5	69.3	144.9%	39.8%



Figura 7: Probeta de concreto ensayada a flexión

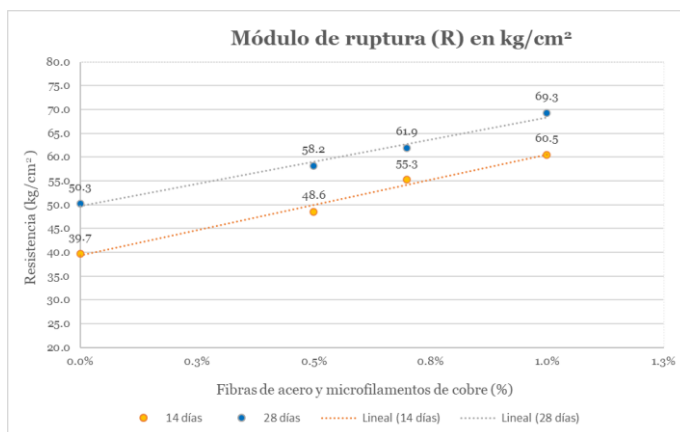


Figura 8: Tendencia de la resistencia a flexión de las probetas de concreto en las distintas edades de evaluación y configuraciones, alcanzando su punto máximo en la mezcla con 1.0%, que registró una resistencia de 69.3 kg/cm² a los 28 días.

Así, el estudio tiene un factor principal con 4 niveles (o "tratamientos"). El uso de 4 probetas por cada uno de estos 4 niveles (o condiciones de mezcla) se mantiene estadísticamente sólida.

3.4. Análisis estadístico

El presente estudio implica un diseño unifactorial con múltiples niveles, donde compara diferentes "tipos de concreto" o "condiciones de mezcla", donde cada condición ya incorpora o excluye la combinación específica de refuerzo y el aditivo. Los niveles de este único factor serían:

- Nivel 1: Concreto Patrón (0% FA + 0% MFC, sin Aditivo Curador).
- Nivel 2: 0.5% FA + 0.5% MFC + Aditivo Curador.
- Nivel 3: 0.7% FA + 0.7% MFC + Aditivo Curador.

El ANOVA sigue siendo la herramienta adecuada para comparar las medias de estos 4 grupos. Para que el ANOVA de una vía (one-way ANOVA) sea válido y sus resultados sean fiables, se requiere una estimación precisa de la varianza del error.

Grados de Libertad para el Error: Con 4 probetas (n=4) por cada uno de los 4 niveles, se tienen (4-1)=3 grados de libertad por grupo. El total de grados de libertad para el error en el ANOVA sería 4×3=12. Aunque es un número mínimo aceptable para el ANOVA, sigue siendo suficiente para obtener una estimación estable y fiable de la varianza del error. Esto es crucial para el cálculo del valor F y para determinar si las diferencias observadas entre las medias de los grupos son estadísticamente

significativas.

Desde una perspectiva práctica en la investigación de materiales, el uso de 4 probetas por condición es un equilibrio optimizado entre la rigurosidad estadística y las limitaciones de recursos. Producir y ensayar probetas de concreto es un proceso que consume tiempo, materiales y esfuerzo. Cuatro repeticiones por grupo permiten obtener datos estadísticamente significativos sin que el volumen de trabajo sea excesivo, haciendo que el experimento sea viable y eficiente para un estudio de investigación

En conclusión, incluso en un diseño unifactorial con 4 niveles de "tipo de concreto", el uso de 4 probetas por cada nivel es una decisión metodológicamente sólida que asegura la validez del análisis estadístico, la precisión en las estimaciones de las propiedades de los materiales y una adecuada potencia para detectar diferencias significativas, todo ello dentro de un marco de eficiencia experimental.

Prueba de análisis de varianza (ANOVA) para los resultados de resistencia a compresión

Para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos, se consideraron y evaluaron los datos del ensayo de resistencia a la compresión del concreto mediante el análisis de varianza (ANOVA), así como el uso del software Minitab. Este enfoque estadístico nos permitió determinar si existen diferencias significativas entre los valores obtenidos, utilizando las siguientes hipótesis:

H_0 (Hipótesis nula): Establece que las medias de los grupos son iguales, lo que implica que no existen diferencias significativas

Tabla 12: Análisis de varianza (ANOVA) para los resultados de compresión de las probetas

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (P valor)	Valor crítico para F
Entre grupos	13024.775	3	4341.592	57.868	2.082E-07	3.490
Dentro de los grupos	900.305	12	75.025			
Total	13925.080	15				

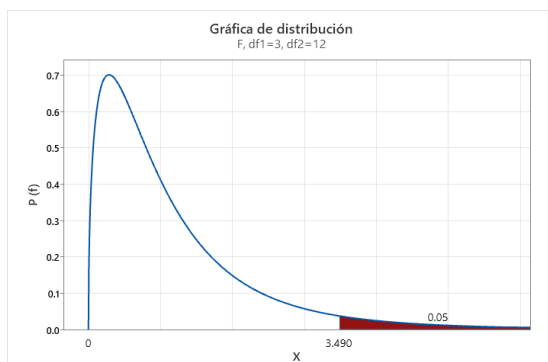


Figura 9: Curva F de Fisher ($gl_1 = 3$, $gl_2 = 12$) utilizada en el análisis de varianza para compresión.

Para de análisis de los resultados ANOVA hay que tener claro

entre los grupos.

Ha (Hipótesis alternativa): Plantea que al menos uno de los grupos tiene una media significativamente diferente a las demás.

Una vez formuladas las hipótesis, se trabajó con un nivel de significancia de 0.05, lo que proporciona un intervalo de confianza del 95% en los resultados. Esto asegura que las conclusiones obtenidas a partir de los ensayos sean estadísticamente válidas y consistentes.

Tabla 10: Resumen de la resistencia a compresión de las muestras

RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO (kg/cm ²) - 28 DIAS			
PATRON	FA (0.5%) - MFC (0.5%)	FA (0.7%) - MFC (0.7%)	FA (1.0%) - MFC (1.0%)
357.1	398.9	444.5	409.5
365.2	406.0	452.6	407.0
367.7	403.3	429.2	422.2
346.9	397.6	428.2	406.5

Tabla 11: Resumen de datos de compresión para análisis ANOVA

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
PATRON	4	1436.9	359.2	87.983
FA (0.5%) - MFC (0.5%)	4	1605.8	401.5	15.150
FA (0.7%) - MFC (0.7%)	4	1754.5	438.6	142.443
FA (1.0%) - MFC (1.0%)	4	1645.2	411.3	54.527

que si el estadístico de prueba es menor o igual al punto crítico (3.490) se acepta la hipótesis nula, pero si el estadístico de prueba es mayor al punto crítico se rechaza la hipótesis nula aceptando la hipótesis alterna. En la tabla 5 observamos que el valor $F = 57.868$ es mayor que el punto crítico 3.490, y además este valor F se sitúa en la región de rechazo (zona sombreada) esto se debe a que en ANOVA, al tratarse de una distribución de Fisher, siempre es una distribución de cola derecha; por lo que concluimos que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna.

Al aceptar la hipótesis alternativa, podemos concluir que al menos una de las medias de los grupos es significativamente diferente de las demás. Esto demuestra que los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión del concreto

presentan diferencias estadísticamente significativas. Estas diferencias se deben a las variaciones en el porcentaje de fibras de acero y microfilamentos de cobre incorporadas al concreto patrón, las cuales mejoran sus propiedades mecánicas.

Medias

La Tabla 6 muestra que, con un intervalo de confianza del 95%, se confirma que las medias de las muestras reforzadas son significativamente superiores a la de la muestra patrón. En particular, la muestra reforzada con un 0.5% de fibras de acero (FA) y microfilamentos de cobre (MFC) destaca por presentar la mayor consistencia, como lo evidencia su desviación estándar, la más baja entre las configuraciones. Esto indica una menor variabilidad en los resultados de resistencia a la compresión, lo que sugiere una mayor uniformidad en las propiedades del material.

Tabla 13: Media de datos de compresión

Factor	N	Media	Desv.Est.	Coef. Var. (CV)
PATRON	4	359.23	9.38	2.61%
FA (0.5%) - MFC (0.5%)	4	401.45	3.89	0.97%
FA (0.7%) - MFC (0.7%)	4	438.63	11.93	2.72%
FA (1.0%) - MFC (1.0%)	4	411.30	7.38	1.79%

Desviación Estándar agrupada = 8.66

La desviación estándar agrupada, calculada en 8.66, refuerza estos resultados al reflejar una estabilidad general en los datos obtenidos. Estos hallazgos corroboran que la adición de fibras de acero y microfilamentos de cobre no solo mejora la resistencia a la flexión del concreto, sino que también optimiza la consistencia de sus propiedades mecánicas, especialmente en proporciones intermedias como el 0.5%. Esto sugiere que dicha dosificación podría representar un equilibrio ideal entre rendimiento y homogeneidad del material.

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Mediante el análisis de varianza (ANOVA) se ha confirmado que la hipótesis alternativa es válida, lo que indica que existen diferencias significativas entre las medias de los grupos de control. Para determinar en qué casos se presentan estas diferencias, se presenta la siguiente comparación en parejas de Fisher en la Tabla 7, que permite identificar las agrupaciones significativas.

Tabla 14: Comparación en parejas de Fisher para compresión

Factor	N	Media	Agrupación
FA (0.7%) - MFC (0.7%)	4	438.63	A
FA (1.0%) - MFC (1.0%)	4	411.30	B
FA (0.5%) - MFC (0.5%)	4	401.45	B
PATRON	4	359.23	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En tabla 8 se observa los siguientes casos:

- Muestra reforzada al 0.7% (Agrupación A): Esta muestra presenta la diferencia significativa más alta en comparación con el resto de los grupos, ya que su media (438.6) pertenece al grupo "A", el cual no se comparte con ninguna de las otras muestras.
- Muestras reforzadas al 0.5% y 1.0% (Agrupación B): No se observa una diferencia significativa entre estas dos configuraciones, ya que ambas comparten la misma letra "B". Sin embargo, ambas muestran diferencias significativas en comparación con la muestra patrón, que pertenece al grupo "C".
- Muestra patrón (Agrupación C): La muestra patrón, con una media de 359.2, se encuentra en el grupo "C", lo que indica que tiene una diferencia significativa respecto a las muestras reforzadas. No obstante, su rendimiento es el más bajo en comparación con las configuraciones reforzadas.

Esta comparación en parejas de Fisher se muestra gráficamente en la figura 9, donde se observa que el único caso que no presenta una diferencia significativa es en las muestras reforzadas al 0.5 y 1.0%, esto se debe a que ambas comparten el mismo valor de 0, lo que indica que, estadísticamente, no existe una variación relevante entre estas dos configuraciones en cuanto a su desempeño.

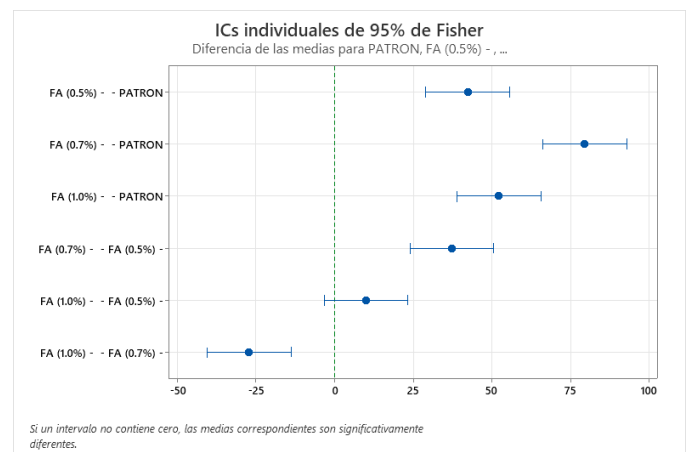


Figura 10: Grafica de comparaciones en parejas de Fisher para detección de diferencias significativas en resultados de compresión

Esta comparación en parejas de Fisher nos permitió concluir que la configuración con un refuerzo del 0.7% presenta la diferencia significativa más alta a compresión en comparación con la muestra patrón, destacándose como la más resistente entre todas las configuraciones analizadas.

Prueba de análisis de varianza (ANOVA) para los resultados de resistencia a flexión

Para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos, se consideraron y evaluaron los datos del ensayo de resistencia a la flexión del concreto mediante el análisis de varianza (ANOVA). Este enfoque estadístico nos permitió determinar si existen diferencias significativas entre los valores obtenidos, utilizando las hipótesis formuladas para ello:

16
9

Ho (Hipótesis nula): Establece que las medias de los grupos son iguales, lo que implica que no existen diferencias significativas entre los grupos.

Ha (Hipótesis alternativa): Plantea que al menos uno de los grupos tiene una media significativamente diferente a las demás.

Una vez formuladas las hipótesis, se trabajó con un nivel de significancia de 0.05, lo que proporciona un intervalo de confianza del 95% en los resultados. Esto asegura que las conclusiones obtenidas a partir de los ensayos sean estadísticamente válidas y consistentes.

6

Tabla 15: Resumen de la resistencia a flexión de las muestras

MODULO DE RUPTURA (R) DEL CONCRETO (MPa) – 28 DIAS

31

Tabla 17: Análisis de varianza (ANOVA) para los resultados de flexión de las probetas

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (P valor)	Valor crítico para F
Entre grupos	750.148	3	250.049	26.912	1.298E-05	3.490
Dentro de los grupos	111.495	12	9.291			
Total	861.643	15				

63

58

40

10

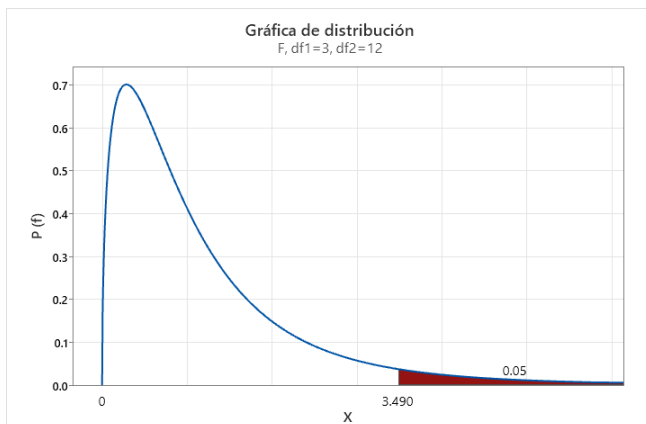


Figura 11: Curva F de Fisher ($gl_1 = 3$, $gl_2 = 12$) utilizada en el análisis de varianza para flexión.

27

1

1

61

21

Para el análisis de los resultados ANOVA hay que tener claro que si el estadístico de prueba es menor o igual al punto crítico (3.490) se acepta la hipótesis nula, pero si el estadístico de prueba es mayor al punto crítico se rechaza la hipótesis nula aceptando la hipótesis alterna. En la tabla 10 observamos que el valor $F = 26.912$ es mayor que el punto crítico 3.490, y además este valor F se sitúa en la región de rechazo (zona sombreada) esto se debe a que en ANOVA, al tratarse de una distribución de Fisher, siempre es una distribución de cola derecha; por lo que concluimos que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna.

PATRON	FA (0.5%) - MFC (0.5%)	FA (0.7%) - MFC (0.7%)	FA (1.0%) - MFC (1.0%)
47.0	56.7	62.9	71.7
53.6	58.2	63.3	68.3
53.3	62.5	58.6	65.4
47.2	55.4	62.8	71.8

Tabla 16: Resumen de datos de flexión para análisis ANOVA

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
PATRON	4	201.1	50.3	13.6
FA (0.5%) - MFC (0.5%)	4	232.9	58.2	9.3
FA (0.7%) - MFC (0.7%)	4	247.7	61.9	4.8
FA (1.0%) - MFC (1.0%)	4	277.1	69.3	9.4

Al aceptar la hipótesis alternativa, podemos concluir que al menos una de las medias de los grupos es significativamente diferente de las demás. Esto demuestra que los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la flexión del concreto presentan diferencias estadísticamente significativas. Estas diferencias se deben a las variaciones en el porcentaje de fibras de acero y microfibras de cobre incorporadas al concreto patrón, las cuales mejoran sus propiedades mecánicas.

Medias

La Tabla 11 muestra que, con un intervalo de confianza del 95%, se confirma que las medias de las muestras reforzadas son significativamente superiores a la de la muestra patrón. En particular, la muestra reforzada con un 0.7% de fibras de acero (FA) y microfibras de cobre (MFC) destaca por presentar la mayor consistencia, como lo evidencia su desviación estándar, la más baja entre las configuraciones. Esto indica una menor variabilidad en los resultados de resistencia a la compresión, lo que sugiere una mayor uniformidad en las propiedades del material.

Tabla 18: Media de datos de flexión

Factor	N	Media	Desv.Est.	Coef. Var.
PATRON	4	50.27	3.69	7.34%
FA (0.5%) - MFC (0.5%)	4	58.21	3.06	5.26%
FA (0.7%) - MFC (0.7%)	4	61.92	2.20	3.55%
FA (1.0%) - MFC (1.0%)	4	69.28	3.06	4.42%

Desviación Estándar agrupada = 3.04815

La desviación estándar agrupada, calculada en 3.04815, refuerza estos resultados al reflejar una estabilidad general en los datos obtenidos. Estos hallazgos corroboran que la adición de fibras de acero y microfilamentos de cobre no solo mejora la resistencia a la flexión del concreto, sino que también optimiza la consistencia de sus propiedades mecánicas, especialmente en proporciones intermedias como el 0.7%. Esto sugiere que dicha dosificación podría representar un equilibrio ideal entre rendimiento y homogeneidad del material

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Mediante el análisis de varianza (ANOVA) se ha confirmado que la hipótesis alternativa es válida, lo que indica que existen diferencias significativas entre las medias de los grupos de control. Para determinar en qué casos se presentan estas diferencias, se presenta la siguiente comparación en parejas de Fisher en la Tabla 12, que permite identificar las agrupaciones significativas.

Tabla 19: Comparación en parejas de Fisher para flexión

Factor	N	Media	Agrupación
FA (1.0%) - MFC (1.0%)	4	69.28	A
FA (0.7%) - MFC (0.7%)	4	61.92	B
FA (0.5%) - MFC (0.5%)	4	58.21	B
PATRON	4	50.27	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En tabla 13 se observa los siguientes casos:

- Muestra reforzada al 1.0% (Agrupación A): Esta muestra presenta la diferencia significativa más alta en comparación con el resto de los grupos, ya que su media (69.28) pertenece al grupo "A", el cual no se comparte con ninguna de las otras muestras.
- Muestras reforzadas al 0.5% y 0.7% (Agrupación B): No se observa una diferencia significativa entre estas dos configuraciones, ya que ambas comparten la misma letra "B". Sin embargo, ambas muestran diferencias significativas en comparación con la muestra patrón, que pertenece al grupo "C".
- Muestra patrón (Agrupación C): La muestra patrón, con una media de 50.27, se encuentra en el grupo "C", lo que indica que tiene una diferencia significativa respecto a las muestras reforzadas. No obstante, su rendimiento es el más bajo en comparación con las configuraciones reforzadas.

Esta comparación en parejas de Fisher se muestra gráficamente en la figura 11, donde se observa que el único caso que no presenta una diferencia significativa es en las muestras reforzadas al 0.5 y 0.7%, esto se debe a que ambas comparten el mismo valor de 0, lo que indica que, estadísticamente, no existe una variación relevante entre estas dos configuraciones en cuanto a su desempeño.

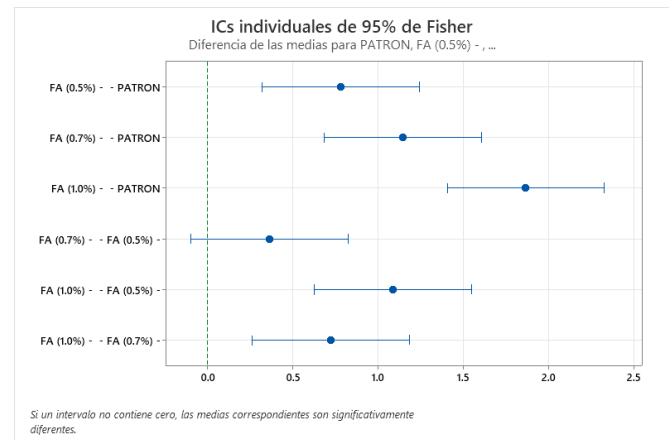


Figura 12: Grafica de comparaciones en parejas de Fisher para detección de diferencias significativas en resultados de flexión

Esta comparación en parejas de Fisher nos permitió concluir que la configuración con un refuerzo del 1.0% presenta la diferencia significativa más alta a flexión en comparación con la muestra patrón, destacándose como la más resistente entre todas las configuraciones analizadas.

4. DISCUSION

Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión muestran que todas las probetas reforzadas y curadas con aditivo presentaron una resistencia superior en comparación con las probetas patrón. En particular, la dosificación de 0.7% de fibras de acero (FA), microfilamentos de cobre (MFC) y aditivo curador (AC) resultó ser la más eficiente en términos de resistencia a la compresión en comparación con las dosificaciones de 0.5% y 1.0%. A partir de estos resultados, se puede determinar que:

- A una dosificación de 0.7%, las fibras se distribuyen uniformemente, creando un refuerzo isotrópico que reduce la formación y propagación de microfisuras. Esto aumenta la capacidad del concreto para resistir cargas de compresión. Estudios como el de Zhang et al. (2014) han demostrado que dosificaciones moderadas (0.6% a 0.8%) maximizan la resistencia a la compresión, evitando zonas de concentración de tensiones y garantizando una mejor cohesión interna.
- A concentraciones superiores al 0.7%, las fibras pueden crear efectos de saturación, dificultando la distribución uniforme de los agregados y reduciendo la calidad de la matriz cementante. Este fenómeno puede resultar en una reducción de la resistencia a la compresión, como lo explicó Saha et al. (2016) en su investigación sobre microfilamentos metálicos.

Por otro lado, los ensayos de resistencia a la flexión revelaron que todas las probetas reforzadas y curadas con aditivo presentaron una mayor resistencia en comparación con las probetas patrón. Sin embargo, en este caso, la mejor dosificación correspondió al 1.0% de FA, MFC y AC, superando las configuraciones de 0.5% y 0.7%. Con base en estos resultados, se pueden identificar lo siguiente:

- A una dosificación de 1%, la cantidad adicional de fibras proporciona una red de refuerzo más densa, que mejora la capacidad del concreto para resistir esfuerzos de tracción. Según *Banthia et al. (2000)*, la resistencia a la flexión aumenta significativamente con mayores concentraciones de fibras, ya que estas actúan como puentes que restringen la propagación de fisuras y mejoran la ductilidad del concreto.
- Bajo cargas flexión, el concreto experimenta deformaciones significativas antes de la falla. Una mayor cantidad de fibras (1%) permite al material absorber más energía, esto resulta en una mayor resistencia post-falla retrasando el colapso. Este comportamiento ductilizado es fundamental para mejorar la resistencia a la flexión. *Liu et al. (2021)* demostraron que la ductilidad del concreto reforzado con fibras aumenta linealmente con la dosificación de fibras hasta alcanzar un nivel de saturación (aproximadamente 1%).

Relación entre la Resistencia a la Compresión y la Flexión

Los resultados evidencian que la dosificación de 0.7% es óptima para mejorar la resistencia a la compresión, mientras que la de 1.0% es más efectiva para la resistencia a la flexión. Este comportamiento diferencial se debe a:

- Dirección de refuerzos: En compresión, los esfuerzos son isotrópicos (iguales en todas las direcciones). Las fibras no están orientadas específicamente para resistir este tipo de carga, por lo que su contribución es limitada. En flexión, los esfuerzos son anisotrópicos, con tracción en una cara y compresión en la otra. Las fibras están mejor orientadas para resistir los esfuerzos de tracción, lo que explica su mayor eficacia en este tipo de carga.
- Interferencia con la matriz cementante: A mayores concentraciones (1%), las fibras pueden interferir con la distribución de los agregados, lo que afecta negativamente la resistencia a la compresión, sin embargo, este efecto es menos significativo en la resistencia a la flexión, ya que la función principal de las fibras en este contexto es impedir la propagación de fisuras y mejorar la tenacidad del material.

A raíz de lo anterior el comportamiento diferencial de las probetas con 0.7% en compresión y 1% en flexión puede explicarse por los mecanismos específicos de refuerzo que ofrecen las fibras y microfibras. En compresión, el 0.7% optimiza la distribución de fibras sin afectar la matriz cementante, mientras que en flexión, el 1% incrementa la densidad de la red de refuerzo, mejorando la ductilidad y el control de fisuras. Estos hallazgos destacan la importancia de la dosificación óptima según el tipo de carga a la cual la estructura será aplicada.

Este estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, los ensayos se realizaron en probetas de laboratorio, lo cual no reproduce completamente las condiciones de una losa industrial en obra, donde la distribución de fibras y el curado pueden variar. Asimismo, se evaluaron tres porcentajes de refuerzo (0.5%, 0.7% y 1.0%), por lo que no se descarta que existan dosificaciones intermedias con un mejor desempeño. Otra limitación radica en el uso de microfibras de cobre de tipo artesanal, cuya variabilidad geométrica podría haber influido en la consistencia de los resultados. Del mismo modo, el curado mediante aditivo líquido fue controlado en condiciones de laboratorio, lo que en campo no siempre es posible, pudiendo dar lugar a valores de resistencia menores. Estas limitaciones sugieren que, si bien los resultados indican mejoras claras, la magnitud de dichas mejoras podría diferir en condiciones reales de aplicación.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos de módulo de ruptura y resistencia a la compresión para probetas de concreto, evidencian el impacto positivo de la adición de fibras de acero (FA), microfibras de cobre (MFC) y aditivo curador (AC) en las propiedades mecánicas del concreto.

Las probetas de concreto reforzadas con fibras de acero (FA) y microfibras de cobre (MFC) y curadas por aditivo presentan mejoras significativas en la resistencia a la compresión, especialmente con una dosificación del 0.7% obteniendo una mejora del 22.7% en comparación con el concreto patrón. Esta proporción optimiza la distribución de fibras dentro de la matriz cementante, permitiendo una mejor cohesión interna y un comportamiento mecánico más eficiente frente a cargas compresivas. Dosificaciones superiores al 0.7% pueden generar un efecto de saturación, dificultando la trabajabilidad y afectando negativamente la calidad de la matriz cementante, lo que explica la reducción relativa en el rendimiento a compresión al usar un 1% de refuerzo.

En las probetas sometidas a flexión, el uso de 1% de FA y MFC y curadas con aditivo logra la mayor mejora en el módulo de ruptura, alcanzando un 39.8% adicional en comparación con el concreto patrón. Este comportamiento se debe a la capacidad de las fibras de crear una red de refuerzo más densa, lo que incrementa la ductilidad y la resistencia frente a esfuerzos de tracción. Como resultado se presenta una mejora notable en sus propiedades mecánicas y su capacidad de absorber energía antes de alcanzar el punto de falla. Este comportamiento se puede observar claramente en la Figura 6, donde la interacción de la red de fibras es crucial para evitar el fraccionamiento completo de la muestra. A pesar de que se presenta una falla, la muestra sigue mostrando una capacidad residual suficiente para mantener una capacidad operativa funcional, lo que resalta la efectividad de este refuerzo para prolongar la capacidad estructural del concreto bajo cargas de flexión.

33

Los resultados evidencian la importancia de ajustar la dosificación de refuerzos según el tipo de carga esperada en la aplicación estructural, maximizando el desempeño mecánico del concreto. Para estructuras sujetas principalmente a cargas de compresión, se recomienda el uso de una dosificación de 0.7% de FA y MFC para lograr un equilibrio óptimo entre resistencia y trabajabilidad.

82

En aplicaciones como las losas industriales, que requieren una alta resistencia a los esfuerzos dinámicos y bajo condiciones extremas de carga, una dosificación del 1% de FA y MFC, es especialmente adecuada para maximizar la resistencia a tracción y mejorar la ductilidad del concreto. Además, este concreto reforzado mantiene una capacidad residual suficiente para soportar cargas adicionales lo que prolonga su desempeño estructural reduciendo los costos de mantenimiento. Estas ventajas posicionan a las fibras como una solución clave para garantizar el rendimiento y capacidad mecánica de las losas industriales en el tiempo.

14

76

Finalmente, es importante reconocer que este estudio presenta algunas limitaciones que condicionan la generalización de los resultados. Entre ellas se incluyen el trabajo en condiciones de laboratorio con probetas reducidas, el número limitado de dosificaciones evaluadas y el uso de microfilamentos artesanales de cobre. Asimismo, el curado controlado mediante aditivo, pudieron haber influido en la magnitud de las resistencias obtenidas. Estos aspectos sugieren la necesidad de realizar investigaciones complementarias en condiciones de obra y con un rango más amplio de variables experimentales, a fin de validar y ampliar los hallazgos reportados.

6. REFERENCIAS / REFERENCES

- 1) ACI 318. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute.
- 2) Chang, Z., Zhang, W., & Wang, L. (2017). The performance of steel fibers in concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(9).
- 3) Gómez, J., & Sánchez, M. (2018). Sustainable design and material innovation in civil engineering. *Construction and Building Materials*, 168.
- 4) González, F., Pérez, D., & Rodríguez, C. (2020). Análisis de fallas estructurales en losas industriales de concreto. *Revista de Ingeniería Civil*, 30(3).
- 5) López, J., Morales, P., & Pérez, H. (2020). Uso de aditivos curadores en la mejora de concretos industriales. *Journal of Construction Chemistry*, 28(5).
- 6) Martínez, R. (2019). Refuerzo de losas de concreto: Métodos y desafíos. *Engineering Construction Review*, 45(2).
- 7) Ríos, A., Hernández, L., & Torres, G. (2015). Diseño y construcción de pisos industriales. Editorial Universitaria.
- 8) Ruiz, A. (2022). Innovación en las tecnologías de refuerzo para losas industriales. *Revista de Materiales y Construcción*, 53(4).
- 9) Smith, J. (2018). Properties of Concrete under Dynamic Loading. *Journal of Structural Engineering*, 64(7).
- 10) Murillo. (2008). Tipo de Diseños en Investigaciones. Salsilli Murúa, R. (2020). MANUAL DE DISEÑO DE PISOS INDUSTRIALES. Instituto Del Cemento y Del Hormigón de Chile.
- 11) Becerra, O., Meza, A. and Salinas, R. (2023). Influence of experimental variables on the mechanical properties of steel fiber reinforced concrete (SFRC) in chloride degradation experiments: bibliographic review and statistical analysis. *Revista Alconpat*, 13(2), 143–157.
- 12) Becker, E. (2021). PISOS INDUSTRIALES DE HORMIGÓN: Diseño, construcción y mantenimiento (Nobuko). Nobuko.
- 13) H. Perrone, F., Becker, E., Calo, D., Jaramillo Porto, D., Kenny, E., Larsen, D., Segerer, M. and Villanueva, R. (2023). PISOS INDUSTRIALES DE HORMIGON: Tecnologías que marcan tendencia. *HORMIGONAR - REVISTA DE LA ASOCIACION ARGENTINA DEL HORMIGON ELABORADO*, 8, 1–52.
- 14) Zhang, X., Wang, Y., He, J., & Chen, X. (2014). Experimental Study on the Mechanical Properties of Copper-Plated Ultra-Fine Steel Fiber Reinforced Cementitious Composites. *Applied Mechanics and Materials*
- 15) Zhou, S., Li, Y., Zhang, C., Liu, L., & Wang, W. (2023). Research on the Dynamic and Static Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete Reinforced with Copper-Plated Steel Fiber. *Materials*
- 16) Lee, H., Lee, S., & Kang, S. H. (2021). Mechanical and Post-Cracking Properties of Fiber Reinforced Concrete Incorporating Copper-Coated Steel and PVA Fibers. *Applied Sciences*.
- 17) Goud, P., & Ramesh, M. V. (2022). Prediction of mechanical properties of waste copper wire fiber reinforced concrete using response surface methodology.
- 18) Al-Saffar, D. M., & Hameed, A. T. (2024). The effect of using sustainable copper fiber on some mechanical properties of high strength green concrete.

7. ANEXOS

DATOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESION

ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CICLINDROS DE CONCRETO										
NTP 339.214;2007 , NTP 339.034;2008										
ITEM	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	DIAMETRO PROBETA(c)	AREA (cm2)	LECTURA (kgf)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
1	Prob. N001-PATRON	17/10/2024	24/10/2024	7	15.1	179.1	47829.5	257.1	350	76.31%
2	Prob. N002-PATRON	17/10/2024	24/10/2024	7	15.0	176.7	41875.5	237.0	350	67.71%
3	Prob. N003-PATRON	17/10/2024	24/10/2024	7	14.9	174.4	46803.6	268.4	350	76.69%
4	Prob. N004-PATRON	17/10/2024	24/10/2024	7	14.9	174.4	45911.1	263.3	350	75.23%
5	Prob. N005-PATRON	17/10/2024	31/10/2024	14	15.0	176.7	56765.8	321.2	350	91.77%
6	Prob. N006-PATRON	17/10/2024	31/10/2024	14	15.1	179.1	53801.5	300.4	350	85.83%
7	Prob. N007-PATRON	17/10/2024	31/10/2024	14	14.9	174.4	52813.3	302.9	350	86.54%
8	Prob. N008-PATRON	17/10/2024	31/10/2024	14	15.1	179.1	57717.3	322.3	350	92.09%
9	Prob. N009-PATRON	17/10/2024	15/11/2024	28	15.1	179.1	63955.7	357.1	350	102.03%
10	Prob. N0010-PATRON	17/10/2024	15/11/2024	28	15.0	176.7	64533.0	365.2	350	104.34%
11	Prob. N0011-PATRON	17/10/2024	15/11/2024	28	14.9	176.7	64975.5	367.7	350	105.06%
12	Prob. N0012-PATRON	17/10/2024	15/11/2024	28	15.0	176.7	61309.2	346.9	350	99.11%
13	Prob. N001-FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	24/10/2024	7	15.2	181.5	50628.4	279.0	350	79.71%
14	Prob. N002-FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	24/10/2024	7	15.2	181.4	49916.4	275.1	350	78.60%
15	Prob. N003-FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	24/10/2024	7	15.2	181.5	50599.6	278.8	350	79.66%
16	Prob. N004-FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	24/10/2024	7	15.2	181.5	50737.2	279.6	350	79.89%
17	Prob. N005-FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	31/10/2024	14	14.9	174.3	58892.5	337.8	350	96.51%
18	Prob. N006-FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	31/10/2024	14	15.1	179.1	60591.1	338.3	350	96.66%
19	Prob. N007-FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	31/10/2024	14	15.1	179.1	65488.3	365.7	350	104.49%
20	Prob. N008-FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	31/10/2024	14	15.1	179.1	61110.3	341.2	350	97.49%
21	Prob. N009-FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	15/11/2024	28	15.0	176.7	70498.4	398.9	350	113.97%
22	Prob. N010-FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	15/11/2024	28	15.1	179.1	72702.0	406.0	350	116.00%
23	Prob. N011-FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	15/11/2024	28	15.1	179.1	72217.0	403.3	350	115.23%
24	Prob. N012-FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	15/11/2024	28	15.1	179.1	71204.9	397.6	350	113.60%
25	Prob. N001-FA(0.7%) FC(0.7%)	18/10/2024	25/10/2024	7	15.2	181.5	55461.2	305.6	350	87.31%
26	Prob. N002-FA(0.7%) FC(0.7%)	18/10/2024	25/10/2024	7	15.1	179.1	60206.5	336.2	350	96.06%
27	Prob. N003-FA(0.7%) FC(0.7%)	18/10/2024	25/10/2024	7	15.2	181.4	60456.2	333.2	350	95.20%
28	Prob. N004-FA(0.7%) FC(0.7%)	18/10/2024	25/10/2024	7	15.2	181.5	57854.9	318.8	350	91.09%
29	Prob. N005-FA(0.7%) FC(0.7%)	18/10/2024	31/10/2024	14	15.2	181.5	70758.1	389.9	350	111.40%
30	Prob. N006-FA(0.7%) FC(0.7%)	18/10/2024	31/10/2024	14	15.2	181.5	70189.4	386.8	350	110.51%
31	Prob. N007-FA(0.7%) FC(0.7%)	18/10/2024	31/10/2024	14	15.1	179.1	69316.2	387.1	350	110.60%
32	Prob. N008-FA(0.7%) FC(0.7%)	18/10/2024	31/10/2024	14	15.1	179.1	71204.9	397.6	350	113.60%
33	Prob. N009-FA(0.7%) FC(0.7%)	18/10/2024	15/11/2024	28	15.0	176.7	78549.1	444.5	350	127.00%
34	Prob. N010-FA(0.7%) FC(0.7%)	18/10/2024	15/11/2024	28	15.0	176.7	79985.2	452.6	350	129.31%
35	Prob. N011-FA(0.7%) FC(0.7%)	18/10/2024	15/11/2024	28	15.1	179.1	76852.6	429.2	350	122.63%
36	Prob. N012-FA(0.7%) FC(0.7%)	18/10/2024	15/11/2024	28	15.0	176.7	75666.3	428.2	350	122.34%
37	Prob. N001-FA(1.0%) FC(1.0%)	18/10/2024	25/10/2024	7	15.0	176.7	49868.5	282.2	350	80.63%

38	Prob. N002-FA(1.0%) FC(1.0%)	18/10/2024	25/10/2024	7	15.2	181.5	54678.6	301.3	350	86.09%
39	Prob. N003-FA(1.0%) FC(1.0%)	18/10/2024	25/10/2024	7	15.2	181.4	54121.3	298.3	350	85.23%
40	Prob. N004-FA(1.0%) FC(1.0%)	18/10/2024	25/10/2024	7	15.2	181.5	54274.2	299.1	350	85.46%
41	Prob. N005-FA(1.0%) FC(1.0%)	18/10/2024	31/10/2024	14	15.2	181.5	66763.6	367.9	350	105.11%
42	Prob. N006-FA(1.0%) FC(1.0%)	18/10/2024	31/10/2024	14	15.2	181.4	65174.9	359.2	350	102.63%
43	Prob. N007-FA(1.0%) FC(1.0%)	18/10/2024	31/10/2024	14	15.2	181.5	68483.1	377.4	350	107.83%
44	Prob. N008-FA(1.0%) FC(1.0%)	18/10/2024	31/10/2024	14	15.2	181.5	65216.4	359.4	350	102.69%
45	Prob. N009-FA(1.0%) FC(1.0%)	18/10/2024	15/11/2024	28	15.0	176.7	72359.3	409.5	350	117.00%
46	Prob. N010-FA(1.0%) FC(1.0%)	18/10/2024	15/11/2024	28	15.0	176.7	71924.1	407.0	350	116.29%
47	Prob. N011-FA(1.0%) FC(1.0%)	18/10/2024	15/11/2024	28	15.1	179.1	75603.9	422.2	350	120.63%
48	Prob. N012-FA(1.0%) FC(1.0%)	18/10/2024	15/11/2024	28	15.0	176.7	71828.9	406.5	350	116.14%

DATOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXION

RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS A LOS TERCIOS DEL TRAMO												
NTP 339.078-NTP 339.079												
ITEM	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	LARGO	ANCHO	ALTO	AREA (cm ²)	LECTURA (kgf)	MODULO DE RUPTURA	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
1	Bloque N001- PATRON	17/10/2024	31/10/2024	14	53	15	15	1519.839	2735.8	1.8	2.1	85.7%
2	Bloque N002- PATRON	17/10/2024	31/10/2024	14	53	15	15	1481.571	2074.2	1.4	2.1	66.7%
3	Bloque N003- PATRON	17/10/2024	31/10/2024	14	50	15	15	1513.736	2119.3	1.4	2.1	66.7%
4	Bloque N004- PATRON	17/10/2024	31/10/2024	14	52	15	15	1502.030	3004.1	2.0	2.1	95.2%
5	Bloque N005- PATRON	17/10/2024	15/11/2024	28	53	15	15	1468.730	2937.5	2.0	2.1	95.2%
6	Bloque N006- PATRON	17/10/2024	15/11/2024	28	53	15	15	1523.227	3351.1	2.2	2.1	104.8%
7	Bloque N007- PATRON	17/10/2024	15/11/2024	28	50	15	15	1514.354	3331.6	2.2	2.1	104.8%
8	Bloque N008- PATRON	17/10/2024	15/11/2024	28	52	15	15	1473.800	2947.6	2.0	2.1	95.2%
9	Bloque N001- FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	31/10/2024	14	53	15	15	1481.030	2962.0	2.0	2.1	95.2%
10	Bloque N002- FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	31/10/2024	14	53	15	15	1507.657	3166.1	2.1	2.1	100.0%
11	Bloque N003- FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	31/10/2024	14	50	15	15	1506.830	3013.7	2.0	2.1	95.2%
12	Bloque N004- FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	31/10/2024	14	52	15	15	1499.030	2998.1	2.0	2.1	95.2%
13	Bloque N005- FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	15/11/2024	28	53	15	15	1477.833	3546.8	2.4	2.1	114.3%
14	Bloque N006- FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	15/11/2024	28	53	15	15	1516.732	3640.3	2.4	2.1	114.3%
	Bloque N007- FA(0.5%)											

15	FC(0.5%)	17/10/2024	15/11/2024	28	50	15	15	1501.385	3903.6	2.6	2.1	123.8%
16	Bloque. N008- FA(0.5%) FC(0.5%)	17/10/2024	15/11/2024	28	52	15	15	1505.565	3462.8	2.3	2.1	109.5%
17	Bloque. N001- FA(0.7%) FC(0.7%)	18/11/2024	31/10/2024	14	53	15	15	1484.500	3265.9	2.2	2.1	104.8%
18	Bloque. N002- FA(0.7%) FC(0.7%)	18/11/2024	31/10/2024	14	53	15	15	1515.042	3636.1	2.4	2.1	114.3%
19	Bloque. N003- FA(0.7%) FC(0.7%)	18/11/2024	31/10/2024	14	50	15	15	1491.545	3281.4	2.2	2.1	104.8%
20	Bloque. N004- FA(0.7%) FC(0.7%)	18/11/2024	31/10/2024	14	52	15	15	1521.542	3651.7	2.4	2.1	114.3%
21	Bloque. N005- FA(0.7%) FC(0.7%)	18/11/2024	15/11/2024	28	53	15	15	1512.303	3932.0	2.6	2.1	123.8%
22	Bloque. N006- FA(0.7%) FC(0.7%)	18/11/2024	15/11/2024	28	53	15	15	1521.845	3956.8	2.6	2.1	123.8%
23	Bloque. N007- FA(0.7%) FC(0.7%)	18/11/2024	15/11/2024	28	50	15	15	1465.920	3664.8	2.5	2.1	119.0%
24	Bloque. N008- FA(0.7%) FC(0.7%)	18/11/2024	15/11/2024	28	52	15	15	1510.345	3926.9	2.6	2.1	123.8%
25	Bloque. N001- FA(1.0%) FC(1.0%)	18/11/2024	31/10/2024	14	53	15	15	1470.345	3822.9	2.6	2.1	123.8%
26	Bloque. N002- FA(1.0%) FC(1.0%)	18/11/2024	31/10/2024	14	53	15	15	1516.720	3791.8	2.5	2.1	119.0%
27	Bloque. N003- FA(1.0%) FC(1.0%)	18/11/2024	31/10/2024	14	50	15	15	1480.577	3849.5	2.6	2.1	123.8%
28	Bloque. N004- FA(1.0%) FC(1.0%)	18/11/2024	31/10/2024	14	52	15	15	1465.440	3663.6	2.5	2.1	119.0%
29	Bloque. N005- FA(1.0%) FC(1.0%)	18/11/2024	15/11/2024	28	53	15	15	1493.633	4480.9	3.0	2.1	142.9%
30	Bloque. N006- FA(1.0%) FC(1.0%)	18/11/2024	15/11/2024	28	53	15	15	1470.931	4265.7	2.9	2.1	138.1%
31	Bloque. N007- FA(1.0%) FC(1.0%)	18/11/2024	15/11/2024	28	50	15	15	1513.741	4087.1	2.7	2.1	128.6%
32	Bloque. N008- FA(1.0%) FC(1.0%)	18/11/2024	15/11/2024	28	52	15	15	1495.033	4485.1	3.0	2.1	142.9%

PANEL FOTOGRAFICO

