

EFFECT OF DRAMIX 3D STEEL FIBERS AT PERCENTAGES OF 2%, 4% AND 6%, ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF RIGID PAVEMENT

Enrique Sebastian Muñoz Caceres, Bach.¹; Fara Maricielo Pajares Briceño, Bach.²; Victor Raul Sebastian Lucano³

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00242567@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, N00242571@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, victor.sebastian@upn.edu.pe

Abstract—This experimental research analyzes how the integration of Dramix 3D steel fibers at percentages of 2%, 4%, and 6% affects the compressive strength of concrete for rigid pavements. Following ASTM C39, 36 cylindrical samples were produced, including a control concrete without fibers and three reinforced mixes. These were tested at 7, 14, and 28 days. The results indicate that, with the addition of fibers, the compressive strength increases gradually. Compared to conventional concrete, at 28 days, improvements of 4.79%, 23.26%, and 24.91% were observed for the 2%, 4%, and 6% dosages, respectively. However, the increase in strength stabilizes at the 4% level, showing only minor variations compared to the 6% level. The ANOVA statistical analysis confirmed significant differences between the mixes, highlighting that the 4% and 6% dosages exhibited higher strength values, while the control mix and the 2% mix showed similar performance. Similarly, the 4% dosage demonstrated lower variability and higher homogeneity in the results, which are considered excellent according to the concrete control standards of ACI 214. Finally, it was determined that adding 4% fibers is the best option because it allows for an appropriate balance between mechanical strength, workability, and cost. This makes it suitable for use in rigid pavements subjected to high traffic volumes.

Keywords: Compressive strength, Dramix 3D steel fiber, Rigid pavement, Fiber-reinforced concrete, Mix design.

EFECTO DE LAS FIBRAS DE ACERO DRAMIX 3D EN PORCENTAJES DE 2%, 4% Y 6%, EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL PAVIMENTO RÍGIDO

Enrique Sebastian Muñoz Caceres, Bach.¹; Fara Maricielo Pajares Briceño, Bach.²; Victor Raul Sebastian Lucano³

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00242567@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, N00242571@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, victor.sebastian@upn.edu.pe

Resumen– Esta investigación experimental analiza cómo la integración de fibras de acero Dramix 3D en porcentajes del 2%, 4% y 6% afecta la resistencia a la compresión del concreto para pavimentos rígidos. Siguiendo la norma ASTM C39, se produjeron 36 probetas cilíndricas, que incluían un concreto patrón sin fibras y tres mezclas reforzadas. Estas se ensayaron a las edades de 7, 14 y 28 días. Los resultados indican que, al añadir fibras, la resistencia a la compresión aumenta de manera gradual. En comparación con el concreto convencional, a los 28 días se notaron progresos de 4.79%, 23.26% y 24.91% para las dosificaciones del 2%, el 4% y el 6%. Sin embargo, se notó que el aumento de resistencia se estabiliza a partir del 4%, mostrando variaciones poco relevantes en comparación con el 6%. El análisis estadístico ANOVA corroboró que existen diferencias importantes entre las mezclas, enfatizando que las dosificaciones de 4% y 6% exhiben valores más altos de resistencia, a la vez que el concreto patrón y el 2% tienen rendimientos parecidos. Igualmente, la dosificación del 4% mostró una variabilidad más baja y una homogeneidad más alta en los resultados, los cuales son considerados excelentes de acuerdo a los estándares de control de concreto de la norma ACI 214. Finalmente, se determina que la mejor opción es agregar un 4% de fibras, porque permite mantener un balance apropiado entre la resistencia mecánica, lo trabajable y el costo. Esto resulta posible para su uso en pavimentos rígidos que soportan un tránsito elevado.

Palabras clave: Resistencia a la compresión, Fibra de acero Dramix 3D, Pavimento rígido, Concreto reforzado con fibras, Diseño de mezcla.

I. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos se deterioran debido a variaciones de temperatura, cargas externas y deficiente mantenimiento, lo que provoca pérdida de resistencia e impermeabilidad, generando grietas por donde se filtra agua y que, con el tiempo, se convierten en daños mayores capaces de ocasionar accidentes peatonales y vehiculares. Asimismo, destaca la

necesidad de evaluar la estructura del pavimento para identificar las causas reales del deterioro, señalando que los deficientes procesos constructivos y el mantenimiento tardío contribuyen a fallas prematuras [1].

Ref. [2] En el contexto peruano, en enero de 2026, el tráfico vehicular creció 3,3% a comparación de 2025, impulsado por el aumento de vehículos ligeros (3,7%) por mayor movilidad en verano. Los vehículos pesados subieron 2,9% por la demanda de sectores como construcción y minería. En el último año el índice acumuló un alza de 4,0%. Este aumento del tránsito, junto con la antigüedad de las vías, los factores climáticos y una gestión inadecuada, acelera el desgaste de los pavimentos y reduce su resistencia mecánica, afectando su desempeño y vida útil.

Las negocios y empresas aumentan por lo que el tránsito que realizan los camiones para sus mercancías es más constante, esto provoca que las se transiten más, lo que conlleva al deterioro de estas estructuras, los daños causados por la edad, los agentes climáticos a los que están sometidas y una mala gestión son algunas de las otras causas que afectan a la resistencia tanto a flexión como compresión de los pavimentos [3].

Múltiples estudios de evaluación del ciclo de vida han demostrado que el refuerzo con fibras de acero mejora la durabilidad y extiende la vida útil del concreto, reduciendo así la frecuencia de mantenimiento y reemplazo, lo cual disminuye el consumo de recursos, emisiones de CO₂ en relación al transporte y la producción de nuevos materiales, y la generación de residuos de construcción y demolición a lo largo del tiempo, es decir si se reduce el CO₂ habría una mejora en el impacto social y ambiental, en la industria de la construcción mejorando así el cambio climático y favoreciendo los ecosistemas [4].

Contribuye con la reducción de combustibles ya que son fibras compactas, por ello se requiere menos transporte de

material en comparación de refuerzo con valla voluminosa. Por otro lado, es un componente altamente reciclable, debido a que se pueden separar del concreto demolido mediante procesos magnéticos [5].

La investigación compara el desempeño del concreto con y sin fibras de acero mediante ensayos de compresión, con el fin de determinar cuál presenta mayor resistencia y mejorar el comportamiento del pavimento. Asimismo, busca aportar conocimiento científico que sirva como antecedente para futuros estudios.

El análisis del comportamiento de las fibras demostró que su incorporación incrementa la resistencia y durabilidad del pavimento, prolongando su vida útil y convirtiéndose en una alternativa viable para soportar cargas de alto tránsito. Además, desde el ámbito social, el uso de fibras contribuye a la seguridad vial, ya que reduce la aparición de grietas y baches, manteniendo las vías en mejores condiciones y disminuyendo el riesgo de accidentes.

El acero, compuesto principalmente por hierro y un porcentaje de carbono, es uno de los insumos más empleados en la construcción debido a sus propiedades mecánicas, como alto punto de fusión, tenacidad, ductilidad, maleabilidad y facilidad de soldadura, lo que le permite absorber energía, deformarse sin romperse y resistir elevados esfuerzos de compresión [6]. Asimismo, se caracteriza por su capacidad de soportar cargas sin fallar, combinando resistencia y deformación, propiedad conocida como tenacidad [7].

Por su parte, las fibras de acero Dramix 3D, cumplen con las normas ASTM A820 y EN 14889 fabricadas a partir de acero trefilado en frío y bajo en carbono, se emplean como refuerzo del concreto para mejorar el desempeño de pavimentos, ya que reducen la fisuración, controlan la propagación de grietas y distribuyen los esfuerzos de manera más uniforme, aumentando la durabilidad y resistencia al impacto hasta cinco veces más en comparación con pavimentos tradicionales [8].

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del concreto, el cual permite determinar su capacidad para soportar cargas y garantizar el cumplimiento de las especificaciones estructurales. Esta se expresa en unidades como kg/cm^2 , MPa o psi y se verifica mediante ensayos técnicos. Los valores varían según la aplicación, desde 200 kg/cm^2 en obras residenciales hasta 300 kg/cm^2 o más en estructuras comerciales, pudiendo alcanzar resistencias superiores a 80 MPa en casos especiales [9]. Asimismo, la adición de fibras de acero puede modificar y mejorar significativamente esta resistencia en pavimentos.

El propósito de la investigación es evaluar el impacto de la incorporación de fibras de acero en proporciones de 2%, 4% y 6% sobre la resistencia a la compresión del concreto y,

finalmente, comparar los resultados obtenidos entre el concreto tradicional y aquel con refuerzo de fibras de acero en las proporciones mencionadas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que evalúa la resistencia a la compresión del pavimento reforzado con fibra de acero Dramix 3D mediante mediciones numéricas obtenidas a través de ensayos de laboratorio estandarizados, permitiendo un análisis objetivo y estadístico de los resultados. Asimismo, es de tipo experimental, debido a que se controlan las variables para asegurar que los cambios observados se deban únicamente a la proporción de fibras, correspondiendo a un diseño experimental puro orientado a establecer relaciones de causa-efecto.

- Variable dependiente: Resistencia a compresión.
- Variable independiente: Adición de fibra

A. Materiales

- Cemento Portland Tipo I: Se seleccionó por su disponibilidad en la región, resistencia y durabilidad.
- Agua: Obtenida de forma local y fue utilizada para hidratar el concreto.
- Fibra de acero Dramix 3D: Utilizado para mejorar los resultados mecánicos del concreto. En dosis de 2%, 4% y 6%.
- Agregados (Fino y grueso): Arena y piedra triturada obtenidas de la cantera Juan Sin Miedo.

B. Ensayos realizados según norma

- Ensayo de granulometría (NTP 400.012)
- Contenido de humedad (NTP 339.185)
- Absorción para agregado grueso (NTP 400.021)
- Peso unitario compactado y suelto de los agregados (NTP 400.017).
- Diseño de mezcla ACI211 (relación a/c, dosificación, cantidad de fibra)
- Ensayo a compresión (ASTM C39 / NTP 339.034)

C. Diseño de Mezcla

El diseño se realizó siguiendo la metodología ACI 211 [10] para alcanzar una resistencia de diseño de $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$. Se determinó una resistencia promedio requerida (f'_{cr}) de 295 kg/cm^2 , lo que permitió establecer una relación

agua/cemento (a/c) en peso de 0.557 mediante interpolación técnica (ver Tabla 2 de relación a/c).

Tabla 1

Ensayo	Agregado fino	Agregado grueso
Peso específico	2815 kg/m ³	2734 kg/m ³
Absorción	2.91%	0.08%
Contenido de humedad	7.06%	0.10%
Módulo de finura	3.01	2.36
Tamaño máximo nominal	50	¾"
Peso seco compactado	1673.14 kg/m ³	1539.60 kg/m ³

Nota: El peso específico del Cemento es de 3150 kg/m³ y el peso específico del agua es de 1000 kg/m³

Tabla 2

Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Relación a/c (Concreto sin aire)
300	0.55
295 (fcr interpolando)	0.557
250	0.62

Nota: Valores obtenidos mediante interpolación

D. Dosificación

Se fabricaron un total de 36 probetas cilíndricas (15 x 30 cm). Para cada muestra, se consideró un volumen de concreto de 0.0053 m³. La dosificación por probeta para cada diseño se presenta en la tabla 3.

Tabla 3

Insumo	Unidad	Concreto Patrón	Concreto con fibras Dramix 3D		
			2%	4%	6%
Cemento Portland					
Tipo 1	kg	2.51	2.51	2.51	2.51
Agregado Fino	kg	5.37	5.37	5.37	5.37
Agregado Grueso	kg	5.39	5.39	5.39	5.39
Agua	Lt	0.94	0.94	0.94	0.94
Fibra Dramix 3D	kg	-	0.05	0.10	0.15

Nota: Se incluyo un porcentaje de desperdicio en el pesaje del laboratorio para garantizar el llenado completo de los moldes, obteniendo pesos totales por probeta, el 2% 14.26 kg, el 4% 14.31 y el 6% 14.36 kg.

E. Muestra

Tabla 4

Cantidad de edades, dosis y total de muestras

Edad de ensayo (Días)	Concreto patrón	Concreto con fibras Dramix 3D			Subtotal
		2%	4%	6%	
7	3	3	3	3	12
14	3	3	3	3	12
28	3	3	3	3	12
Total					36

Para la preparación de las probetas se elaboraron mezclas de concreto con 2%, 4% y 6% de fibra de acero, además de una mezcla patrón sin refuerzo.

El concreto fue colocado en moldes cilíndricos de 15 x 30 cm y compactado conforme a las normas técnicas, garantizando una adecuada homogeneidad y distribución uniforme de las fibras. Posteriormente, las muestras fueron curadas durante 7, 14 y 28 días antes de realizar los ensayos de compresión.

El proceso de curado de las mezclas fue por medio de inmersión de agua, garantizando una adecuada hidratación del cemento y se tenga una resistencia mecánica uniforme.

Este procedimiento aseguró que las probetas representaran de manera confiable el comportamiento real de cada dosificación, permitiendo obtener resultados precisos y comparables. La correcta preparación y curado de las muestras fue fundamental para evaluar con validez el efecto de las fibras de acero en la resistencia del concreto.

F. Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico y procesar datos cuantitativos se utilizó el software Minitab 22,2,1.

Este software nos facilita el método ANOVA, el cual evalúa las diferencias significativas en la resistencia a la compresión del concreto, entre el concreto patrón y las dosis utilizadas de Dramix 3D.

Los datos obtenidos son presentados mediante gráficos los cuales, nos permiten interpretar y comparar.

- Gráfico de intervalos de resistencia a la compresión.: Muestran los rangos de confiabilidad del 95% para las medias, permitiendo la comparación entre el CP y las dosis utilizadas de acero Dramix 3D.
- Gráfico de valores individuales de resistencia a la compresión: Se observa la variación de los datos para medir dentro del grupo que corresponda

- Gráfico de cajas de resistencia a la compresión: Se examina la dispersión de los valores, la mediana, percentiles, datos extremos o atípicos.

G. Criterios de análisis estadísticos

- Nivel de significancia ($\alpha = 0.05$)
- Intervalo de confianza (95%)
- Justificación del uso de ANOVA
- Prueba post hoc utilizada (Tukey)

Tabla 5

Estándares para el control del concreto para $f'_c \leq 35$ Mpa

Clase de operación	Desviación estándar para los diferentes estándares de control, (kg/cm ³)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
Tandas de ensayo de laboratorio	Menor a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	Mayor a 24.6

Fuente ACI 214-77 (2017) [11]

Se tiene en cuenta la Tabla 5 para verificar los estándares correctos para realizar los ensayos en laboratorio.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación de la resistencia del concreto simple y el concreto con fibra de acero Dramix en 2%, 4% y 6%.

A. Resistencia a la compresión por edades

Tabla 6

Descripción	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
	Edades		
	7 días	14 días	28 días
Probetas patrón	239.86	275.87	301.72
Probetas con 2 %	265.64	288.49	316.17
Probetas con 4%	271.01	314.54	371.91
Probetas con 6%	306.97	345.66	376.87

Nota: Al analizar el comportamiento mecánico del concreto, se observa que el concreto patrón alcanzó una resistencia de 301.72 kg/m³ a los 28 días, con una relación de agua - cemento de 0.557. Este valor supera la resistencia nominal de diseño de 280 kg/m³

B. Resistencia a la compresión a los 7 días

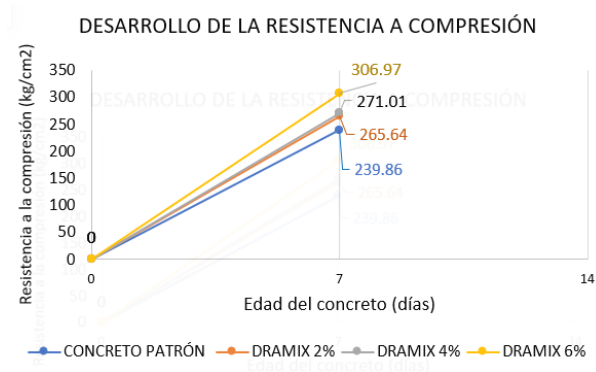


Figura 1: Desarrollo de la resistencia a los 7 días

Se muestran las resistencias de las probetas de Concreto Patrón (CP), DR 2%, DR 4% Y DR 6% de acuerdo al ensayo a compresión, se tiene los resultados de los 7, días con una resistencia promedio de 289 kg/cm², 322 kg/cm² y 365 kg/cm² respectivamente. o que representa incrementos aproximados del 11%, 23% y 34% respectivamente.

C. Resistencia a la compresión de los 14 días.

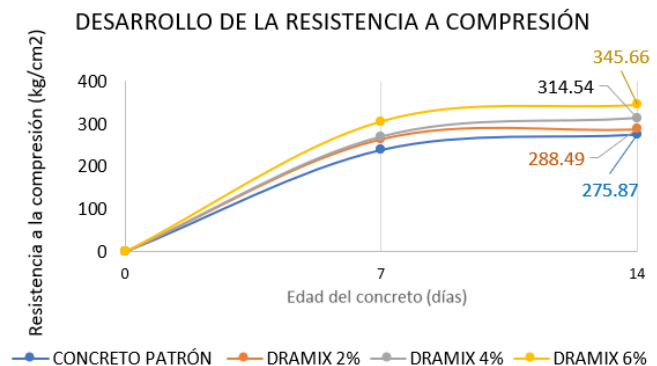


Figura 2: Desarrollo de la resistencia a los 14 días

La Fig. 2 presenta que, a los 7 días de edad, la resistencia a compresión del concreto aumenta de manera progresiva con la incorporación de fibras DRAMIX, registrándose un valor de 311.42 kg/cm² para el concreto patrón, 321.79 kg/cm² para DRAMIX 2%, 364.46 kg/cm² para DRAMIX 4% y 372.96 kg/cm² para DRAMIX 6%.

Comparando la resistencia a compresión entre 7 y 14 días para cada dosificación, se observa un incremento consistente en todos los casos: el concreto patrón pasa de aproximadamente 289.27 kg/cm² a 311.42 kg/cm², lo que representa un aumento cercano al 7.7%; el concreto con DRAMIX 2% incrementa de 322.28 kg/cm² a 321.79 kg/cm², mostrando una ganancia marginal que indica una estabilización temprana de la resistencia; en el caso de

DRAMIX 4%, la resistencia aumenta de 355.16 kg/cm² a 364.46 kg/cm², equivalente a un incremento aproximado del 2.6%; mientras que el DRAMIX 6% pasa de 386.18 kg/cm² a 372.96 kg/cm².

D. Resistencia a la compresión a los 28 días.

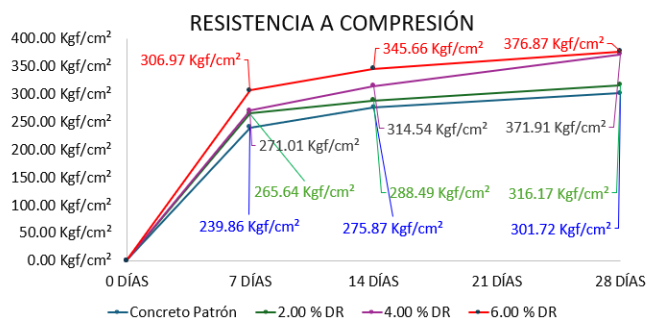


Figura 3: Progreso de la resistencia a la compresión del CP y Dramix 3D en los 7, 14 y 28 días.

A los 28 días, el CP presenta una resistencia media de 301.72 kg/cm², mientras que las mezclas con fibras DRAMIX alcanzan resistencias de 316.17 kg/cm² (2%), 371.91 kg/cm² (4%) y 376.87 kg/cm² (6%). Esto representa incrementos porcentuales de aproximadamente 4.8% para 2%, 23.3% para 4% y 24.9% para 6% respecto al concreto patrón. Estos datos indican que, a la edad de 28 días, la incorporación de fibras DRAMIX continúa mejorando significativamente la resistencia a compresión, especialmente en dosificaciones mayores.

Tabla 7

Variación de la resistencia a la compresión de acuerdo al tratamiento a los 28 días.

Diseño	1	2	3	4
	Concreto Patrón	2.00 % DR	4.00 % DR	6.00 % DR
Media (Kg/cm ²)	301.72	316.17	371.91	376.87
Porcentaje con respecto al Concreto Patrón (%)		104.79 %	123.26 %	124.91 %
Variación respecto al Concreto Patrón (%)		4.79 %	23.26 %	24.91 %

Fuente: Obtenido del procesamiento de datos del Software Minitab

La Tabla 7, representa la variación de la resistencia a la compresión a los 28 días, se presentan los incrementos relativos de 4.79%, 23.26% y 24.91%, respecto al CP, en donde se evidencia una mejora progresiva conforme aumenta el contenido de fibra.

Tabla 8

Análisis de la varianza correspondiente a la resistencia a la compresión del concreto endurecido a los 28 días

Fuente de variabilidad	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	13198.6	4399.52	44.26	0.000
Error	8	790.6	98.82		
Total	11	13989.1			

Fuente: Obtenido del procesamiento de datos del Software Minitab

Nota:

Si (0.01 < P < 0.05) hay significación estadística en el ANOVA

Si (P < 0.01) hay una alta significación estadística en el ANOVA

Si (P > 0.05) no hay diferencia estadística en el ANOVA

GL (grados de libertad)

MC (Media de los cuadrados)

SC (suma de cuadrado)

Valor F (F calculado)

Valor P (valor de probabilidad).

El valor “p” obtenido indica que hay una diferencia significativa entre las resistencias a compresión de los tratamientos evaluados, por ellos se rechaza la hipótesis nula, la cual plantea que las medias son todas iguales y se acepta la hipótesis que por lo menos una muestra presenta un comportamiento distinto.

Tabla 9

Medias de la Resistencia a compresión a los 28 días

TRATAMIENTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
CP - 28D	3	301.72	11.33	(288.49; 314.96)
DR 2% - 28D	3	316.17	10.11	(302.94; 329.41)
DR 4% - 28D	3	371.91	6.3	(358.68; 385.14)
DR 6% - 28D	3	376.87	11.18	(363.63; 390.10)

Desv.Est. agrupada = 9.94083

Fuente: Obtenido del procesamiento de datos del Software Minitab

La Tabla 9 fue comparada con la Tabla 5, la cual muestra los estándares de control para la desviación estándar.

Para los tratamientos con Concreto Patrón (CP), Dramix 2%, Dramix 4% y Dramix 6%, se presentan las desviaciones estándar de 11.33, 10.11, 6.30 y 11.18 respectivamente, entonces estos valores se ubican dentro del rango de < 14.1, de la Tabla 4 de Estándares para el Control del Concreto en la cual en ese rango se contemplan como valores excelentes.

Tabla 10

Información agrupada de la Resistencia a compresión a los 7 días, con el método Tukey y una confianza del 95%.

DISEÑO	No.	Media (kg/cm ²)	Agrupación
DR 6% - 28D	3	376.87	A
DR 4% - 28D	3	371.91	A
DR 2% - 28D	3	316.17	B
CP - 28D	3	301.72	B

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: Obtenido del procesamiento de datos del Software Minitab

En la Tabla 10 se aprecian 2 agrupaciones (A y B), estas agrupaciones muestran las diferencias importantes en cada muestra.

Agrupación A:

En este grupo estadístico pertenecen las mezclas de DR 6% y DR 4%, esto quiere decir que no existen diferencias importantes entre ellas y también que ambas alcanzan los mayores valores de resistencia.

Agrupación B:

En esta agrupación se observan las mezclas DR 2% Y CP, se evidencia que sus resistencias son significativamente menores que el grupo A.

Estos valores indican que una adición baja como el 2 % de fibra de acero Dramix 3D, no produce un incremento significativo para diferenciarse del Concreto Patrón.

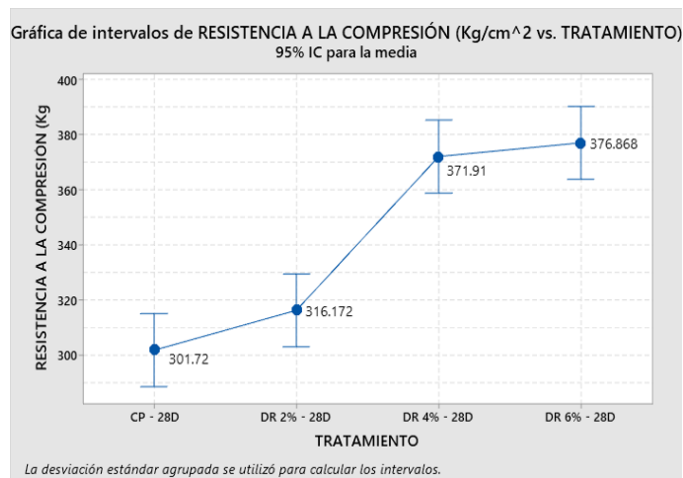


Figura 4: Gráfica de intervalos de resistencia a la compresión.

En Fig 4, se observa los intervalos de confianza del 95%, para cada muestra. Se aprecia que el CP y el DR2% no tienen una diferencia significativa, para el DR 4% y DR 6%, se alcanzó una resistencia mucho más óptima.

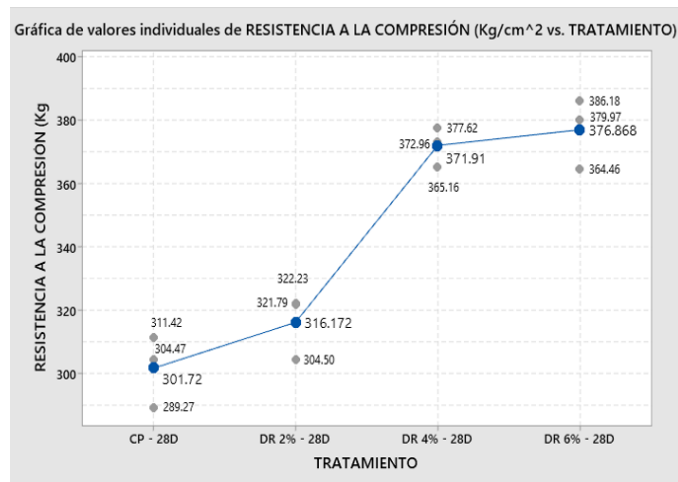


Figura 5: Gráfica de valores individuales

La Fig. 5 evidencia que añadir la fibra de acero Dramix 3D genera un incremento progresivo de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, se observa que el CP presenta la menor resistencia media, el tratamiento DR 6% alcanza su valor máximo.

El tratamiento con 4% de adición destaca por presentar valores de resistencia elevados y una menor dispersión de los resultados es decir un comportamiento más homogéneo del material.

Se determina que el aumento de fibra Dramix mejora significativamente el desempeño mecánico del concreto y que un contenido intermedio de fibra permite optimizar tanto la resistencia como la uniformidad, aspecto relevante para su aplicación estructural.

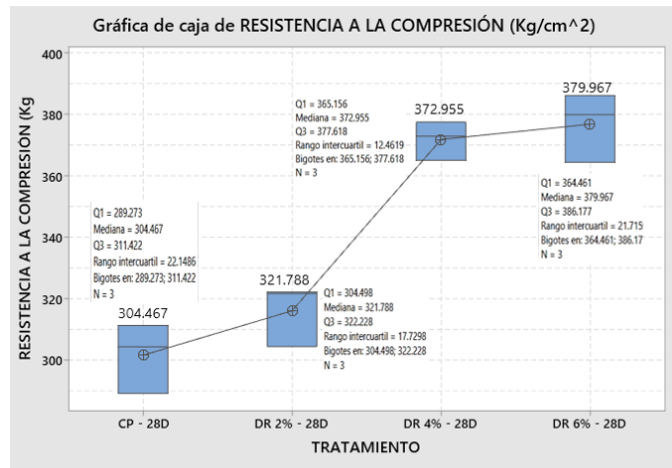


Figura 6: Gráfica de cajas de la resistencia a la compresión

La Fig. 6, muestra valores como los rangos intercuartiles, mediana y asimetrías que pueden aparecer en la distribución.

El análisis de las medianas en la figura muestra que la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días aumenta progresivamente con la incorporación de fibra de acero Dramix 3D, registrándose el menor valor en el concreto patrón y los mayores valores en los tratamientos con 4 % y 6 % de adición, lo que confirma el efecto positivo del refuerzo fibroso.

En el caso del estudio de la dispersión mediante el rango intercuartílico evidencia que el tratamiento con 4% de fibra presenta la menor variabilidad, reflejando un comportamiento más homogéneo y estable del material, mientras que el concreto patrón y el tratamiento con 6 % muestran una mayor dispersión de los resultados, se determina que un contenido intermedio de fibra permite optimizar simultáneamente la resistencia a la compresión y la uniformidad del concreto, aspecto relevante para su aplicación estructural.

E. Análisis de viabilidad técnica y económica

El análisis del impacto de las fibras sobre la trabajabilidad del concreto indicó que, aunque todas las mezclas fueron adecuadas para llenar las probetas, las proporciones del 4% y 6% exhibieron una mayor resistencia al flujo interno. Esto implica que, para proyectos a gran escala en pavimentos, sería necesario un control más riguroso del vibrado o la incorporación de aditivos superplastificantes para preservar la eficiencia en la construcción.

Desde el enfoque de costos, los hallazgos revelan que el aumento de resistencia entre la mezcla del 4% (371.91 kg/cm²) y el 6% (376.87 kg/cm²) es solo de un 1.65%. Al tomar en cuenta que el costo del refuerzo crece de manera lineal con la cantidad de fibra, se determina que el 4% de fibras Dramix 3D representa el equilibrio ideal. Esta proporción optimiza el rendimiento mecánico sin generar costos adicionales ni complicaciones en la trabajabilidad que conlleva una saturación de fibras del 6%.

El incremento en la resistencia a la compresión observado (hasta un 24.91% con 6% de fibra) está en línea con lo indicado por el ACI 544.1R [12], que menciona que, aunque las fibras de acero principalmente ayudan a controlar la propagación de fisuras y aumentan la ductilidad, una dosificación adecuada mejora la capacidad de carga axial al confinar la matriz de cemento. Además, la consistencia en los fallos mecánicos alcanzados siguiendo la norma ASTM C39 [13] valida que la incorporación de fibras Dramix 3D no solo incrementa la resistencia, sino que también refuerza la integridad estructural del pavimento frente a esfuerzos de compresión.

IV. CONCLUSIÓN

La incorporación de fibras de acero DRAMIX 3D incrementa significativamente la resistencia a la compresión del concreto, evidenciándose mejoras progresivas conforme aumenta el porcentaje de fibra. A los 28 días de curado, las mezclas con 2%, 4% y 6% de fibra alcanzaron incrementos aproximados de 4.79%, 23.26% y 24.91%, respectivamente, en comparación con el concreto patrón, lo que confirma el efecto positivo del refuerzo fibroso en el desempeño mecánico del concreto lo que demuestra que el mayor salto mecánico ocurre al pasar del 2% al 4%, con una ganancia adicional de aproximadamente 18.5%.

El análisis estadístico mediante el método ANOVA confirmó que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, rechazándose la hipótesis nula. Asimismo, la prueba de agrupación indicó que las mezclas con 4% y 6% de fibra pertenecen al grupo de mayores resistencias, mientras que el concreto patrón y la mezcla con 2% presentaron valores estadísticamente inferiores, lo que sugiere que bajas dosificaciones no generan mejoras relevantes.

La prueba de agrupación estadística evidenció dos grupos claramente diferenciados: el grupo (A) de mayores resistencias conformado por las mezclas con 4% y 6% de fibra DRAMIX, y un segundo grupo (B) con resistencias significativamente menores integrado por el concreto patrón y la mezcla con 2% de fibra. Esto demuestra que dosificaciones bajas de fibra no generan mejoras mecánicas estadísticamente relevantes respecto al concreto convencional.

El análisis de variabilidad mostró desviaciones estándar de 11.33 kg/cm² (CP), 10.11 kg/cm² (2%), 6.30 kg/cm² (4%) y 11.18 kg/cm² (6%), encontrándose todas por debajo del límite de 14.1 kg/cm² establecido por la guía ACI 214, lo que confirma una calidad de ensayo clasificada como excelente en todos los tratamientos.

En términos cuantitativos y estadísticos, la dosificación del 4% de fibra de acero DRAMIX 3D es la alternativa más eficiente. Esta recomendación se sustenta en que dicho porcentaje logrando una mejora sustancial a la resistencia (23.26% respecto al patrón) con la menor variabilidad estadística (DE = 6.30), garantizando un material homogéneo y económicamente viable para pavimentos rígidos sometidos a condiciones de alto tránsito.

REFERENCIAS

- [1] G. Mena, "Evaluación estructural de los pavimentos en el casco urbano, de la ciudad de Cutervo", 2018.
- [2] Instituto Nacional de Estadística e Informática, "Flujo vehicular por unidades de Peaje – Enero 2026", 2026
- [3] O. Llique, "Caracterización de los métodos de tratamiento para pavimentos rígidos deteriorados en base a investigaciones", 2022
- [4] MDPI. Evaluación de la techno-eficiencia del uso de fibra de acero reciclada en el hormigón
- [5] Bosfa, "Sustainability (EPD) – Dramix steel fibers"
- [6] O. Goytia, "¿Qué es el acero y para qué sirve?", 2022
- [7] J. Trottier, M. Mahoney & D. Forgeron. "Concreto reforzado con fibras", 2022
- [8] Bekaert, Dramix steel fibers for concrete reinforcement. 2022
- [9] CEMEX, "¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto", 2019
- [10] ACI Committee 211, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, ACI 211.1-91 (Reapproved 2009), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2009.
- [11] ACI 214 RS-11. (2017). Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto.
- [12] ACI Committee 544. (2009). Report on Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.1R-96)
- [13] ASTM international. (2021). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (ASTM C39/C39M-21)