

# Evaluation of properties of concrete reinforced with microsilica and synthetic macrofibers for rigid pavements in the coastal area of Peru

Lisber Horacio Barreto Otiniano, Bachiller<sup>1</sup>; Julio Helaman Nunja Llucho, Bachiller<sup>1</sup>,  
Marco Antonio Junior Cerna Vásquez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad César Vallejo (UCV), Perú. [lhbarreto@ucvvirtual.edu.pe](mailto:lhbarreto@ucvvirtual.edu.pe), [jnunjal22@ucvvirtual.edu.pe](mailto:jnunjal22@ucvvirtual.edu.pe),  
[mcernav@ucvvirtual.edu.pe](mailto:mcernav@ucvvirtual.edu.pe)

*Abstract– This study analyzes the effects of incorporating microsilica and synthetic macrofibers into concrete with a characteristic strength of  $f'_c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, intended for rigid pavements. Proportions of microsilica (2%, 4%, and 6%) and synthetic macrofibers (4, 6, and 8 kg/m<sup>3</sup>) were considered to evaluate physical and mechanical properties such as slump, temperature, unit weight, compressive strength, and flexural strength, following ASTM and NTP standards. The results show that 6% microsilica and 6 kg/m<sup>3</sup> of macrofibers are optimal. Knowing this, in situ tests were conducted, including the diamond test, by preparing three panels: a standard panel, another with 6 kg of macrofibers, and another with 6% microsilica. This study contributes to the design of durable and efficient pavements to improve urban infrastructure.*

*Keywords– Rigid pavement, microsilica, synthetic macrofibers, in situ tests, laboratory tests.*

# Evaluación de propiedades del concreto reforzado con microsílíce y macrofibras sintéticas para pavimentos rígidos en zona costera del Perú

Lisber Horacio Barreto Otiniano, Bachiller<sup>1</sup>; Julio Helaman Nunja Llucho, Bachiller<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Universidad César Vallejo (UCV), Perú. lhbarreto@ucvvirtual.edu.pe, jnunjal22@ucvvirtual.edu.pe

**Resumen** –Este estudio analiza los efectos de la incorporación de microsílíce y macrofibras sintéticas en concreto con una resistencia característica de  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, destinado a pavimentos rígidos. Se consideraron proporciones de microsílíce (2%, 4% y 6%) y macrofibras sintéticas (4, 6 y 8 kg/m<sup>3</sup>) para evaluar propiedades físicas y mecánicas como slump, temperatura, peso unitario, resistencia a compresión y flexión, siguiendo normas ASTM y NTP. Los resultados muestran que 6% de microsílíce y 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras son óptimos. Sabiendo esto se realizaron ensayos in situ, como el ensayo de diamantina, mediante la confección de tres paños: un paño patrón, otro con 6 kg de macrofibras y otro con 6% de microsílíce. Este estudio contribuye al diseño de pavimentos duraderos y eficientes para mejorar la infraestructura urbana.

**Palabras clave** – Pavimento rígido, microsílíce, macrofibras sintéticas, ensayos in situ, ensayo de laboratorio.

## I. INTRODUCCIÓN

Estar conectado mediante carreteras y vías urbanas es esencial para el crecimiento socioeconómico [1]. En el Perú, estas mismas han ido mejorando con el paso del tiempo mediante obras impulsadas por el Estado, las cuales incluyen diversas intervenciones de mejoramiento con soluciones definitivas, como la construcción de puentes, liberación de predios, conservación de vías, elaboración de estudios y proyectos realizados bajo el enfoque de Estado a Estado, entre otros [2].

No obstante, según el Inventario de carácter Básico de la Red Vial Departamental o Regional del 2015, en La Libertad solo 92.02 km de un total de 1701.01 km de carreteras están pavimentadas, lo que evidencia una infraestructura vial deficiente [3]. Esta situación subraya la necesidad de mejorar y pavimentar más vías para asegurar una conectividad adecuada. De igual manera, El pavimento flexible tiene menor costo inicial, pero requiere mantenimiento frecuente, aumentando su costo a largo plazo [4]. El pavimento rígido, aunque más costoso al inicio, distribuye mejor las cargas y necesita menos mantenimiento [5]. El pavimento flexible se emplea extensamente tanto en el país como a nivel global; sin embargo, en diversas ciudades peruanas representa un desafío recurrente debido a su tendencia a deteriorarse de forma prematura [6]. Siendo que el pavimento flexible tiene una vida útil de entre 10 a 15 años, a comparación del rígido cuya vida supera los 20 años [7]. Aun así, el pavimento rígido puede sufrir diversos deterioros, como daños en las juntas, agrietamientos, deterioros superficiales, entre otros, los cuales conforman los cuatro grupos principales de fallas de este tipo de pavimento [8]. Por

lo que, la falta de conocimiento sobre el deterioro de las vías conlleva a una dependencia de las técnicas de rehabilitación existentes para la infraestructura vial, ya que el pavimento al sufrir daños prematuros hace que sea indispensable llevar a cabo su mantenimiento y rehabilitación constante [9].

Para analizar el aporte de las fibras sintéticas para mejorar las propiedades del concreto, como una solución para mejorar la capacidad de flexión post-peak, propiedades de mitigación de grietas y ductilidad. La resistencia residual, la rigidez y la tenacidad de las sleepers MSFRC es más alta que los sleepers convencionales [10], la microfibras sintética es un material que puede ofrecer grandes beneficios económicos en la construcción, ya que su costo es más accesible en comparación con el acero, y también resulta más económico en cuanto a su transporte. Este material se compone de procesos químicos derivados del petróleo, lo que permite que los desechos sean reutilizables para su uso [11]. Un estudio reciente muestra que una reducción de aproximadamente 15% en el refuerzo de acero de pretensado para el concreto reforzado con macrofibras sintéticas (MSFRC) no compromete significativamente el rendimiento estructural. De hecho, el MSFRC optimizado funcionó adecuadamente, mostrando una reducción mínima en la capacidad final que cumple con las especificaciones permitidas y las demandas futuras [12]. Esto sugiere que el uso de macrofibras sintéticas no solo puede reducir costos de material, sino también mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las estructuras. Asimismo, el concreto de alta resistencia (HSC) con un 30% de cenizas volantes y nanosílíce (NS) mostró que la adición de 1% de NS reduce la altura de la losa en 30 mm (10,7%), mejorando el rendimiento y permitiendo losas más delgadas [13]. Igualmente, en el concreto permeable, al aumentar el humo de sílice del 0% al 15% mejoró la resistencia a la compresión [14].

Por lo descrito, se comprende que la infraestructura vial en el Perú enfrenta limitaciones en términos de pavimentación y durabilidad. Mientras el pavimento rígido destaca por su mayor durabilidad y menores costos de mantenimiento a largo plazo, el flexible se deteriora prematuramente, generando un ciclo de rehabilitaciones costosas. Las investigaciones y el desarrollo de nuevas mezclas de concreto con macrofibras sintéticas, y humo de sílice muestran un gran potencial para mejorar la eficiencia, sostenibilidad y rendimiento de las estructuras de concreto. Por ello, el objetivo de esta investigación es determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto reforzado con

microsílice y macrofibras sintéticas, evaluando su desempeño para pavimentos rígidos.

## II. METODOLOGIA

Este trabajo se centra en resolver problemas específicos y prácticos en la conformación de pavimentos rígidos. Para ello, se utiliza concreto reforzado con microsílice y macrofibras sintéticas, que es el eje principal de la investigación. Debido a la naturaleza de los problemas abordados, esta investigación es de tipo aplicada, lo que significa que busca soluciones prácticas y generar conocimientos aplicables de inmediato [15].

### A. Diseño

La investigación utiliza un diseño experimental que manipula variables independientes para analizar su impacto en las dependientes en un entorno controlado. Esto facilita las relaciones de causalidad e incluye mecanismos para controlar variables extrañas o confusas que podrían influir en los resultados. Esto se logra mediante la asignación aleatoria de sujetos a diferentes grupos experimentales y de control [16].

### B. Variable independiente

Las variables independientes de microsílice y macrofibras sintéticas se definen operacionalmente como aditivos incorporados en mezclas de concreto para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. La microsílice es un subproducto ultrafino del proceso de fabricación de ferrosilicio [17], mientras que la macrofibra sintética es una fibra polimérica diseñada específicamente para aumentar la tenacidad del concreto [18]. Las dimensiones de las variables independientes son: dosificación de microsílice y macrofibra sintética.

Para integrar la microsílice en la mezcla de concreto, se utilizarán tres proporciones específicas: 2%, 4% y 6%. Estas proporciones se han seleccionado para evaluar el impacto de la microsílice en las propiedades del concreto. En cuanto a las macrofibras sintéticas, se emplearán cantidades de 4 kg, 6 kg y 8 kg por metro cúbico de concreto. Estas cantidades permitirán examinar cómo varía el comportamiento del concreto con diferentes dosis de macrofibras.

Las proporciones utilizadas de microsílice y las cantidades de macrofibras sintéticas mencionadas se eligen con la finalidad de evaluar el cómo estos aditivos afectan las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Con el fin de optimizar la mezcla se prueban diferentes niveles de aditivos. Y así mismo, mejorar el rendimiento general del concreto, especialmente en aplicaciones relacionadas con pavimentos rígidos. En síntesis, se pretende mejorar su resistencia a las cargas y su capacidad para resistir el desgaste, así como garantizar un desempeño superior en su uso final.

La variable dependiente en este estudio es el desempeño físico y mecánico del concreto. La definición operacional del desempeño físico y mecánico del concreto hace referencia a su

capacidad de resistir fuerzas como la compresión y la flexión, además de su durabilidad frente a factores ambientales y cargas dinámicas [19].

Para evaluar el desempeño físico, los parámetros considerados son el slump, la temperatura y el peso unitario, con el indicador expresado en  $\text{kg/m}^3$ . Y en cuanto al desempeño mecánico, los indicadores son la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión, y sus indicadores son las fichas de recopilación de datos.

### C. Alcance

Se busca proporcionar un análisis detallado sobre cómo la incorporación de microsílice y macrofibras sintéticas puede mejorar el rendimiento del concreto para pavimentos rígidos. Por lo que, este estudio tiene implicaciones prácticas en el sector de la construcción, donde se espera que las mejoras presentadas contribuyan a la eficiencia de las infraestructuras viales en la región de Trujillo.

### D. Población, muestra y muestreo

Según lo indicado por [20], la población en un estudio representa al conjunto completo o el universo del que se extraen las muestras para realizar el análisis correspondiente. En el contexto de la presente investigación, se estudió una población compuesta por probetas que se emplearán para evaluar diversas propiedades y características del material bajo diferentes condiciones experimentales.

Para la muestra, según [20], esta es un subgrupo representativo de la población total. En el siguiente trabajo, se realizarán 63 ensayos de las propiedades físicas, 84 probetas de 20 x 10 cm y 42 vigas de 54 x 15 x 15 cm, para ensayos de las propiedades mecánicas, como indican las tablas a continuación.

Asimismo, se diseñarán paños de 1 x 1 metro con el concreto patrón y con las mezclas óptimas que incluyan microsílice y macrofibras. A estos se les realizará un ensayo de diamantina para determinar su resistencia en condiciones reales de aplicación a los 28 días.

Según [20] el muestreo constituye el procedimiento mediante el cual se escoge un subconjunto representativo de individuos de una población mayor, cuando no es práctico estudiar a cada miembro. En el desarrollo del proyecto se empleará un muestreo no probabilístico por conveniencia. Esta decisión se basa en la necesidad de utilizar la Norma Técnica Peruana (NTP) como fundamento para la metodología de muestreo. De acuerdo con esta norma, se deben obtener resultados mínimos en intervalos de tiempo específicos, a los 7, 14, 28 y 56 días. Para cada uno de estos tiempos, se requiere la recolección de 3 muestras que serán sometidas a pruebas de resistencia a la compresión y a la flexión.

### E. Técnica e instrumentos

Se seleccionó la técnica de observación directa, la cual nos permitió la visualización de cada ensayo en tiempo real, por lo que se garantiza la precisión y la fiabilidad de los datos

obtenidos. En cuanto a los instrumentos de recolección de la información, se usaron manuales de observación suministradas y utilizadas por el centro de investigación donde se llevaron a cabo los ensayos. Estos formatos tenían una estructura preestablecida, diseñada para documentar los datos obtenidos de los ensayos realizados.

#### F. Procedimiento

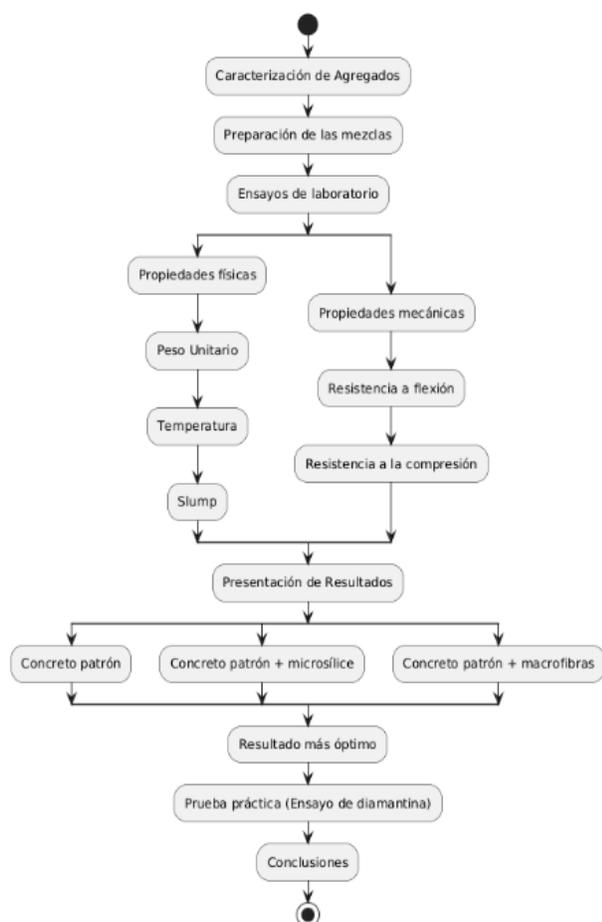


Fig. 1 Flujograma

Se caracterizaron los agregados fino y grueso, determinando el peso unitario suelto mediante el llenado en una sola capa y el compactado con tres capas compactadas con 25 varilladas cada una, enrasando y pesando los recipientes. Se determinó el contenido de humedad de los agregados secando muestras de 1 kg (fino) y 3 kg (grueso) en un horno a 105-110 °C por 24 horas. Posteriormente, se realizó un tamizado para obtener la curva granulométrica, módulo de finura y TMN. Para el peso específico y absorción, se saturaron los agregados con agua por 24 horas; el fino alcanzó el estado SSS, mientras el grueso fue secado superficialmente antes de pesarse en aire, sumergido y seco. En el diseño de mezclas (resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup>), se consideró microsílíce y macrofibra sintética, con una relación agua-cemento basada en un slump de 6"-7". Las pruebas de consistencia, temperatura y peso unitario del concreto se

realizaron tres veces por tipo de mezcla, siguiendo procedimientos normativos.

Para evaluar las propiedades mecánicas del concreto, se elaboraron 84 probetas cilíndricas de 20 x 10 cm y 42 vigas prismáticas de 54 x 15 x 15 cm, sometiénolas a ensayos de compresión y flexión. En el ensayo a compresión, las probetas se midieron, se colocaron discos de neopreno y se ensayaron en una prensa, registrando la carga máxima, tipo de rotura y resistencia según el área transversal; se realizaron pruebas a los 7, 14, 28 y 56 días. En flexión, las vigas se marcaron para aplicar la carga en los tercios centrales, se ensayaron hasta fractura, y se registraron la carga máxima y resistencia calculada. El 30 de noviembre de 2024, se confeccionaron tres paños con muestras representativas de mezclas con microsílíce, fibras sintéticas y concreto patrón, iniciando el curado al día siguiente.

#### G. Método de análisis de datos

Se utilizó Excel para organizar y presentar los datos mediante tablas resumen, facilitando su comprensión e interpretación. Para evaluar la resistencia a la compresión del concreto, se realizaron ensayos de laboratorio, y se realizarán pruebas adicionales para analizar la resistencia a la flexión y otras propiedades físicas y mecánicas, siguiendo los lineamientos y procedimientos establecidos en la normativa. Cabe recalcar, que la ejecución de estos ensayos experimentales es necesaria, ya que permitirán evaluar las aptitudes del concreto reforzado para tolerar cargas aplicadas sin sufrir fallos estructurales o deformaciones.

### III. RESULTADOS

#### A. Caracterización de agregado fino y grueso

Los agregados para los respectivos ensayos son pertenecientes a la cantera El Milagro ubicado en el distrito de Huanchaco de la provincia de Trujillo y región La Libertad; del cual extrajimos el agregado fino y grueso para realizar sus respectivos ensayos.

Se evidenció que los agregados seleccionados están dentro de los rangos normativos en los ensayos realizados. Los resultados se muestran en la Tabla I y Tabla II. Asimismo, se muestra la curva granulométrica correspondiente en la Fig. 2 y Fig. 3, la cual refleja la distribución de tamaños de partículas de los agregados, garantizando su conformidad con los requisitos técnicos establecidos para la mezcla.

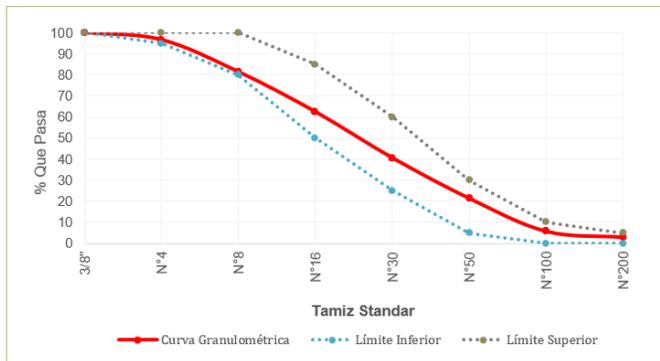


Fig. 2 Curva granulométrica de la arena.

TABLA I  
REQUERIMIENTOS NORMATIVOS DE AGREGADO FINO - ARENA

Ensayos	Resultado	Und
M.F	2.92	-
Humedad (%)	0.3	-
Absorción (%)	0.6	-
Peso específico base seca	2.54	g/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto	1641	kg/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	1814	kg/cm <sup>3</sup>

Se constata que el agregado fino de un peso unitario suelto de 1641 kg/cm<sup>3</sup>; contiene un 0.30% de humedad y una absorción del 0.60%; útiles para poder obtener la relación agua - cemento, el análisis granulométrico del agregado fino tras pasar por cada tamiz nos resultó un MF de 2.92, de esta manera cumpliendo con los estándares requeridos para realizar el diseño de mezcla. Es decir, entre 2.3 y 3.1 para cumplir con los requerimientos de agregado fino para concreto de la NTP. 400.012.

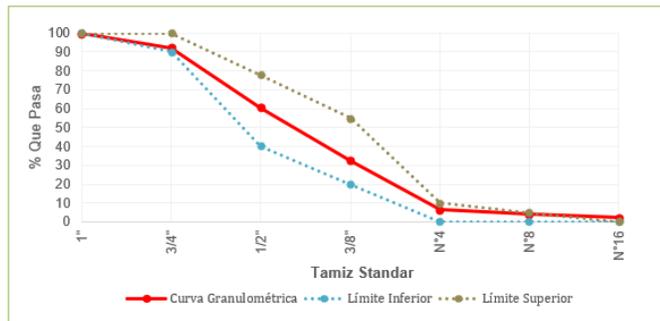


Fig. 3 Curva granulométrica de la piedra.

TABLA II  
REQUERIMIENTOS NORMATIVOS DE AGREGADO GRUESO - PIEDRA

Ensayos	Result.	Unit
T.M.N	3/4	pulg
Humedad (%)	0.8	-
Absorción (%)	1.6	-
Peso específico base seca	2.44	g/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto	1434	kg/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	1599	kg/cm <sup>3</sup>

Del análisis granulométrico tenemos como dato resultante que el TMN es 3/4" y un MF de 6.63; estando dentro de los estándares para nuestro diseño de mezcla. El TMN indica que la mayor parte del agregado tiene un tamaño igual o inferior a 3/4 de pulgada. Este análisis se llevó a cabo de acuerdo con lo estipulado en la norma NTP 400.012, que regula la medición del tamaño de partícula en agregados gruesos.

### B. Prueba de consistencia del concreto (Slump)

Para determinar la consistencia del concreto usamos la herramienta del Cono de Abrams. El procedimiento incluyó el uso de una varilla de acero lisa para compactar en tres capas el concreto dentro del cono, un cucharón para verter la mezcla, y una bandeja o superficie metálica lisa para nivelar el material antes de realizar la medición. Todo este proceso se realizó conforme a los lineamientos establecidos en la norma NTP 339.035.



Fig. 4 Slump.

TABLA III  
RESULTADOS DE PRUEBA DE CONSISTENCIA DEL CONCRETO  
F'C=280 KG/CM2.

Tipo de concreto	Código	Asentamiento (pulgadas)				
		1	2	3	Promedio	%
Concreto Patrón	CP	7.50	7.50	7.50	7.50	100%
CP+2% Microsilíce	CM1	7.50	7.50	7.25	7.42	99%
CP+4% Microsilíce	CM2	7.00	7.25	7.25	7.17	96%
CP+6% Microsilíce	CM3	6.25	6.75	7.00	6.67	89%
CP+4KG Macrofibra	CM4	5.50	6.00	6.00	5.83	78%
CP+6KG Macrofibra	CM5	4.00	3.50	5.00	4.17	56%
CP+8KG Macrofibra	CM6	3.50	4.00	3.00	3.50	47%

Se constata una tendencia decreciente en el asentamiento del concreto conforme aumenta la proporción de microsilíce y macrofibras sintéticas en la mezcla. En contraste con el concreto patrón, el concreto con microsilíce de mayor cantidad reduce hasta el 89% y con el concreto con macrofibras hasta 47%, lo que indica un mayor impacto negativo en la trabajabilidad. Para este ensayo se diseñó para un asentamiento de 6" a 7".

### C. Prueba de Temperatura del concreto ( $T^\circ$ )

Para obtener la temperatura del concreto usamos un dispositivo para medición de temperatura (termómetro) calibrado en grados Celsius ( $^\circ\text{C}$ ) y un recipiente para la muestra; siguiendo los criterios de la norma NTP 339.184.



Fig. 5 Temperatura.

TABLA IV  
RESULTADOS PRUEBA DE TEMPERATURA CONCRETO  
 $f'c=280 \text{ KG/CM}^2$

Tipo de Concreto	Temp. ( $^\circ\text{C}$ )	%
Concreto Patrón	21.50	100%
CM1 (CP+2% MS)	22.00	102%
CM2 (CP+4% MS)	22.50	105%
CM3 (CP+6% MS)	23.00	107%
CM4 (CP+4KG MFS)	23.00	107%
CM5 (CP+6KG MFS)	22.00	102%
CM6 (CP+8KG MFS)	22.00	102%

Se evidencia que la temperatura del concreto patrón es la más baja. En cuanto a los concretos modificados con microsilíce y macrofibras sintéticas, tuvieron una ligera variación de hasta 7% mayor a la temperatura del concreto patrón. Además, se discierne que existe una relación entre la dosificación progresiva de microsilíce y el aumento térmico, sugiriendo una propensión inherente del material a elevar la temperatura. En contraste, en las mezclas con macrofibras sintéticas, las adiciones iniciales generan un aumento térmico, pero este tiende a estabilizarse o disminuir conforme se incrementa la cantidad de fibras. Asimismo, se puede apreciar que todas las temperaturas de las muestras están dentro de los estándares normales que es alrededor  $24^\circ\text{C}$  (NTP 339.184) y no mayor a  $30^\circ\text{C}$  (RNE E0.60)

### D. Prueba de Peso Unitario del Concreto ( $\text{Kg/m}^3$ )

Para conocer el peso unitario compactado del concreto usamos una balanza, un recipiente de volumen conocido (recipiente cilíndrico de metal). El procedimiento incluyó el uso de un cucharón para verter el material, una placa de alisado para nivelar la superficie y un mazo de goma para asegurar la compactación correcta. En todo este proceso se siguieron los parámetros de la norma NTP 339.046.

TABLA V  
RESULTADOS PRUEBA DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO  
 $f'c=280 \text{ KG/CM}^2$ .

Tipo de concreto	Código	Peso Unitario Compactado ( $\text{kg/m}^3$ )				
		1	2	3	Promedio	%
Concreto Patrón	CP	2369	2382	2371	2374.0	100.00%
CP+2% Microsilíce	CM1	2376	2400	2385	2387.0	100.55%
CP+4% Microsilíce	CM2	2378	2404	2387	2389.7	100.66%
CP+6% Microsilíce	CM3	2404	2400	2413	2405.7	101.33%
CP+4KG Macrofibra	CM4	2374	2382	2382	2379.3	100.22%
CP+6KG Macrofibra	CM5	2376	2385	2391	2384.0	100.42%
CP+8KG Macrofibra	CM6	2380	2391	2387	2386.0	100.51%

El peso unitario compactado del concreto patrón ( $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ) es el más bajo con  $2374.0 \text{ kg/m}^3$ . En cuanto a los concretos modificados con microsilíce (CM1, CM2 y CM3) obtuvimos pesos entre 0.55% a 1.33% más altos que el concreto patrón. Por último, los concretos modificados con macrofibras sintéticas (CM4, CM5 y CM6) alcanzaron pesos entre 0.22% a 0.51% lo cual también son pesos más altos que la de concreto patrón. Todos los pesos unitarios de las muestras están en un rango entre  $1842 \text{ kg/m}^3$  y  $2483 \text{ kg/m}^3$ , lo que se encuentra dentro de lo normado por la NTP 339.184.

### E. Ensayo a la compresión

En el ensayo de compresión para el concreto con una resistencia de diseño de  $280 \text{ kg/cm}^2$ , se emplearon 84 probetas cilíndricas de dimensiones  $10 \times 20 \text{ cm}$ . Las evaluaciones se realizaron a edades de 7, 14, 28 y 56 días. Para la correcta ejecución del ensayo primero debemos verificar el diámetro de las probetas de manera vertical y horizontal con un vernier. Luego al ingresarlo para el ensayo se coloca un disco de neopreno; en cumplimiento de la norma técnica NTP 339.034.



Fig. 6 Ensayo de compresión

TABLA VI  
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS  
DEL CONCRETO F'C=280 KG/CM2

Tipo de concreto	Código	Resistencia a la Compresión a los 7 días(kg/cm2)				
		1	2	3	Promedio	%
Concreto Patrón	CP	226	239	241	235	100%
CP+2% Microsilíce	CM1	236	252	244	244	104%
CP+4% Microsilíce	CM2	247	257	246	250	106%
CP+6% Microsilíce	CM3	268	275	272	272	116%
CP+4KG Macrofibra	CM4	251	260	246	252	107%
CP+6KG Macrofibra	CM5	271	269	277	272	116%
CP+8KG Macrofibra	CM6	244	253	248	248	106%

TABLA VII  
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS  
DEL CONCRETO F'C=280 KG/CM2

Tipo de concreto	Código	Resistencia a la Compresión a los 14 días(kg/cm2)				
		1	2	3	Promedio	%
Concreto Patrón	CP	283	284	284	284	100%
CP+2% Microsilíce	CM1	294	287	285	289	102%
CP+4% Microsilíce	CM2	294	297	296	296	104%
CP+6% Microsilíce	CM3	300	298	301	300	106%
CP+4KG Macrofibra	CM4	297	295	300	297	105%
CP+6KG Macrofibra	CM5	304	299	301	301	106%
CP+8KG Macrofibra	CM6	289	293	290	291	102%

TABLA VIII  
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS  
DEL CONCRETO F'C=280 KG/CM2

Tipo de concreto	Código	Resistencia a la Compresión a los 28 días(kg/cm2)				
		1	2	3	Promedio	%
Concreto Patrón	CP	296	299	301	299	100%
CP+2% Microsilíce	CM1	306	303	304	304	102%
CP+4% Microsilíce	CM2	314	308	311	311	104%
CP+6% Microsilíce	CM3	312	315	319	315	106%
CP+4KG Macrofibra	CM4	316	310	313	313	105%
CP+6KG Macrofibra	CM5	313	320	319	317	106%
CP+8KG Macrofibra	CM6	302	309	307	306	102%

TABLA IX  
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 56 DÍAS  
DEL CONCRETO F'C=280 KG/CM2

Tipo de concreto	Código	Resistencia a la Compresión a los 56 días(kg/cm2)				
		1	2	3	Promedio	%
Concreto Patrón	CP	320,80	308,96	313,47	314	100%
CP+2% Microsilíce	CM1	327,49	313,15	306,60	316	100%
CP+4% Microsilíce	CM2	339,11	352,67	330,54	341	108%
CP+6% Microsilíce	CM3	363,71	344,60	363,88	357	114%

CP+4KG Macrofibra	CM4	339,31	341,36	354,29	345	110%
CP+6KG Macrofibra	CM5	339,30	355,21	351,67	349	111%
CP+8KG Macrofibra	CM6	332,45	342,03	337,29	337	107%

La adición de microsilíce y macrofibras; nos brindó un aumento de resistencia de hasta un 16% más frente al concreto patrón, al adicionar 6% de microsilíce o 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra sintética incrementa la resistencia a compresión a los 7 días, alcanzando 272 kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, a los 14 días la resistencia aumenta en comparación al concreto patrón, especialmente se destaca el CM3 con 6% de microsilíce aumentando su resistencia un 6% más que el concreto patrón; en cuanto a los concretos modificados con macrofibras, destaca el CM5 con 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra. Por otro lado, a los 28 días la resistencia de los concretos modificados CM2, CM3, CM4 y CM5; se mantienen una resistencia entre un 2% a 6% superior a la del concreto patrón, donde la resistencia más alta la posee el CM5 con 317 kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, a los 56 días el concreto modificado CM3 muestra un comportamiento diferente, alcanzando una mejora del 14%; el CM6 con 8 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras mejora solo 7% en resistencia, en comparación al CM5 con 6 kg/m<sup>3</sup> que aumenta un 11%. Esta disminución en la mejoría sugiere una sobredosificación desfavorable.

#### F. Ensayo a la flexión



Fig. 7 Ensayo de flexión

TABLA X  
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS DEL  
CONCRETO F'C=280 KG/CM2

Tipo de concreto	Código	Resistencia a la Flexión a los 28 días(kg/cm2)				
		1	2	3	Promedio	%
Concreto Patrón	CP	29,6	36,7	34,5	33,6	100%
CP+2% Microsilíce	CM1	29,7	36,5	33,2	33,1	99%
CP+4% Microsilíce	CM2	36,0	37,8	36,9	36,9	110%
CP+6% Microsilíce	CM3	42,5	35,0	39,2	38,9	116%
CP+4KG Macrofibra	CM4	31,7	38,7	34,9	35,1	104%
CP+6KG Macrofibra	CM5	39,8	42,2	41,1	41,0	122%
CP+8KG Macrofibra	CM6	29,4	35,0	32,2	32,2	96%

TABLA XI  
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 56 DÍAS DEL  
CONCRETO F'C=280 KG/CM2

Tipo de concreto	Código	Resistencia a la Flexión a los 56 días(kg/cm2)				
		1	2	3	Promedio	%
Concreto Patrón	CP	40.43	35.18	37.91	37.8	100%
CP+2% Microsilíce	CM1	33.55	35.75	36.27	35.2	93%
CP+4% Microsilíce	CM2	41.20	37.88	39.59	39.6	105%
CP+6% Microsilíce	CM3	42.63	45.15	43.91	43.9	116%
CP+4KG Macrofibra	CM4	38.33	38.85	38.19	38.5	102%
CP+6KG Macrofibra	CM5	41.79	47.67	44.63	44.7	118%
CP+8KG Macrofibra	CM6	33.79	35.86	34.84	34.8	92%

A los 28 días la adición de microsilíce y macrofibras nos brindó un aumento de resistencia de hasta un 22% frente al concreto patrón al adicionar un máximo de 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra sintética, así como un incremento similar del 16% con la adición de 6% de microsilíce. Sin embargo, se observó que al incorporar solo un 2% de microsilíce la resistencia fue inferior a la del concreto sin ningún tipo de adición, al igual que al añadir 8 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra sintética. A los 56 días, los mejores resultados de resistencia a la flexión se observaron en el concreto con 6% de microsilíce (CM3), alcanzando una resistencia promedio de 43.9 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 116.14% respecto al concreto patrón. Asimismo, el concreto con 6 kg de macrofibra (CM5) mostró una resistencia promedio de 44.7 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente a un 118.25% del patrón, destacándose como la mezcla más efectiva.

#### G. Ensayo de diamantina

Se confeccionaron tres paños utilizando las muestras más representativas. Primero, se habilitó la preparación del terreno y se construyó el encofrado necesario para acomodar los tres paños. Estos consistían en un paño de concreto patrón, uno con la adición de 6 kg de macrofibras y otro con 6% de microsilíce. Cada componente adicional fue cuidadosamente pesado en una balanza antes de ser añadido a las respectivas mezclas en el trompo.

Una vez listas, se procedió al vaciado de las mezclas en el encofrado, buscando garantizar una distribución uniforme. Al día siguiente, domingo 1 de diciembre de 2024, se inició el proceso de curado de los tres paños

TABLA XII  
RESULTADOS DEL ENNSAYO DE DIAMANTINA

Tipo de concreto	Código	Resistencia a la Compresión a los 28 días(kg/cm2)				
		1	2	3	Promedio	%
Concreto Patrón	CP	291	289	287	289	100%
CP+6% Microsilíce	CM3	304	307	306	306	106%
CP+6KG Macrofibra	CM5	310	302	314	309	107%

El concreto patrón tiene un promedio de 289 kg/cm<sup>2</sup>, considerado como el 100%. La adición de un 6% de microsilíce incrementa el desempeño en un 6% (306 kg/cm<sup>2</sup>), debido a la reacción puzolánica. Por su parte, las macrofibras sintéticas (6 kg/m<sup>3</sup>) aumentan el rendimiento en un 7% (309 kg/cm<sup>2</sup>).

#### IV. DISCUSIÓN

El asentamiento del concreto experimenta una reducción a medida que se incrementa la cantidad de microsilíce y macrofibras sintéticas. El concreto con mayor cantidad de microsilíce mostró una reducción de hasta un 89% en asentamiento, mientras que el de macrofibras lo hizo en un 47%, en comparación con el concreto sin adiciones. En contraste, estudios previos reportan una disminución del 70% en trabajabilidad con 8% de microsilíce [21] y una reducción del 32% al usar 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras sintéticas, resultando en un slump de 75 mm [22]. Esto indica que la inclusión de macrofibras sintéticas en las mezclas tiene un impacto negativo más pronunciado en la trabajabilidad en comparación con la microsilíce.

Los resultados de la prueba de temperatura en el concreto indican que las mezclas con microsilíce y macrofibras presentaron temperaturas de 2% a 7% más altas que el concreto patrón, cuya temperatura fue la más baja (21.5°C). En el estudio de [23], se observó que el concreto patrón presentó una temperatura de 20.5°C, y con la integración del microsilíce las temperaturas se mantuvieron estables: 20.0°C con 5%, 21.0°C con 10%, y 20.0°C con 15%. En comparación, [26] encontraron un ascenso térmico, de hasta 26.7°C (un aumento de 4.71%) con 60 gr/m<sup>3</sup> de fibras de polipropileno, frente a los 25.5°C de la mezcla sin fibra. Estos resultados sugieren que, en general, la adición de microsilíce y macrofibras sintéticas en las mezclas de concreto no genera un aumento considerable de la temperatura.

Se obtuvo que la adición de 6% de microsilíce y 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra sintética incrementa la resistencia a compresión a los 28 días en un 6%, alcanzando hasta 317 kg/cm<sup>2</sup>. Comparando estos resultados con los de [24], que con adiciones del 5% y 10% de microsilíce; logró aumentar su resistencia en 0.57 % y 0.69 respectivamente. Por otro lado, [25], a los 28 días el concreto con 0.50% de fibras logró una resistencia máxima de 229.54 kg/cm<sup>2</sup>, superando tanto al concreto con 0.33% (217.67 kg/cm<sup>2</sup>) como al patrón (214.14 kg/cm<sup>2</sup>). Asimismo, en el estudio de [26], se evaluaron dosis de fibras de polipropileno en concreto, obteniendo incrementos del 4.89%, 8.46% y 29.54% con dosis de 20, 40 y 60 gr/m<sup>3</sup>, alcanzando como umbral máximo una resistencia de 254.20 kg/cm<sup>2</sup>. Este comportamiento sugiere que una dosificación óptima puede maximizar el beneficio en términos de resistencia, destacándose la efectividad de las macrofibras sintética. A los 56 días se alcanzó una mejora del 14% de resistencia la adición del 6% (357 kg/cm<sup>2</sup>) de microsilíce y un aumento del 11% (349 kg/cm<sup>2</sup>) para el concreto con 6 kg/m<sup>3</sup>. Comparado con el estudio de [24], que con 5% y 10% de microsilíce solo obtuvo un aumento del 0.61% y 1.32%, respectivamente.

El añadido de microsilíce propició un incremento a los 28 días en la resistencia a la flexión del concreto en un 16% (38.9 kg/cm<sup>2</sup>) con una concentración del 6%, siendo óptimas las concentraciones superiores al 2%; a los 56 días se sigue manteniendo el aumento de resistencia a flexión con 16% (43.9 kg/cm<sup>2</sup>). De manera similar, [27] identificaron que una dosificación del 5% de microsilíce es óptima para mejorar la resistencia a la flexión del concreto. Paralelamente, la adición de macrofibras sintéticas resultó en un incremento del 22% (41.0 kg/cm<sup>2</sup>) en la resistencia a la flexión a la edad de 28 días con una dosificación de 6 kg/m<sup>3</sup>; a los 56 días el concreto con 6 kg/m<sup>3</sup>, es el óptimo alcanzando un aumento del 18% (44.7 kg/cm<sup>2</sup>). Este comportamiento es congruente con los resultados de [22], quienes reportaron que una dosificación de 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras es óptima para mejorar la capacidad de deformación bajo flexión en un 34%, destacando el efecto sinérgico entre la matriz cementicia y las fibras sintéticas.

La resistencia a la compresión evaluada según la NTP 339.034, utilizando extracción de testigos cilíndricos mediante técnicas diamantina se obtuvo que el concreto patrón con incrementó su resistencia un 5% (300 kg/cm<sup>2</sup>) al incorporar 6% de microsilíce, gracias a su reacción puzolánica, y un 8% (308 kg/cm<sup>2</sup>) al añadir 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras sintéticas. De manera similar, Torpoco (2023) reporta una resistencia máxima de 236.60 kg/cm<sup>2</sup> (111.55% del patrón) al utilizar el mismo procedimiento y añadir 5.00 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras sintéticas.

## V. CONCLUSIONES

La caracterización de agregados cumplió con los límites normativos, donde el agregado fino tiene un módulo de finura de 2.92 y el agregado grueso un tamaño máximo nominal de 3/4". Para el diseño de mezclas de un concreto  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, se diseñó con una relación agua-cemento de 0.467 para obtener un asentamiento requerido de 6" a 7".

Las pruebas físicas mostraron disminución en consistencia (47%), aumento en temperatura (7%) y peso unitario (1.33%), dentro de parámetros normativos.

Las pruebas físicas mostraron disminución en consistencia (47%), aumento en temperatura (7%) y peso unitario (1.33%), dentro de parámetros normativos. A los 28 días, el concreto con 6% de microsilíce y 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras incrementó su resistencia a la compresión en 6% (315 y 317 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente). A los 56 días, el concreto con 6% de microsilíce aumentó su resistencia en 14% (357 kg/cm<sup>2</sup>), mientras que el concreto con 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras mostró un incremento del 11% (349 kg/cm<sup>2</sup>).

Se concluye mediante el ensayo a flexión a los 28 días, una mejora en su resistencia a la flexión del 16% (38,9 kg/cm<sup>2</sup>) al adicionar 6% de microsilíce. De la misma forma el concreto con 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras mejoró su resistencia en 22% (41,0 kg/cm<sup>2</sup>).

A los 56 días el concreto con 6% de microsilíce aumentó su resistencia a la flexión en un 16% (43,9 kg/cm<sup>2</sup>). Así mismo, al adicionar 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras, se observa una mejora de su resistencia en 18% (44,7 kg/cm<sup>2</sup>).

Estos resultados indican que las proporciones óptimas para maximizar la resistencia a compresión como a flexión, son 6% de microsilíce y 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra.

Según los ensayos de diamantina, el concreto con 6% de microsilíce incrementó la resistencia en un 5%, mientras que el concreto con 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras sintéticas lo hizo en un 8%, en comparación con el patrón concreto. Todos los tipos de concreto evaluados cumplen con los criterios de aceptación establecidos por la norma ACI 318, superando el 85% de la resistencia de diseño y garantizando su idoneidad estructural para pavimentos rígidos.

## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda cumplir estrictamente las Normas Técnicas Peruanas (NTP) para garantizar precisión y reproducibilidad en los ensayos, promoviendo calidad en los procesos. Además, se sugiere usar 6% de microsilíce y 6 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras sintéticas; dado que se evidenció que esta potencia las propiedades mecánicas del concreto, particularmente en cuanto a su comportamiento frente a esfuerzos de compresión y flexión. Esto incrementa la durabilidad del pavimento rígido y su facultad para ser capaz de resistir condiciones ambientales desfavorables.

Se recomienda asentamientos altos y/o una cantidad adecuada de superplastificante cuando se adiciona componentes o aditivos al concreto y no se reemplaza por algún agregado o el mismo cemento, para poder garantizar una mejor trabajabilidad y a su vez obtener mejores resultados.

Además, realizar un análisis costo-beneficio que compare el costo inicial de aditivos con el ahorro en mantenimiento de pavimentos rígidos, junto con una evaluación ambiental de microsilíce y macrofibras.

## REFERENCIAS

- [1] GALLEGO, Gutiérrez, ALISEDA, Mora., DOMÍNGUEZ, Gómez, y CABANILLAS, Jaraiz. *Accesibilidad de la población a las aglomeraciones urbanas de la Península Ibérica. Finisterra*, 2010, vol. 45, no 89. Disponible en <https://doi.org/10.18055/Finis1354>
- [2] PVN. Provias Nacional viene ejecutando proyectos en 1440 kilómetros de carreteras nacionales en el 2022. (s. f.). Noticias - Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional - Plataforma del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/pvn/noticias/684070-provias-nacional-viene-ejecutando-proyectos-en-1440-kilometros-de-carreteras-nacionales-en-el-2022>
- [3] MTC. Inventario de carácter Básico de la Red Vial Departamental o Regional del 2015. Disponible en <https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/documentos/Resumen%20Ejecutivo%20Inventario%20Basico%20Red%20Vial%20Departamental.pdf>
- [4] VILCHEZ, Consuelo. Análisis comparativo de costos entre pavimento rígido y flexible de las vías alternas carretera marginal tramo ovalo Rondero-Bajo Portillo, Satipo. 2020. Tesis (Título Profesional de Ingeniería civil). Satipo: Universidad Peruana Los Andes, 2020. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12848/2150>
- [5] MIRANDA, Ricardo. Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. *Valdivia: Universidad Austral de Chile*, 2010. Tesis (Título Profesional)

- de Ingeniería civil). Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2010. Disponible en <http://cybertesis.uach.cl/Tesis/Uach/2010/Bmfcim672d/Doc/Bmfcim672d.Pdf>
- [6] CAMPOS, Alex y IRIGOÍN, Isaías. Deterioro prematuro de los pavimentos flexibles de la zona urbana de la ciudad de Chota: Premature deterioration of flexible pavements in the urban area of the city of Chota. *Revista Ciencia Nor@ndina*, 2019, vol. 2, no 2, p. 96-105. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2020v2n2p96>
- [7] EADIC. Pavimento Rígido vs Pavimento Flexible en Latinoamérica. Disponible en <https://eadic.com/blog/entrada/pavimento-rigido-vs-pavimento-flexible-en-latinoamerica/#:~:text=El%20pavimento%20r%C3%ADgido%20toma%20pr,otagonismo,m%C3%A1s%20econ%C3%B3mico%20a%20largo%20plazo>.
- [8] GODOY, Avaro y RAMIREZ, Raúl. Patología de pavimentos rígidos de la ciudad de Asunción. *Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Asunción-Campus Universitario San Lorenzo. FIUNA*, 2006. Disponible en <https://ing.una.py/pdf/1er-congreso-nacional-ingcivil/01pa-vi01.pdf>
- [9] CRISTÓBAL, Gisela. Propiedades mecánicas del concreto con fibras sintéticas para reparar pavimento flexible mediante la técnica whitetopping, en avenida central San Juan de Lurigancho, Lima. 2022. Tesis (Título Profesional de Ingeniería civil). Huancayo: Universidad Peruana Los Andes, 2022. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12848/5019>
- [10] KAHAGALA, Dayani. Effect of post-peak flexural toughness on the residual performance of macro synthetic fibre reinforced concrete sleepers subjected to impact loading. *Engineering Structures*, 2024, vol. 307, p. 117913. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.117913>
- [11] ASTO, Joseph y QUIROZ, Renzo. Desempeño de la microfibras sintéticas para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Tesis (Título Profesional de Ingeniería civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4706>
- [12] CAMILLE, Christophe, et al. Numerical investigation of prestressed concrete sleepers reinforced with high-performance macro synthetic fibres. *Engineering Failure Analysis*, 2024, vol. 159, p. 108149. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108149>
- [13] TRAN, Huu-Bang y PHAN, Vu To-Anh. Potential usage of fly ash and nano silica in high-strength concrete: Laboratory experiment and application in rigid pavement. *Case Studies in Construction Materials*, 2024, vol. 20, p. e02856. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02856>
- [14] KHAN, Musa, et al. High strength rubberized porous concrete for sustainable pavements: Engineering properties and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 2024, vol. 451, p. 142012. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142012>
- [15] HERNÁNDEZ, Roberto.; FERNÁNDEZ, Carlos.; BAPTISTA, María. Metodología de la investigación México DF: McGraw Hill; 2014. *Disponible en* <https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n.pdf>
- [16] CAMPBELL, Donald y STANLEY, Julian. Experimental and quasi-experimental designs for research [en línea]. Ravenio books, 1963. Disponible en <https://www.sfu.ca/~palys/Campbell&Stanley-1959-Exptl&QuasiExptlDesignsForResearch.pdf>
- [17] TOXEMENT. Microsilice. *Toxement.com* [en línea]. 2016. Disponible en <https://www.toxement.com.co/productos/portafolio-productos/aditivos-para-concreto/aditivos-especiales/?prodId=1257>
- [18] FCM. Macro fibra sintética para concreto [en línea]. 2019. Disponible en: <https://fcm.pe>
- [19] BURGOS, Diana, GUZMÁN, Álvaro y TORRES, Nancy. Desempeño mecánico y durable de concretos que incorporan agregado reciclado fino comercial. *Revista EIA*, 2019, vol. 16, no 32, p. 167-179. <https://doi.org/10.24050/reia.v16i32.1210>
- [20] LÓPEZ-ROLDÁN, Pedro y FACHELLI, Sandra. Metodología de la investigación social cuantitativa. [En línea] Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, 2015. Disponible en [https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2015/142929/metinvsoccua\\_cap3-12a2015.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2015/142929/metinvsoccua_cap3-12a2015.pdf)
- [21] TREZZA, Mónica y RAHHAL, Viviana. Comportamiento del residuo de vidrio molido en cementos mezcla: Estudio comparativo con microsilice. *Matéria (Rio de Janeiro)* [en línea]. 2018, 23(1). ISSN 1517-7076. Disponible en doi:10.1590/s1517-707620170001.0311
- [22] EISA, M. S.; BASIOUNY, M. E. y YOUSSEF, A. M. Effect of macro-synthetic fibers on the drying shrinkage performance of rigid pavement. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2021, vol. 6, no 4, p. 212. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00577-y>
- [23] GARCIA, Ines y GUTIERREZ, Leonard. Adición de microsilice en la resistencia del concreto en Trujillo, 2022. Tesis (Título Profesional de Ingeniería civil). Trujillo: Universidad César Vallejo, 2022. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/106985>
- [24] ALVANSÁZ, M. F., BOMBON, C., & ROSERO, B. (2022). Estudio de la Incorporación de Nano Sílice en Concreto de Alto Desempeño (HPC). *INGENIO*, 5(1), 12–21. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v5i1.3786>
- [25] HONORES, Luis. Influencia de las fibras sintéticas en la resistencia a la compresión del concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>, para la construcción de edificaciones en la localidad de Trujillo, La Libertad – 2023. Tesis (Título Profesional de Ingeniería civil). Trujillo: Universidad Privada del Norte, 2023. Disponible en <https://hdl.handle.net/11537/36065>
- [26] CORDOVA, Karen y CRUZ, Lesly. Uso de fibra de polipropileno como material de refuerzo y su influencia en el pavimento rígido del AA.HH. San Sebastián del distrito 26 de Octubre – Piura. 2020. Tesis (Título Profesional de Ingeniería civil) Piura: Universidad César Vallejo ,2020. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/66715>
- [27] ABBASI, A y MOGHADAM, Mehdi. Investigation into the use of microsilice gel for increasing the mechanical properties of concrete. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2021. [https://www.researchgate.net/publication/264856689\\_Investigation\\_into\\_the\\_Use\\_of\\_Microsilice\\_Gel\\_for\\_Increasing\\_the\\_Mechanical\\_Properties\\_of\\_concrete](https://www.researchgate.net/publication/264856689_Investigation_into_the_Use_of_Microsilice_Gel_for_Increasing_the_Mechanical_Properties_of_concrete)