



USE OF CARBON FIBERS AS CONCRETE REINFORCEMENT IN URBAN BUILDING PROJECTS

Mayra Mayeli Huaripata Flores, Bach.¹  Jessica Anali Nuñez Mejia, Bach.²  Lilian Rocio Villanueva Bazan, Maestra³. Yoner Jaime Romero Cueva, Doctor⁴

1Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00207956@upn.pe

2Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00208286@upn.pe

3Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, lilian.villanueva@upn.edu.pe

4Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, yoner.romero@upn.edu.pe

Abstract. The general objective of the research is to determine the influence of carbon fibers on the compressive strength of concrete in urban building projects, Cajamarca; It is carried out because there is a need to improve the strength of concrete to generate safe structures with good compression resistance against increased overloads and the presence of seismic events. Meanwhile, the work presented an experimental design, laboratory tests were carried out on the aggregates and cylindrical specimens were made with conventional concrete and with the addition of 3%, 6% and 9% of carbon fibers for compression resistance tests. at 7, 14 and 28 days of curing. With the purpose of specifying an alternative for later and satisfactory dates of structural projects in urban buildings.

Keywords: Compressive strength, concrete specimens, carbon fibers, reinforcement, construction of urban buildings

USO DE FIBRAS DE CARBONO COMO REFUERZO DEL CONCRETO EN PROYECTOS DE EDIFICACIONES URBANAS

Resumen- La investigación tiene como objetivo general determinar la influencia de las fibras de carbono en la resistencia a compresión del concreto en proyectos de edificaciones urbanas, Cajamarca; se realiza debido a que existe la necesidad de mejorar la resistencia en el concreto para generar estructuras seguras y con una buena resistencia a la compresión frente al aumento de sobrecargas y ante la presencia de eventos sísmicos. En tanto, el trabajo presentó un diseño experimental, se realizó ensayos de laboratorio a los agregados y se elaboró probetas cilíndricas con concreto convencional y con la adición de 3%, 6% y 9% de fibras de carbono para ensayos de resistencia a compresión, a los 7, 14 y 28 días de curado. Con el propósito de concretar una alternativa para fechas posteriores y satisfactorias de proyectos estructurales en edificaciones urbanas.

Palabras claves: Resistencia a la compresión, probetas de concreto, fibras de carbono, reforzamiento, construcción de edificaciones urbanas.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el concreto es uno de los materiales más empleados en la construcción de edificaciones, debido a que presenta excelentes propiedades ya sea en su estado fresco o endurecido, lo cual le permite soportar altos valores de esfuerzo a compresión. Pero debido a defectos constructivos, cambios en el uso de la estructura, incremento de sobrecargas y por cargas no previstas, la edificación carece de resistencia y es vulnerable a sufrir fisuramientos y agrietamientos en los elementos estructurales. Además, debido al nivel socioeconómico de las personas, para la construcción de sus edificaciones utilizan materiales de mala calidad y debido a la falta de un profesional responsable para la supervisión de las etapas de construcción se generan defectos constructivos, los cuales afectan la resistencia de la edificación y reducen a su vez su periodo de vida útil. Ref. [1]. Todos estos factores, conllevan a que la estructura sea vulnerable, a sufrir fallas estructurales ante eventos sísmicos de moderada a severa intensidad ocasionando daños materiales y accidentes en los ocupantes de la edificación, ya que cerca de un 70% de la población mundial está localizada en zonas altamente sísmicas donde el riesgo oscila entre moderado y alto. Ref. [2].

En la referencia [3], en México, en 1985 se tuvieron sismos medidos en la escala de Richter, esta permitió medir las magnitudes de evento sísmico el cual tuvo como resultados 7.3° a 8.1°; este evento sísmico dejó como saldo 4 mil personas fallecidas, además en las infraestructuras civiles más de 30 mil estructuras presentaron daños totales estructurales y daños parciales, en las estructuras se tuvieron 60 mil edificaciones, a lo que estudios postsísmicos demostraron que la vulnerabilidad sísmica que existía en estas edificaciones

eran muy elevadas ya que presentaban estructuras muy deterioradas, es por ello que las pérdidas humanas y de las estructuras de las edificaciones fueron muy altas; así mismo se debió a que la población carecía de recursos recurriendo a la construcción informal, generando así una zona de alta vulnerabilidad sísmica.

Así también, en Perú, el 2007 ocurrió un sismo con una duración de 210 segundos aproximadamente, tuvo como epicentro en el mar a una distancia de 60 km del departamento de Ica, provincia de Pisco, tuvo una profundidad hipocentral de aproximadamente 40 km; se registró en la escala de Richter magnitudes de 7.0° y 7.9°. Este evento sísmico causo el deceso de 593 personas, 1291 heridos, además provoco la destrucción total de 48208 viviendas, además se tuvo viviendas habitables e inhabitables productos de eventual sismo 45500 y 45813 respectivamente, resultaron afectadas evidenciando agrietamientos en columnas y vigas. Ref. [4].

Para el sustento de esta investigación, es importante citar a los siguientes antecedentes que se considera de suma importancia, como Ref. [5], tuvo como objetivo general determinar la piezoresistividad del concreto conductor en función del tipo y el contenido de fibra de carbono reciclado. El trabajo de investigación tuvo una metodología de tipo experimental, se realizaron ensayos a flexión a probetas, con porcentajes de fibra de carbono de 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, 1.4%. Como resultados de módulo de rotura se tuvo valores de 22.56, 24.65, 25.87, 25.98, 26.24, 27.31, 27.68 y 28.06 Kg/cm² respectivamente. Por lo cual, se concluyó que la incorporación de fibras de carbono reciclado como un adición en el concreto brinda mejoras en las propiedades del concreto incrementando la resistencia a la compresión en un 26% y la resistencia a la flexión en un 42%.

En la referencia [6], tuvo como objetivo analizar la adición las platinas de fibra de carbono como refuerzo en un concreto de $f'c=210$ kg/cm². Con una metodología experimental, para la evaluación de la de resistencia del concreto se realizó para los días 7, 14 y 28 con muestras de probetas cilíndricas de concreto patrón y probetas reforzadas de fibra de carbono. Como resultados se obtuvo que las probetas patrón conto con una resistencia promedio de 133.50 kg/cm², 190.18 kg/cm² y 222.10 kg/cm² para las edades anteriormente mencionadas, mientras que las probetas reforzadas con fibra de carbono con una dosificación de 3% arrojaron resultados de resistencias de 152.80 kg/cm², 222.50 kg/cm² y 290.84 kg/cm² respectivamente (7, 14 y 28 días). En tanto, se concluyó que las probetas reforzadas con platinas de

fibra de carbono presentan una mayor resistencia que las probetas de concreto patrón ya que soportaron mayores valores de esfuerzo a la compresión.

Así mismo se logró determinar aquellas bases teóricas de gran relevancia relacionadas al tema de investigación, como se detalla a continuación.

Concreto: El concreto se caracteriza por tener una alta resistencia a la compresión siendo muy utilizado en las industrias de la construcción, es una mezcla de cemento, grava, arena, aditivos y agua. Maleable en su forma líquida y de gran resistencia a la compresión en su estado sólido. Ref. [7].

Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión es una propiedad del concreto que permite soportar grandes cargas, la cual se consigue a los 28 días; se considera normal la resistencia a la compresión del concreto entre 210-280 kg/cm² y de moderada resistencia entre 350 a 420 kg/cm², la resistencia del concreto está en función de la relación agua cemento, es decir a mayor relación agua-cemento menor resistencia y viceversa, a menor relación agua-cemento mayor resistencia del concreto; pero la resistencia también depende de la cantidad de cemento: cuanto más cemento, mayor será la resistencia a compresión. Ref. [8].

Fibras de carbono: Es un polímero derivado del poliacrilonitrilo, en el proceso de su fabricación presenta filamentos muy finos de carbono, estas son agrupadas mediante la torsión de todos los filamentos para conformar un hilo grueso, para posteriormente ser bañadas con resinas o plástico para tener un mejor agrupamiento de los filamentos de carbono, además se caracteriza por tener una forma de tejido y a la vez presentar una elevada resistencia, además posee un gran durabilidad y flexibilidad. Ref. [9].

El presente trabajo de investigación se realizó debido a que existe la necesidad de mejorar la resistencia de los elementos estructurales, debido a que muchas veces por falta de economía no se utilizan materiales de una calidad adecuada, frecuentemente los elementos estructurales no llegan a alcanzar la resistencia establecida por las normas técnicas vigentes, lo cual hace vulnerable a la estructura a sufrir fallas como agrietamientos y fisuramientos debido a las cargas de gravedad y producto de las fuerzas sísmicas.

Entonces, se puede deducir que ante la problemática existente podemos generar una pregunta de investigación, ¿Cómo influye el uso de las fibras de carbono en el esfuerzo a la compresión del concreto en proyectos de edificaciones urbanas?

Esta propuesta considera como objetivo general Determinar la influencia de las fibras de carbono en la resistencia a compresión del concreto para la construcción de edificaciones urbanas, Cajamarca; considerando también la problemática identificada, se puede tomar en cuenta aquellos objetivos específicos a los siguientes: Determinar la caracterización de

los agregados; determinar la resistencia a la compresión de las probetas con concreto convencional F'c 210 kg/cm² a los 7, 14 y 28 días, para la construcción de edificaciones urbanas; determinar la resistencia a la compresión de las probetas con concreto F'c 210 kg/cm² a los 7, 14 y 28 días, al adicionar 3%, 6% y 9% de fibras de carbono, para la construcción de edificaciones urbanas; determinar el porcentaje óptimo de fibras de carbono para las probetas de concreto F'c 210 kg/cm², en la construcción de edificaciones urbanas. Mientras que, como hipótesis, se detalla “Las fibras de carbono mejoran la resistencia a compresión del concreto hasta un 50.44% para la construcción de edificaciones urbanas”

En tanto, por todo lo mencionado anteriormente cabe indicar que las estructuras carecen de resistencia y son vulnerables a sufrir fallas estructurales y/o posibles colapsos ante eventos sísmicos de moderada a severa intensidad, poniendo en peligro la vida de sus ocupantes. Es por ello, que se hace necesario mejorar la resistencia en los elementos estructurales, por lo cual en el presente trabajo de investigación se utilizara fibras de carbono para dotar de resistencia del concreto y posteriormente estudiar su resistencia a la compresión.

Es por ello, que la presente investigación se realizó con la finalidad de determinar la influencia que tienen las fibras de carbono en la resistencia a la compresión del concreto, para poder aprovechar este material en la construcción de edificaciones urbanas, generando de esta manera estructuras resistentes que permitan brindar seguridad a las personas ante un evento sísmico y que soporten mayores cargas lo cual brindará una mayor estabilidad a la estructura.

También, cabe indicar que el presente trabajo se realizó ya que se busca determinar la eficacia que tienen las fibras de carbono en la resistencia a compresión del concreto F'c 210 kg/cm², puesto que los resultados obtenidos se contrastarán con estudios ya elaborados.

Además, con la investigación se busca ampliar el conocimiento existente correspondiente al reforzamiento estructural de concreto con fibras de carbono, para la construcción de edificaciones urbanas.

II. MÉTODOS

La investigación tiene un enfoque de tipo cuantitativo, por lo que se realizó procesos en conjunto de manera secuencial y probatoria, además para comprobar la hipótesis se utilizó como instrumento la recolección de datos en base a análisis estadísticos con la medición numérica para probar la teoría propuesta en la investigación. En tanto, teniendo en cuenta lo mencionado se puede indicar que la investigación se considera experimental, por lo que se tuvo variables dependiente e independientes, las cuales sirvieron para ser analizados antes y después de las pruebas de los ensayos de laboratorio, donde se certifica que la prensa utilizada para las pruebas a compresión

están actualizadas de Calidad y tiene Certificación de calibración, además se elaboró una posprueba ya que se realizó ensayos con probetas de concreto adicionando 3%, 6% y 9% de fibras de carbono para verificar posteriormente su comportamiento a compresión frente a las probetas de concreto convencionales, sin la adición de fibras de carbono bajo el cumplimiento de las Normas Técnicas Peruanas Vigentes.

La población considerada en la presente investigación está definida por 48 probetas cilíndricas de concreto, ya que indican que “la población o universo es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones de interés para la investigación”.

El tipo de muestra para la investigación es no probabilístico, debido a que son muestras dirigidas, las cuales son un subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación y se determina teniendo en cuenta la opinión de un experto y/o el juicio del investigador. Ref. [8].

La muestra para la investigación está conformada por 4 probetas cilíndricas de concreto por ensayo, para cada edad (7, 14 y 28 días de curado). Esta se determinó teniendo en cuenta que la muestra “es un subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de ésta”. Ref. [8].

A continuación, se indica de manera detallada la muestra del trabajo de investigación:

TABLA 1
RESUMEN DE LA MUESTRA DE PROBETAS PARA ENSAYOS A COMPRESIÓN

Descripción	Probetas cilíndricas de concreto F'c 210 kg/cm2 + 0% de fibras de carbono	Probetas cilíndricas de concreto F'c 210 kg/cm2 + 3% de fibras de carbono	Probetas cilíndricas de concreto F'c 210 kg/cm2 + 6% de fibras de carbono	Probetas cilíndricas de concreto F'c 210 kg/cm2 + 9% de fibras de carbono	Total de probetas
7 días	4	4	4	4	16
14 días	4	4	4	4	16
28 días	4	4	4	4	16

La técnica que se utilizó en la investigación para la recolección de datos corresponde a la observación ya que esta técnica “consiste en el registro válido y confiable de comportamientos y situaciones observables mediante un conjunto de categorías y subcategorías” Ref. [10]. En tanto, en el trabajo se observó y registró el comportamiento a compresión que presentan las probetas cilíndricas de concreto con la adición de fibras de carbono en diferentes dosificaciones al someterlo a esfuerzos de compresión.

El instrumento de recolección de datos que se utilizó corresponde al protocolo de ensayos de laboratorio ya que este tipo de instrumento “es el medio que permite la recolección y obtención de datos e información de un hecho o fenómeno que es objeto de estudio”. Ref. [11]. Es por ello, que en la investigación se utilizó este instrumento para llevar a orden adecuado en la recolección de información de los ensayos realizados en el laboratorio a las probetas cilíndricas de concreto.

También, cabe indicar que el instrumento es estandarizado, por lo cual, no necesita la validación de un especialista del tema.

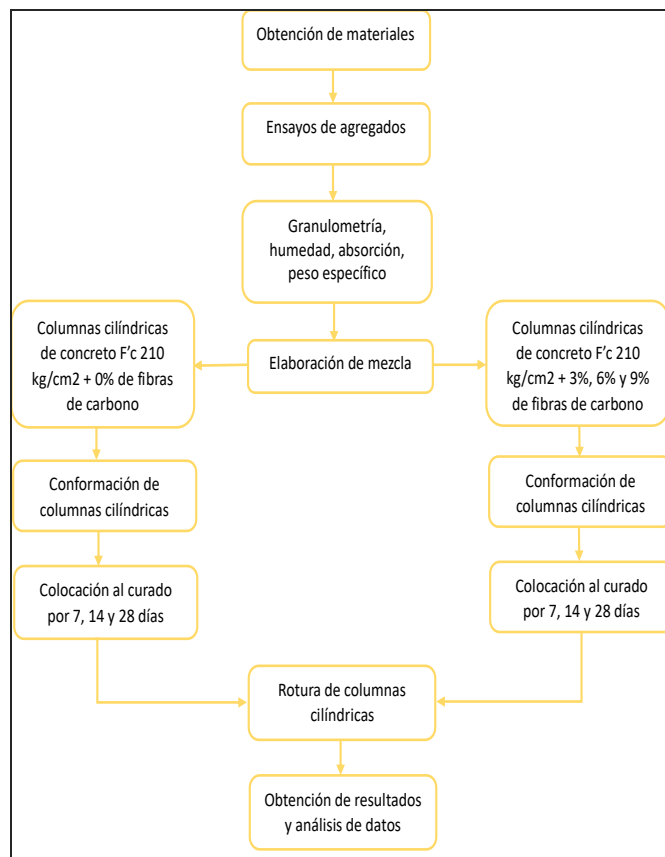


Fig. 1 Procedimiento para la recopilación de información en la investigación.

Para la recolección de información se siguió el procedimiento detallado en la figura 1:

Se obtuvo los materiales necesarios para el desarrollo de la investigación: cemento portland tipo I, agregado grueso, agregado fino, agua, acero corrugado grado 60 y fibras de carbono.

Se realizó ensayos de los agregados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte:

- Análisis granulométrico (N.T.P. 400.012).
- Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 (NTP 400.018).

- Contenido de humedad (NTP 339.127).
- Peso específico y absorción de agregado fino (NTP 400.022).
- Peso específico y absorción de agregado grueso (NTP 400.021).

El diseño de mezcla se elaboró de acuerdo con el método ACI para las probetas cilíndricas de concreto con resistencia $F'c$ 210 kg/cm² + 0% de fibras de carbono, las cuales se colocarán posteriormente al curado por un periodo de 7, 14 y 28 días.

Se realizó el diseño de mezcla de acuerdo con el método ACI para las probetas cilíndricas de concreto con resistencia $F'c$ 210 kg/cm² + 3%, 6% y 9% de fibras de carbono, las cuales se colocaron posteriormente al curado por un periodo de 7, 14 y 28 días.

Cumplido el tiempo de curado de las probetas cilíndricas, se evaluó la resistencia a compresión mediante el uso de la máquina compresora para cada edad especificada (7, 14 y 28 días) y se registrará los resultados obtenidos para el posterior análisis de datos.

El análisis de datos se obtuvo de acuerdo con el análisis de datos cuantitativos establecido en el libro de “Metodología de la Investigación”. Ref. [10], el cual se muestra a continuación en la figura 2:

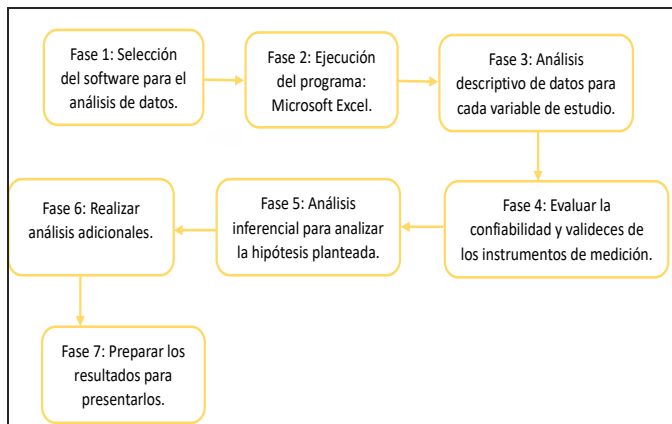


Fig. 2 La figura muestra el procedimiento de manera detallada que se seguirá para el análisis de datos de la investigación.

Fase 1: En esta fase se seleccionó el software para el análisis de datos, (Microsoft Excel).

Fase 2: Se ejecutó el programa Microsoft Excel, para ello se registró la información obtenida de los ensayos de laboratorio realizados a los agregados y los datos obtenidos de esfuerzo a la compresión de las probetas cilíndricas.

Fase 3: Se realizó un análisis descriptivo de datos para cada una de las variables de la investigación, para ello, se emplearon tablas estadísticas y gráficos de barras para facilitar la comprensión de la información.

Fase 4: Se evaluó la validez y confiabilidad de los instrumentos de medición, pero debido a que los instrumentos son estandarizados los datos obtenidos son válidos y confiables.

Fase 5: Se realizó el análisis inferencial para analizar la hipótesis planteada en la investigación, para ello, se utilizó el análisis de varianza ANOVA el cual permite aceptar o descartar la hipótesis establecida, ya que este análisis es una prueba estadística que sirve para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas ya que se analiza con valores de F o razón F, este tipo de prueba estadística se basa en una distribución muestral denominada distribución F, esta compara las variaciones de puntuaciones promedios de los grupos, teniendo en cuenta de que el valor de F no sea tan diferente con los demás grupos, para que se acepte la hipótesis de investigación. Ref. [10].

Fase 6: En esta fase se realizó análisis adicionales, pero para la presente investigación será pertinente realizar solamente el análisis descriptivo e inferencial.

Fase 7: Se preparó los resultados para ser presentados, en esta fase final se presentó en tablas figuras y graficas los resultados de los análisis realizados para su mejor entendimiento.

III. RESULTADOS

Se realizó ensayos al agregado fino y al agregado grueso para determinar sus propiedades tales como peso unitario suelo, peso unitario compactado, peso específico de la masa, módulo de finura, contenido de humedad, absorción y granulometría, como se muestra a continuación

Caracterización de agregado fino:

TABLA 2
PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO

Propiedades	Valor
Peso unitario suelto (kg/ m ³)	1686 kg/ m ³
Peso unitario compactado (kg/ m ³)	1837 kg/ m ³
Peso específico de la masa (kg/ m ³)	2617 kg/ m ³
Módulo de finura	2.21
Contenido de humedad (%)	0.44%
Absorción (%)	1.13%

TABLA 3
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA PARA ENSAYO DE GRANULOMETRÍA.

Descripción	Valor
Peso grava	14.5 gr
Peso arena	485.5 gr
Peso total	500 gr
Características físicas	
Tamaño máximo nominal:	# 4

TABLA 4
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

TAMIZ	ABERT. (mm)	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. PARC	%Q' PASA	HUSO A
4"	101.6					
3 1/2"	88.9					
3"	76.2					
2 1/2"	63.5					
2"	50.8					100 - 100
1 1/2"	38.1		0	0	100	
1"	25.4		0	0	100	
3/4"	19.05		0	0	100	
1/2"	12.7		0	0	100	
3/8"	9.525		0	0	100	
1/4"	6.35		0	0	100	
# 4	4.76	13.5	2.7	2.7	97.3	95 - 100
# 8	2.36	69.3	13.9	16.6	83.4	
# 10	2	17.5	3.5	20.1	79.9	
# 16	1.19	41.4	8.3	28.4	71.7	50 - 85
# 20	0.85	20.5	4.1	32.5	67.6	
# 30	0.59	28.8	5.8	38.2	61.8	25 - 60
# 40	0.42	30.4	6.1	44.3	55.7	
# 50	0.3	29.9	6	50.3	49.8	May-30
# 60	0.25	41.1	8.2	58.5	41.5	
# 100	0.15	126	25.2	83.7	16.3	0 - 10
# 200	0.075	62.5	12.5	96.2	3.8	0 - 5
< # 200	Fondo	19.2	3.8	100	0	
Fracción		485.5				
Total		500				

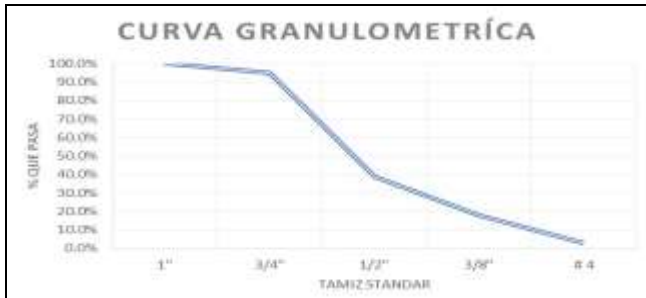


Fig. 3 Curva granulométrica del agregado fino.

Caracterización de agregado grueso:

TABLA 5
PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO

Propiedades	Valor
Peso unitario suelto (kg/ m3)	1548
Peso unitario compactado (kg/ m3)	1659
Peso específico de la masa (kg/ m3)	2587
Tamaño máximo nominal (Pulg)	3-Abr
Contenido de humedad (%)	117.00%
Absorción (%)	28.00%

TABLA 6
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA PARA ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Descripción	Valor
Peso grava	150.00 gr
Peso arena	3850.00 gr
Peso total	4000.00 gr
Características físicas	
Tamaño máximo nominal:	# 4

TABLA 7
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

TAMIZ	ABERT. (mm)	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. PARC.	%Q'PASA	HUSO A
4"	101.6					
3 1/2"	88.9					
3"	76.2					
2 1/2"	63.5					
2"	50.8					100 - 100
1 1/2"	38.1		0	0	100	
1"	25.4		0	0	100	90 - 100
3/4"	19.05	467	11.7	11.7	88.3	40 - 85
1/2"	12.7	1,059.00	26.5	38.2	61.9	10 - 40
3/8"	9.525	677.3	16.9	55.1	44.9	0 - 15
1/4"	6.35		0	55.1	44.9	
# 4	4.76	1,697.60	42.4	97.5	2.5	0 - 5
# 8	2.36	78.2	0	97.6	2.4	
# 10	2		0	97.6	2.4	
# 16	1.19		0	97.6	2.4	
# 20	0.85		0	97.6	2.4	
# 30	0.59		0	97.6	2.4	
# 40	0.42		0	97.6	2.4	
# 50	0.3		0	97.6	2.4	
# 60	0.25		0	97.6	2.4	
# 100	0.15		0	97.6	2.4	
# 200	0.075		0	97.6	2.4	
< # 200	Fondo	20.9	0	97.6	2.4	
Fracción		150				
Total		4,000.00				

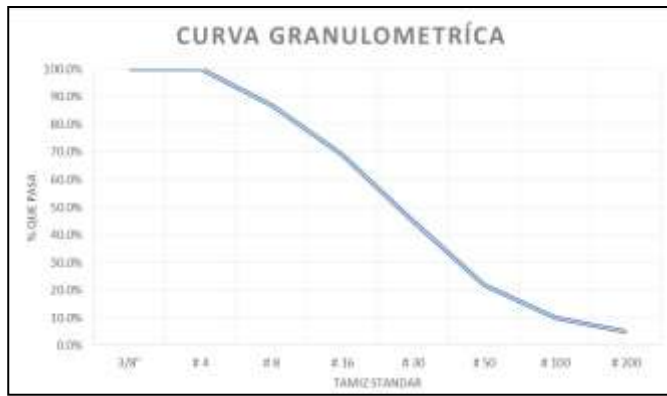


Fig. 4 Curva granulométrica del agregado grueso.

Se realizó la resistencia a compresión de especímenes de probetas con concreto convencional, a través de este ensayo se da el cumplimiento del objetivo específico 2, para ello se elaboró 12 especímenes de probetas de concreto convencional en base a un diseño de mezcla para una resistencia de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ que se muestra en la tabla 10, y se sometió los especímenes a pruebas de compresión a edades de 7, 14 y 28 días de curado, obteniendo los resultados que se indican en la tabla 9.

TABLA 8
DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO CONVENCIONAL

Insumo	Cantidad
Cemento (bls)	1.00
Agregado fino (pie3/bls)	3.10
Agregado grueso (pie3/bls)	1.58
Agua (Lts/pie3)	23.05
Fibras de carbono (%)	0

TABLA 9
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE PROBETAS CON CONCRETO CONVENCIONAL

N° de espécimen	Edad	F'c especificado (kg/cm ²)	Área (cm ²)	Carga máxima (kg)	F'c obtenido (kg/cm ²)	F'c promedio (kg/cm ²)
1	7 días	210	176.65	25360	143.56	145.27
2				26655	150.89	
3				25780	145.94	
4				24850	140.67	
1	14 días	210	176.65	30440	172.32	172.52
2				30560	173	
3				30380	171.98	
4				30520	172.77	
1	28 días	210	176.65	37520	212.4	212.65
2				37450	212	
3				37640	213.08	
4				37650	213.13	

Se realizó la Resistencia a compresión de especímenes de probetas de concreto con la adición de fibras de carbono, mediante este ensayo se da el cumplimiento del objetivo específico 3, por lo cual, se elaboró especímenes de probetas de concreto en base a un diseño de mezcla para una resistencia de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y se le adicióno fibras de carbono en dosificaciones de 3%, 6% y 9%, elaborando un total de 12 especímenes por cada dosificación, los cuales se sometieron a ensayos de resistencia a compresión mediante la máquina compresora.

A continuación, se muestra las dosificaciones de las mezclas utilizadas para cada una de las dosificaciones de fibras de carbono y los resultados obtenidos de los ensayos de compresión.

TABLA 10
DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO + 3% DE FIBRAS DE CARBONO

Insumo	Cantidad
Cemento (bls)	1.00
Agregado fino (pie3/bls)	3.10
Agregado grueso (pie3/bls)	1.58
Agua (Lts/pie3)	23.05
Fibras de carbono (%)	3.00

TABLA 11
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE PROBETAS DE CONCRETO + 3% DE FIBRAS DE CARBONO

N° de espécimen	Edad	F'c especificado (kg/cm ²)	Área (cm ²)	Carga máxima (kg)	F'c obtenido (kg/cm ²)	F'c promedio (kg/cm ²)
1	7 días	210	176.65	34320	194.28	196.16
2				34250	193.89	
3				35370	200.23	
4				34670	196.26	
1	14 días	210	176.65	46780	264.82	264.25
2				45850	259.55	
3				47230	267.36	
4				46860	265.27	
1	28 días	210	176.65	49870	282.31	283.31
2				50140	283.84	
3				50230	284.35	
4				49950	282.76	

TABLA 12
DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO + 6% DE FIBRAS DE CARBONO

Insumo	Cantidad
Cemento (bls)	1.00
Agregado fino (pie3/bls)	3.10
Agregado grueso (pie3/bls)	1.58
Agua (Lts/pie3)	23.05
Fibras de carbono (%)	6.00

TABLA 13
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE PROBETAS DE CONCRETO + 6% DE FIBRAS DE CARBONO

Nº de espécimen	Edad	F'c especificado (kg/cm ²)	Área (cm ²)	Carga máxima (kg)	F'c obtenido (kg/cm ²)	F'c promedio (kg/cm ²)
1	7 días	210	176.65	37320	211.27	208.89
2		210	176.65	36870	208.72	
3		210	176.65	36430	206.23	
4		210	176.65	36980	209.34	
1	14 días	210	176.65	47735	270.22	272.01
2		210	176.65	47830	270.76	
3		210	176.65	48350	273.71	
4		210	176.65	48290	273.37	
1	28 días	210	176.65	52670	298.16	297.15
2		210	176.65	52840	299.12	
3		210	176.65	51780	293.12	
4		210	176.65	52675	298.19	

TABLA 14
DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO + 9% DE FIBRAS DE CARBONO

Insumo	Cantidad
Cemento (bls)	1.00
Agregado fino (pie3/bls)	3.10
Agregado grueso (pie3/bls)	1.58
Agua (Lts/pie3)	23.05
Fibras de carbono (%)	9.00

TABLA 15
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE PROBETAS DE CONCRETO + 9% DE FIBRAS DE CARBONO

Nº de espécimen	Edad	F'c especificado (kg/cm ²)	Área (cm ²)	Carga máxima (kg)	F'c obtenido (kg/cm ²)	F'c promedio (kg/cm ²)
1	7 días	210	176.65	38890	220.15	219.15
2		210	176.65	37860	214.32	
3		210	176.65	39535	223.8	
4		210	176.65	38565	218.31	
1	14 días	210	176.65	49780	281.8	280.02
2		210	176.65	49585	280.7	
3		210	176.65	49545	280.47	
4		210	176.65	48950	277.1	
1	28 días	210	176.65	55680	315.2	315.92
2		210	176.65	55465	313.98	
3		210	176.65	56210	318.2	
4		210	176.65	55875	316.3	

De los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a compresión se determinó que el porcentaje óptimo de fibras de carbono para las probetas de concreto elaboradas en base a una dosificación de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ corresponde al 9% de fibras, de esta manera se contribuye al cumplimiento del objetivo específico 4 establecido para la investigación. A continuación, se muestra en la figura 5 los resultados de resistencia obtenidos en base a la dosificación óptima determinada.

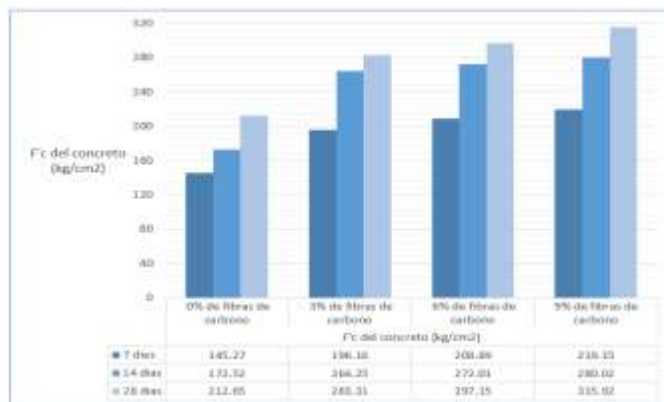


Fig. 5 La Resistencia a compresión obtenida de los especímenes de probetas de concreto con y sin fibras de carbono.

Se utilizó el análisis de varianza ANOVA para aceptar y/o descartar la hipótesis planteada en la investigación, por lo cual, dicho análisis se realizó partiendo de los resultados de esfuerzo a la compresión obtenidos en los ensayos realizados.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza.

TABLA 16
RESUMEN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
7 días	4	769.47	192.37	1074.28
14 días	4	988.8	247.2	2520.16
28 días	4	1109.03	277.26	2033.75
F _c del concreto + 0% de fibras de carbono	3	530.44	176.81	1148.84
F _c del concreto + 3% de fibras de carbono	3	743.72	247.91	2099.11
F _c del concreto + 6% de fibras de carbono	3	778.05	259.35	2067.66
F _c del concreto + 9% de fibras de carbono	3	815.09	271.7	2393.07

TABLA 17
ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA

Origen de las variaciones	Edades de los ensayos	F _c del concreto + fibras de carbono en dosificaciones de 0%, 3%, 6%, 9%	Error	Total
Suma de cuadrados	14821.82	16289.07	595.54	31706.43
Grados de libertad	2	3	6	11
Promedio de los cuadrados	7410.91	5429.69	99.26	
F	74.66	54.7		
Probabilidad	5.76E-05	9.47E-05		
Valor crítico para F	5.14	4.76		

TABLA 18
COMPARACIÓN DE COSTOS DEL HORMIGÓN VS FIBRAS DE CARBONO

Hormigón Convencional		VS.	Fibras de Carbono	
# Probetas	Costo Total		# Probetas	Costo Total
12	S/. 360.00		36	S/. 1476.00

IV. DISCUSIÓN

La investigación al determinar la influencia de las fibras de carbono en el comportamiento a compresión del concreto para la construcción de edificaciones urbanas se pudo encontrar que los valores de “p” calculado corresponden a 0.0000576 y 0.0000947, siendo menores que el valor de “p” establecido (probabilidad) el cual tiene un valor igual a 0.05, a través de la prueba paramétrica ANOVA. Lo que nos da a entender que existe una diferencia significativa entre los valores de F_c del concreto a medida que se le agrega fibras de carbono. Esto indica, que a medida que se aumenta el porcentaje de fibras de carbono en dosificaciones de 0%, 3%, 6% y 9%, los valores de esfuerzo a compresión del concreto aumentan, permitiéndole soportar mayores cargas que las habituales. Frente a lo mencionado, se acepta la hipótesis establecida para la investigación la cual indica que las fibras de carbono mejoran la resistencia a compresión del concreto para la construcción de edificaciones urbanas, Cajamarca.

V. CONCLUSIONES

Las fibras de carbono influyen de manera significativa en la resistencia a compresión del concreto ya que de los ensayos realizados en laboratorio se puede indicar que a la edad de 28 días, con la adición de 3% de fibras de carbono la resistencia aumenta en un 34.91%, con la adición de 6% de fibras la resistencia aumenta en un 41.50% y con la adición de 9% de fibras de carbono la resistencia aumenta en un 50.44%, todos comparados con respecto a la resistencia del concreto convencional de F_c 210 kg/cm².

Luego de realizar los ensayos en laboratorio a los agregados se llegó a concluir que el agregado fino presenta un peso unitario suelto de 1686 kg/m³, un peso unitario compactado de 1837 kg/m³, un peso específico de masa de 2617 kg/m³, un módulo de finura de 2.21, un contenido de humedad de 0.44% y un porcentaje de absorción de 1.13%. El agregado grueso presento un peso unitario suelto de 1548 kg/m³, un peso unitario compactado de 1659 kg/m³, un peso específico de masa de 2587 kg/m³, un tamaño máximo nominal de 3/4 de pulgada, un contenido de humedad de 1.17% y un porcentaje de absorción de 0.18%. Asimismo, cabe indicar que los agregados presentaron una granulometría adecuada ya que la curva granulométrica de cada material se encontró dentro de los límites permisibles para ser empleados como insumos en la elaboración de la mezcla de concreto.

De los ensayos de resistencia a compresión realizados a las probetas elaboradas con concreto convencional para alcanzar una resistencia de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, se determinó que a los 7, 14 y 28 días de curado, los valores de esfuerzo corresponden a 145.27, 172.52 y 212.65 kg/cm^2 respectivamente, siendo a los 28 días la resistencia mayor que la resistencia de diseño establecida.

De los ensayos de resistencia a compresión realizados a las probetas de concreto de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de fibras de carbono en dosificaciones de 3%, 6% y 9%, se determinó que a los 7, 14 y 28 días de curado se obtuvieron valores de esfuerzo a compresión con 3% de fibras de carbono de 196.16, 264.25 y 283.31 kg/cm^2 , con la adición de 6% de fibras de carbono se obtuvieron valores de 208.89, 272.01 y 297.15 kg/cm^2 , y con la adición de 9% de fibras de carbono se obtuvieron valores de esfuerzo a compresión de 219.15, 280.02 y de 315.92 kg/cm^2 , respectivamente para cada edad de curado. Permittedo soportar al concreto mayores esfuerzos a compresión a medida que se aumenta la dosificación de fibras de carbono.

Después de realizar los ensayos de esfuerzo a compresión, se concluye que con la adición de 9% de fibras de carbono se obtienen los mejores resultados de resistencia ya que a la edad de los 28 días de curado el valor obtenido es de 315.92 kg/cm^2 siendo mayor en un 50.44% a la resistencia del concreto convencional a dicha edad ($F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$).

VI. REFERENCIAS

- [1] A. S. Arevalo Casas. "Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones en el A.H. San José, distrito de San Martín de Porres". (Tesis de Pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. Julio (2020).
- [2] P. J. Montilla Moreno, & A. Castillo Gandica, "Vulnerabilidad sísmica de centros poblados. Un caso de estudio: sector Pan de Azúcar, Mérida. Estado Mérida-Venezuela". Redalyc, 53(2), 277-295. (2012).
- [3] A. Toscana Aparicio, "Vulnerabilidad y resiliencia en conjuntos urbanos de la Ciudad de México". Redalyc, 19(2), 11-34. Mayo (2017).
- [4] N. Morales Soto, & C. Zavala, "Terremotos en el litoral central del Perú: ¿Podría ser Lima el escenario de un futuro desastre?". Redalyc, 25(2), 217-224. Junio (2008).
- [5] J. Nina, "Determinar la piezoresistividad del concreto conductor en función del tipo y el contenido de fibra de carbono reciclado" (Tesis pregrado) Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Noviembre (2018).
- [6] M. Villoslada, "Adición las platinas de fibra de carbono como refuerzo en un concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ". Tesis para obtener el título de ingeniero civil. Universidad César Vallejo, Lima. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49274>. Junio (2019).
- [7] Budenheim. Obtenido de Budenheim: [https://www.budenheim.com/es/soluciones/construccion/concreto#:~:text=El%20concreto%20es%20una%20mezcla,ser%20utilizado%20bajo%20el%20agua](https://www.budenheim.com/es/soluciones/construccion/concreto#:~:text=El%20concreto%20es%20una%20mezcla,ser%20utilizado%20bajo%20el%20agua.). (15 de Febrero de 2017).
- [8] A. Guillermo, & S. Silva, "Evaluación y diseño de dos propuestas de reforzamiento para vigas y columnas de concreto armado en una edificación de hotel". Tesis para optar por el título de ingeniero civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPC_112d9a5010dcb43f5df3a11534656f2. Octubre (2019).
- [9] J. Díaz, "Diseño estructural del área recreativa y de trabajo del Colegio Militar Gran Mariscal Ramón Castilla – Huanchaco – Trujillo - La Libertad" (Tesis Pregrado) Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú. Febrero (2018).
- [10] R. Hernández Sampieri, Fernández Collado, C., & P. Baptista Lucio., *Metodología de la Investigación* (sexta ed.). México, México: McGRAW-HILL. Septiembre (2014).
- [11] G. Campos, & N. E. Lule Martínez, "La observación, un método para el estudio de la realidad". Xihmai, 7(13), 45-60. Abril (2012).
- [12] L. Suárez, N. Dávila, Inglessis, P., & Rivero, P. "Evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones escolares en la ciudad de Mérida." Redalyc, 30(3), 269-278. Marzo (2009).
- [13] R. Rocha Rodríguez E. & J. García. "Estudio de la resistencia mecánica de materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras de carbono." Enero (2011).
- [14] B. Ramos, "Reforzamiento Estructural con Encamisado de Fibra de Carbono en Columna para Vivienda de 3 Pisos en Santa Anita, 2019", Lima, Perú. Julio (2019).
- [15] J. Quispe. "Análisis Comparativo entre Reforzamiento por Encamisado en Concreto Armado y Fibra de Carbono para una Vivienda Multifamiliar Santa Anita 2021". Tesis para optar el título de ingeniero civil. Universidad César Vallejo, Lima. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/66812>. Agosto (2021).
- [16] J. Arias "Análisis comparativo de muros de mampostería reforzada con y sin fibra de carbono, para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción." Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Septiembre (2018).
- [17] F. Calla, & J. Torres. "Reforzamiento por flexión de vigas de concreto armado con fibra de carbono". Tesis para optar por el título de ingeniero civil. Universidad Católica de Santa María, Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/5316>. Julio (2015).
- [18] E. Capcha. "Ingeniería de estructuras-Análisis no lineales". Obtenido de Edén Capcha Ingeniería: [https://ceaingenieria.blogspot.com/2017/01/comportamiento-estructural.html#:~:text=El%20comportamiento%20estructural%20es%20la,son%20conocidas%20usualmente%20como%20relaciones](https://ceaingenieria.blogspot.com/2017/01/comportamiento-estructural.html#:~:text=El%20comportamiento%20estructural%20es%20la,son%20conocidas%20usualmente%20como%20relaciones.). (17 de Enero de 2017).
- [19] H. Duran. "Refuerzo con bandas de fibra de carbono (CFRP) en columnas cortas de concreto reforzado estudio exploratorio." Junio (2008).
- [20] O. González Capdevila, M. González Franco, & J. C. Ruiz Perdomo, Consideraciones éticas en la investigación pedagógica: una aproximación necesaria. *Scielo*, 4(1), 1-5. Abril (2012).