



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Adición de fibras de carbono para incrementar las
propiedades mecánicas y disminuir la resistividad
eléctrica de los hormigones conductores

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

AUTORES

Calderon Quintana, Carmen Olga

ORCID: 0000-0002-9309-8056

Nieto Agreda, Bryan Alexis

ORCID: 0000-0001-9089-4586

ASESOR

Chavarria Reyes, Liliana Janet

ORCID: 000-0002-1759-2132

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Calderon Quintana, Carmen Olga

DNI: 70493935

Nieto Agreda, Bryan Alexis

DNI: 75258487

Datos de asesor

Chavarria Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-5142-3789

JURADO 2

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 3

Torres Chung, Cesar Roberto

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0002-3212-2817

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

A Dios por su infinita misericordia; A mi padre por ser el ángel que me guía desde el cielo, mi motivo e inspiración; A mi madre por creer en mí y siempre apoyar incondicionalmente mis sueños; A mi abuelita Laura por transmitirme su paz y sabiduría; A mi hermano y demás familia por estar presentes en cada etapa y celebrar mis logros.

(Calderon Quintana, Carmen Olga)

A Dios por haberme otorgado una gran familia y darme fortaleza y sabiduría; a mis padres Benjamín y Elizabeth, que son mis guías y me han forjado como una persona de buenos valores; a mi hermano Jason, por siempre estar aconsejándome y apoyándome y a mis abuelas María y Miriam, que son mi inspiración para poder salir adelante en todo lo que me proponga.

(Nieto Agreda, Bryan Alexis)

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios por darnos fortaleza y sabiduría.

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra Alma Mater, por su formación y los conocimientos adquiridos; A todas las personas que nos instruyeron y acompañaron a lo largo de nuestra carrera.

A nuestra asesora Mg. Ing. Liliana Chavarría Reyes, por su constante orientación, apoyo y asesoría, lo que permitió el correcto desarrollo de esta investigación.

(Calderon Quintana, Carmen Olga y Nieto Agreda,
Bryan Alexis)

ÍNDICE GENERAL

L

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCION.....	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	1
1.1.1 Problema e importancia.....	1
1.1.2 Árbol del problema.....	2
1.2 Formulación del problema.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Delimitación de la investigación.....	4
1.4.1 Geográfica.....	4
1.4.2 Temporal.....	4
1.4.3 Temática.....	4
1.4.4 Muestral.....	4
1.5 Justificación del estudio.....	4
1.5.1 Conveniencia.....	4
1.5.2 Relevancia Social.....	5
1.5.3 Aplicaciones prácticas.....	5
1.5.4 Utilidad metodológica.....	5
1.5.5 Valor teórico.....	5
1.6 Importancia del estudio.....	6
1.6.1 Nuevos conocimientos.....	6
1.6.2 Aporte.....	6
1.7 Limitaciones del estudio.....	6
1.7.1 Falta de estudios previos de investigación.....	6
1.7.2 Metodológicos o prácticos.....	6
1.7.3 Medidas para la recolección de los datos.....	6

1.7.4 Obstáculos en la investigación.....	7
1.8 Alcance.....	7
1.9 Viabilidad del estudio.....	7
1.9.1 El tiempo.....	7
1.9.2 Espacio.....	7
1.9.3 Las condiciones económicas.....	7
1.9.4 Las fuentes de información.....	7
1.9.5 Recolección de los datos.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.....	9
2.1 Marco histórico.....	9
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema.....	10
2.2.1 Investigaciones internacionales.....	10
2.2.2 Artículos relacionados con el tema.....	12
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	15
2.3.1 Hormigón.....	15
2.3.2 Componentes del hormigón.....	16
2.3.3 Hormigón conductor.....	19
2.3.4 Hormigón reforzado con fibras.....	20
2.3.5 Fibra de carbono.....	22
2.3.6 Fibra de carbono reciclada.....	25
2.3.7 Hormigón reforzado con fibras de carbono.....	27
2.3.8 Propiedades mecánicas del hormigón.....	28
2.3.9 Resistividad térmica del hormigón.....	31
2.4 Normas que apoyan la investigación.....	33
2.4.1 Norma UNE.....	33
2.4.2 Norma Técnica Peruana (NTP).....	33
2.5 Definición de términos básico.....	34
2.6 Fundamentos teóricos que sustentas la hipótesis.....	35
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	36
3.1 Hipótesis.....	36
3.1.1 Hipótesis general.....	36
3.1.2 Hipótesis específicas.....	36
3.2 Variables.....	36

3.2.1 Variables Independientes.....	36
3.2.2 Variable Dependiente.....	36
3.3 Sistema de variables.....	37
3.3.1 Definición conceptual.....	37
3.3.2 Definición operacional.....	37
3.3.3 Operacionalización de las variables.....	38
CAPÍTULO IV: METODOLOGIA.....	39
4.1 Método de la investigación.....	39
4.2 Tipo de la investigación.....	41
4.3 Nivel de la investigación.....	43
4.4 Diseño de la investigación.....	44
4.5 Población y muestra.....	48
4.5.1 Población.....	48
4.5.2 Muestra.....	49
4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos.....	50
4.6.1 Instrumento de recolección de datos.....	50
4.6.2 Métodos y técnicas.....	50
4.7 Descripción de procesamientos de análisis.....	51
CAPÍTULO V: PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION.....	53
5.1 Resultados de la investigación.....	53
5.1.1 Relación entre el porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen y la resistencia a la compresión del hormigón conductor.....	53
5.1.2 Relación entre el porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen y la resistencia a la flexión del hormigón conductor.....	60
5.1.3 Relación entre el porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen y la resistividad eléctrica del hormigón conductor.....	65
5.1.4 Relación entre el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada y la resistencia a la compresión del hormigón conductor.....	69
5.1.5 Relación entre el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada y la resistencia a la flexión del hormigón conductor.....	75
5.1.6 Relación entre el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada y la resistividad eléctrica del hormigón conductor.....	81

5.2 Análisis y contrastación de los resultados.....	88
5.2.1 Hipótesis 1: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, incrementa la resistencia a la compresión del hormigón conductor.....	88
5.2.2 Hipótesis 2: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor.....	91
5.2.3 Hipótesis 3: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor.....	92
5.2.4 Hipótesis 4: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, incrementa la resistencia a la compresión del hormigón conductor.....	93
5.2.5 Hipótesis 5: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor.....	95
5.2.6 Hipótesis 6: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor.....	97
5.2.7 Análisis y comparación de resultados al usar los dos tipos de fibras de carbono	99

DISCUSIÓN.....	100
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
ANEXOS.....	115
Anexo 1 : Matriz de Consistencia.....	115
Anexo 2: Matriz de Referencias Bibliográficas.....	117
Anexo 3: Matriz de relación entre subtema y objetivos.....	131
Anexo 4: Matriz de relación entre los subtemas y las referencias bibliográficas.....	132
Anexo 5: Matriz de relación fibra de carbono virgen y resistencia a la compresión....	138
Anexo 6: Matriz de relación fibra de carbono virgen y resistencia a la flexión.....	139
Anexo 7: Matriz de relación fibra de carbono virgen y la resistividad eléctrica.....	140
Anexo 8: Matriz de relación fibra de carbono reciclada y resistencia a la compresión	141
Anexo 9: Matriz de relación fibra de carbono reciclada y resistencia a la flexión.....	142
Anexo 10: Matriz de relación fibra de carbono reciclada y la resistividad eléctrica....	143

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición típica calculada de los diferentes cementos Portland.....	18
Tabla 2 Características de las fibras existentes en el mercado.....	22
Tabla 3 Propiedades de la fibra de carbono.....	25
Tabla 4 Propiedades mecánicas de la fibra de carbono reciclada.....	27
Tabla 5 Condición de la corrosión de acuerdo al potencial eléctrico.....	32
Tabla 6 Operacionalización de Variables.....	38
Tabla 7 Cuadro comparativo de tipología.....	47
Tabla 8 Cuadro comparativo de población.....	48
Tabla 9 Cuadro comparativo de la muestra.....	49
Tabla 10 Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Ghanem & Bowling, 2019.....	54
Tabla 11 Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen con una relación a/c=0.4 según Ullah et al., 2021.....	55
Tabla 12 Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días con a/c= 0.38 según Ullah et al., 2021.....	56
Tabla 13 Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según De Jia et al., 2018.....	58
Tabla 14 Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Maleki et al., 2017.....	59
Tabla 15 Valor máximo de resistencia a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono y relación a/c según los autores del OE1.....	60
Tabla 16 Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Ghanem & Bowling, 2019.....	61
Tabla 17 Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Maleki et al., 2017.....	62
Tabla 18 Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Bustos A., 2018.....	63
Tabla 19 Valores máximos de resistencia la flexión a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono virgen y la relación a/c según los autores del OE2.....	64
Tabla 20 Resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días según Wang et al., 2019.	65

Tabla 21 Resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días según Tian et al., 2021...	67
Tabla 22 Valores de resistividad eléctrica a los 28 días con respecto al porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen basado en cemento portland y su relación a/c del OE3.....	68
Tabla 23 Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días según Wang et al., 2019.....	70
Tabla 24 Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días según Belli et al., 2020.....	71
Tabla 25 Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días según Xiong et al., 2020.....	72
Tabla 26 Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días según Mastali et al., 2016.....	74
Tabla 27 Valores máximos de resistencia a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono reciclada y su relación a/c según los autores del OE 4.....	74
Tabla 28 Resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días según Saccani et al., 2019	76
Tabla 29 Resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días según Belli et al., 2020	77
Tabla 30 Resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días según Xiong et al., 2020	78
Tabla 31 Resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días según Mastali & Dalvand, 2016.....	80
Tabla 32 Valores máximos de resistencia la flexión a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono reciclada y la relación a/c según los autores del OE5.....	80
Tabla 33 Resultados de la resistividad eléctrica de la fibra reciclada a los 28 días según Wang et al., 2022.....	82
Tabla 34 Resultados de la resistividad eléctrica de la fibra reciclada a los 28 días según Segura et al., 2019.....	84
Tabla 35 Resultados de la resistividad eléctrica de la fibra reciclada a los 28 días según López E., 2015.....	86
Tabla 36 Valores de resistividad eléctrica a los 28 días con respecto al porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada basado en cemento portland y su relación a/c del OE6.....	88

Tabla 37 Comparación de resultados de resistencia y resistividad eléctrica según el tipo de fibra añadida.....	99
--	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol del problema.....	2
Figura 2. Mezcla de hormigón.....	15
Figura 3. Hormigón conductor aplicado en una carretera.....	19
Figura 4. Composición química de la fibra de carbono.....	24
Figura 5. Fibras de carbono en hormigón.....	28
Figura 6. Probeta de hormigón sometido a ensayo de compresión axial.....	29
Figura 7. Determinación de la resistencia a flexión del hormigón.....	31
Figura 8. Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis.....	35
Figura 9. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Ghanem & Bowling, 2019.....	54
Figura 10. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen con una relación $a/c=0.4$ según Ullah et al., 2021.....	56
Figura 11. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen con una relación $a/c=0.38$ según Ullah et al., 2021.....	57
Figura 12. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según De Jia et al., 2018.....	58
Figura 13. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Maleki et al., 2017.....	59
Figura 14. Valor máximo de resistencia a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono y la relación a/c según los autores del OE1.....	60
Figura 15. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Ghanem & Bowling, 2019.....	61
Figura 16. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Maleki et al., 2017.....	63
Figura 17. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Bustos A., 2018.....	64
Figura 18. Valores máximos de resistencia a flexión a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono y relación a/c según los autores del OE 2.....	65
Figura 19. Resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días según Wang et al., 2019.....	66

Figura 20. Resultados en línea de tendencia de la resistividad eléctrica a los 28 días según Wang et al., 2019.....	66
Figura 21. Resultados en línea de tendencia de la resistividad eléctrica a los 28 días según Tian et al., 2021.....	67
Figura 22. Resultados en línea de tendencia de la resistividad eléctrica a los 28 días según Tian et al., 2021.....	68
Figura 23. Valores de resistividad eléctrica a los 28 días con respecto al porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen basado en cemento portland y su relación a/c del OE3.....	69
Figura 24 Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada con una relación a/c=0.5 según, Wang et al., 2019.....	70
Figura 25. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada de 6mm con una relación a/c=0.5 según, Belli et al., 2019.	71
Figura 26. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada con una relación a/c=0.4 según, Xiong et al., 2020.....	73
Figura 27. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada de 20mm con una relación a/c=0.35 según, Mastali et al., 2016.....	74
Figura 28. Valores máximos de resistencia a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono reciclada y su relación a/c según los autores del OE 4.....	75
Figura 29. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada con una relación a/c=0.4 según, Saccani et al., 2019.....	76
Figura 30. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada con una relación a/c=0.5 según, Belli et al., 2020.....	77
Figura 31. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada con una relación a/c=0.4 según, Xiong et al., 2020.....	79
Figura 32. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada con una relación a/c=0.4 según, Xiong et al., 2020.....	80
Figura 33. Valores máximos de resistencia a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono reciclada y relación a/c según los autores del OE 5.....	81
Figura 34. Resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días según Wang et al., 2022	82
Figura 35. Resultados en línea de tendencia de la resistividad eléctrica a los 28 días según Wang et al., 2022.....	83

Figura 36. Resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días según Segura et al., 2019	85
Figura 37. Resultados en línea de tendencia de la resistividad eléctrica a los 28 días según Segura et al., 2019.....	85
Figura 38. Resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días según López E., 2015...87	87
Figura 39. Resultados en línea de tendencia de la resistividad eléctrica a los 28 días según López E., 2015.....	87
Figura 40. Valores de resistividad eléctrica a los 28 días con respecto al porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada basado en cemento portland y su relación a/c del OE6.....	88

RESUMEN

La presente investigación, “Adición de fibras de carbono para incrementar las propiedades mecánicas y disminuir la resistividad eléctrica de los hormigones conductores”, tuvo como objetivo principal determinar el porcentaje de fibras de carbono para incrementar las propiedades mecánicas y disminuir la resistividad eléctrica de los hormigones conductores debido a las temperaturas bajas que producen la congelación de los elementos estructurales, donde la fibra de carbono virgen o reciclada se caracterizan por tener baja densidad, buenas propiedades mecánicas, así como eléctricamente conductora, lo cual lo hace una importante adición en las mezclas de los hormigones.

La investigación fue documental, bibliográfica y descriptiva, empleando un método deductivo, tipo de investigación la descriptiva y explicativa, instrumento de recolección de datos retrolectivo, nivel descriptivo, diseño experimental, longitudinal, retrospectivo y de cohorte. Los resultados obtenidos para resistencia a la compresión a los 28 días fueron de 465 kg/cm², adicionando 1% de fibra de carbono virgen y 546 kg/cm², adicionando 0.5% de fibra de carbono reciclada. La resistencia a la flexión a los 28 días, se obtuvo resultados de 117 kg/cm² adicionando 0.5% de fibra de carbono virgen, mientras que adicionando 1.5% de fibra de carbono reciclada, la resistencia es de 76 kg/cm². La resistividad eléctrica, adicionando 0.8% de fibra de carbono virgen, se obtuvo 0.19 Ω.m de resistividad eléctrica, mientras que adicionando 0.9% de fibra de carbono reciclada, se obtuvo 0.2 Ω.m.

Concluyéndose que, la adición de fibra de carbono virgen y reciclada en un porcentaje óptimo es un gran material en la mezcla del hormigón conductor, para poder mejorar sus propiedades mecánicas y disminuir su resistividad eléctrica, siendo que, la fibra de carbono virgen, es más efectiva para incrementar la resistencia a la compresión, mientras que, la fibra de carbono reciclada, es más adecuada para incrementar la resistencia a la flexión y disminuir la resistividad eléctrica.

Palabras claves: Propiedades mecánicas, resistencia, resistividad eléctrica, fibra de carbono virgen y fibra de carbono reciclada.

ABSTRACT

The present research, "Addition of carbon fibers to increase the mechanical properties and decrease the electrical resistivity of conductive concretes", had as main objective to determine the percentage of carbon fibers to increase the mechanical properties and decrease the electrical resistivity of conductive concretes due to the low temperatures that produce the freezing of structural elements, where the virgin or recycled carbon fiber is characterized by having low density, good mechanical properties, as well as electrically conductive, which makes it an important addition in concrete mixtures.

The research was documentary, bibliographic and descriptive, using a deductive method, descriptive and explanatory type of research, retrolective data collection instrument, descriptive level, experimental, longitudinal, retrospective and cohort design. The results obtained for compressive strength at 28 days were 465 kg/cm², adding 1% of virgin carbon fiber and 546 kg/cm², adding 0.5% of recycled carbon fiber. The flexural strength at 28 days was 117 kg/cm² with the addition of 0.5% virgin carbon fiber, while with the addition of 1.5% recycled carbon fiber, the strength was 76 kg/cm². The electrical resistivity, adding 0.8% of virgin carbon fiber, 0.19.m of electrical resistivity was obtained, while adding 0.9% of recycled carbon fiber, 0.2.m was obtained.

It is concluded that the addition of virgin and recycled carbon fiber in an optimal percentage is a great material in the mixture of conductive concrete, in order to improve its mechanical properties and decrease its electrical resistivity, being that virgin carbon fiber is more effective to increase the compressive strength, while recycled carbon fiber is more suitable to increase the flexural strength and decrease the electrical resistivity.

Keywords: Mechanical properties, strength, electrical resistivity, virgin carbon fiber and recycled carbon fiber.

INTRODUCCION

El hormigón es el material más utilizado en todo el mundo, el cual es usado ampliamente en la construcción de estructuras, como edificios, túneles, puentes, pavimentos, por sus excelentes características de trabajabilidad, economía, facilidad de adquisición y por sus excelentes propiedades mecánicas, por otro lado, esto genera un elevado impacto ambiental que debe ser mitigado desde el diseño del material, su producción y hasta su aplicación en las construcciones. Es por ello que, la aplicación de materiales cementosos reforzados con fibras, sean orgánicas o inorgánicas se ha utilizado en situaciones donde es necesario mejorar la seguridad de la estructura y el ciclo de vida de la misma, reduciendo así los recursos necesarios para el mantenimiento, como en losas de pavimento y revestimientos superficiales con mortero proyectado. Por otro lado, se genera una gran cantidad de residuos durante el proceso de recuperación de la fibra de carbono. Esto ha impulsado, el aprovechamiento de residuos industriales como la fibra de carbono reciclada, se ha convertido en una alternativa atractiva debido a la falta de rellenos sanitarios y al aumento de los costos. Los materiales de cemento reforzado con fibra (hormigón, mortero, lechada) son materiales compuestos cuyas propiedades dependen de la geometría, distribución y volumen de las fibras. Este tipo de material es muy utilizado en la industria de la construcción debido a sus propiedades clave, como la capacidad de absorber esfuerzos a compresión, flexión y propiedades eléctricas. (Belli et al., 2020)

El hormigón conductivo, producido al adicionar la fibra de carbono a la mezcla de hormigón, se ha utilizado recientemente como una alternativa al tradicional deshielo/remoción de nieve. La creciente demanda de CFRP en varias industrias, la acumulación de residuos de CFRP y la necesidad de un desarrollo sostenible en la industria de la construcción han planteado la pregunta de investigación relacionada con el uso de residuos de CFRP reciclados (rCFRP) en mezclas de cemento, sus beneficios y ensayos de resistencia. La adición de fibras de carbono virgen (CF) y recicladas (CFR) a las mezclas a base de cemento mejora las propiedades mecánicas, incrementando la

resistencia a la compresión y flexión y mejora su funcionalidad al mejorar sus propiedades eléctricas, disminuyendo la resistividad del hormigón conductor.

Por lo cual, en este trabajo de investigación, buscamos recopilar información relevante a través de investigaciones científicas, revistas, tesis y artículos, para tener conocimiento del estado actual de la literatura relacionada al tema, con el objetivo de determinar el porcentaje óptimo de fibras de carbono para incrementar las propiedades mecánicas y disminuir la resistividad eléctrica de los hormigones conductores, según estándares nacionales e internacionales de las fuentes consultadas. Evaluando los efectos de la fibra de carbono virgen y reciclada al ser incorporada en la mezcla de hormigón, que son sometidos a ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y ensayo de resistividad eléctrica con 2 y 4 electrodos a los 28 días, y comparar los resultados obtenidos por los distintos autores, con la finalidad de determinar los porcentajes óptimos de fibra para el aumento de las propiedades mecánicas y la disminución de la resistividad en el hormigón conductor.

La presente investigación se desarrolla en cinco capítulos: El capítulo I, presenta el planteamiento del problema, objetivos, delimitación, justificación, importancia, limitaciones y viabilidad de la investigación. El capítulo II, define el marco teórico en dónde se profundiza las definiciones, con el apoyo de múltiples fuentes e investigaciones relacionadas con el tema, podemos dar a conocer con mayor alcance el marco teórico del estudio; El capítulo III, identifica la hipótesis, las variables y sistemas de variables de la investigación; El capítulo IV, precisa la metodología, tipo, nivel, diseño, población y muestra de la investigación. El capítulo V, expone los resultados, interpretación, análisis y la contrastación de los resultados de la investigación. Finalmente, veremos los que es discusión, resultados y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

1.1.1 Problema e importancia

Los climas extremos, con temperaturas muy bajas entre 5°C y -5°C, son las que producen que el hormigón se enfrente a la fase de hielo y deshielo. El proceso de congelación del agua en los poros capilares del hormigón estructural es la principal causa del daño que produce el hielo, por ello, cuando incrementa la temperatura de esta, permite que el hielo se deshiele, lo cual permite que entre en una fase de transición que genera un cambio dimensional, así como de las tensiones internas. Debido a estos cambios físicos y mecánicos que sufre el hormigón se pueden llegar a producir agrietamientos en la superficie, desprendimiento de agregados, lo cual puede generar la pérdida de su capacidad resistente.

El ciclo de congelamiento y descongelamiento es uno de las principales causas que generan el deterioro en los pavimentos de hormigón, lo cual sus efectos son acelerados mediante la adición de sales fundentes.

Existen varios métodos y técnicas usadas para poder quitar la nieve o el hielo en carreteras y/o edificaciones, los cuales causan graves daños en la infraestructura y en las personas. Uno de los más usados son los métodos mecánicos para poder eliminar la nieve, pero estos son muy costosos y no elimina la totalidad de la misma, lo cual genera una película delgada el cual disminuye la fricción que tiene el pavimento con los neumáticos. Existe también el uso de químicos, lo cual este es muy perjudicial para el hormigón armado.

Los materiales a base de carbono, como las fibras de carbono adicionadas en el hormigón, poseen una elevada conductividad térmica, además de eléctrica, un bajo coeficiente de expansión térmico y elevada resistencia a la corrosión. Estas características convierten a las fibras de carbono en candidatas para su adición en materiales compuestos cementicios destinados a aplicaciones térmicas como serían pavimentos con efecto deshielo (Galao et al., 2016).

Un hormigón capaz de incrementar su temperatura de forma controlada, puede desarrollar muchas aplicaciones como la evaporación del agua de lluvia de una pista deportiva, calentar una habitación a través de paredes y/o suelo, derretir el hielo de una carretera o una pista de un aeropuerto sin el uso de sales descongelantes o calentar mobiliario urbano, habilitando su uso durante todo el año y evitando daños debidos a la nieve y el hielo. Además, tienen las ventajas que, al incorporarse en las mezclas de hormigón, este genera mejoras en sus propiedades físicas, mecánicas y eléctricas, teniendo así que, mejora en su rigidez, resistencia a la tracción, disminución del peso, aumento en la resistencia química, tolera temperaturas altas y disminuye la resistividad del hormigón.

1.1.2 Árbol del problema

En este ítem observaremos las causas, problemas y consecuencias que se verán a lo largo de la investigación, tal como se ve en la Figura 1.

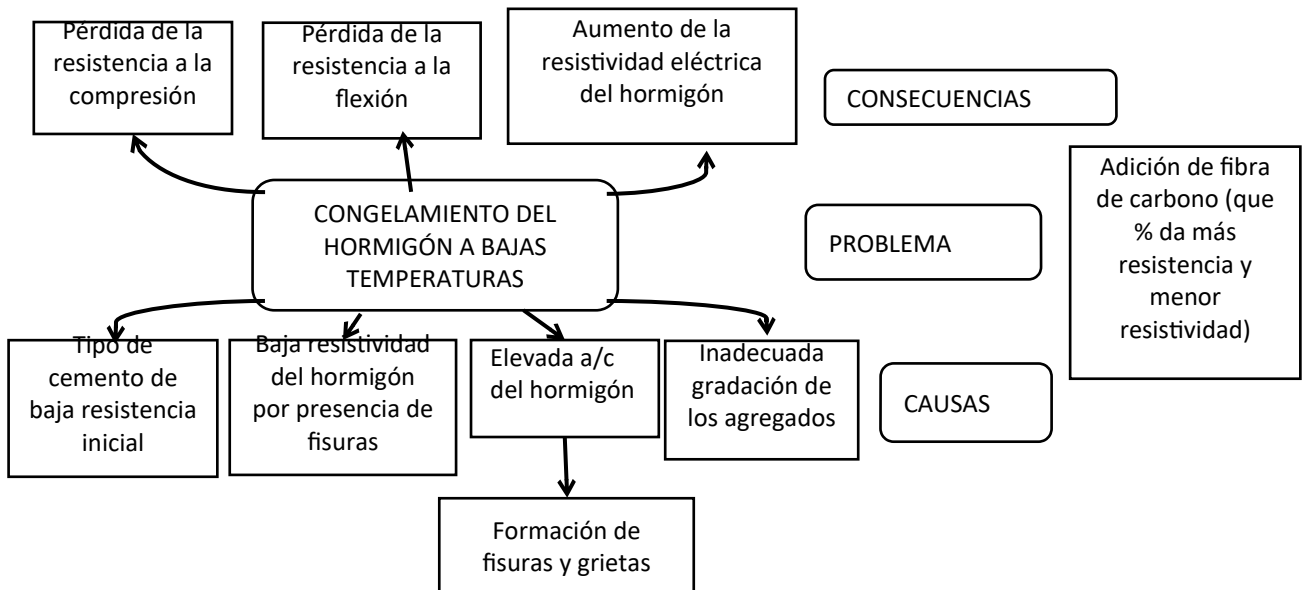


Figura 1. Árbol del problema

Fuente: Elaboración propia

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿De qué manera la adición de fibras de carbono incrementa las propiedades mecánicas y disminuye la resistividad eléctrica de los hormigones conductores?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿De qué manera el porcentaje de fibra de carbono incrementa la resistencia a la compresión del hormigón conductor?
- b) ¿De qué manera el porcentaje de fibra de carbono incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor?
- c) ¿De qué manera el porcentaje de fibra de carbono disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor?
- d) ¿De qué manera el porcentaje fibra de carbono reciclada incrementa la resistencia a la compresión del hormigón conductor?
- e) ¿De qué manera el porcentaje de fibra de carbono reciclada incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor?
- f) ¿De qué manera el porcentaje de fibra de carbono reciclada disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar el porcentaje de fibras de carbono para incrementar las propiedades mecánicas y disminuir la resistividad eléctrica de los hormigones conductores, según estándares nacionales e internacionales de las fuentes consultadas.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón conductor.
- b) Determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón conductor.
- c) Determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono para disminuir la resistividad eléctrica del hormigón conductor.
- d) Determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón conductor.
- e) Determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón conductor.
- f) Determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada para disminuir la resistividad eléctrica del hormigón conductor.

1.4 Delimitación de la investigación

1.4.1 Geográfica

La presente investigación se dirige a climas fríos, con temperaturas entre 5°C a -5°C.

1.4.2 Temporal

La investigación se desarrolló durante el mes de mayo al mes de noviembre del 2022.

1.4.3 Temática

Campo: Adición de fibras para la mezcla del hormigón

Área académica: Adición de fibras

Línea de investigación: Tecnología del hormigón

Sub-línea de investigación: Descripción de las fuentes consultadas y antecedentes de laboratorio.

1.4.4 Muestral

Definido la una unidad de análisis, la delimitación de la información se realiza observando otras investigaciones de diferentes autores que concuerdan con las especificaciones de la investigación propuesta, de acuerdo a las normas E060, UNE ISO 10618:2005, Norma UNE 12390-3 y la UNE 83988-2:2014.

1.1 Justificación del estudio

1.1.1 Conveniencia

En la construcción de carreteras o edificaciones, es importante tener un buen comportamiento del hormigón. En lugares de clima bajo, estas tienen tendencia a congelarse por la misma influencia del frío en estas zonas.

Es por lo cual se busca una fibra que ayude al hormigón a mejorar sus propiedades conductivas. Las fibras de carbono son un tipo de fibra que se utiliza en la mezcla del hormigón el cual ayuda a mejorar las propiedades mecánicas del mismo, así como establece la posibilidad de tener una mejora en la capacidad conductiva del material, ya que tiene propiedades como un bajo coeficiente de transferencia de calor y disminuir la

resistividad del hormigón. Por lo cual el hormigón conductor es muy útil para estas zonas que son propensas a tener una temperatura baja, el cual este hormigón permite tener una temperatura estable y ayudar a descongelar zonas con nieve o hielo.

1.1.2 Relevancia Social

Es importante tener diferentes mejoras en la realización de hormigón para diferentes zonas de trabajo, ya sean cálidas o frías. Es por esto que al agregar fibras de carbono en la mezcla del hormigón ayuda mucho a la población de lugares de zona de extremo frío. Por lo cual, el uso del hormigón conductor es beneficioso para calentar estancias de edificaciones o poder evitar la formación de placas de hielo en infraestructuras viales lo cual permitiría una mejor calidad de vida para la población.

1.1.3 Aplicaciones prácticas

La adición de las fibras de carbono en la mezcla del hormigón, asegura que este mejore sus propiedades mecánicas y disminuya la resistividad del mismo, por lo cual permite que este material sea más conductivo y sea útil para poder ser usado ya sea edificaciones o infraestructuras viales.

1.1.4 Utilidad metodológica

Realizamos la búsqueda de artículos de diferentes investigadores, en las cuales se realizaron ensayos en laboratorios para poder determinar el correcto e importante uso de la fibra de carbono y la fibra de carbono reciclada en el proceso de la mezcla del hormigón y así determinar las variaciones que tiene en sus propiedades mecánicas y la resistividad con respecto al porcentaje óptimo de fibra.

1.1.5 Valor teórico

La presente investigación deja cierta información de recopilación de diversos autores en los cuales se utiliza la fibra de carbono y la fibra de carbono reciclada en la preparación de la mezcla de hormigón, que pueden ser usados para ampliar los estudios en la comparación del porcentaje óptimo de fibra y así observar las propiedades en el comportamiento mecánico y la resistividad del hormigón conductor.

1.2 Importancia del estudio

1.2.1 Nuevos conocimientos

La presente investigación proporciona la comparación acerca del comportamiento de las propiedades mecánicas y la resistividad del hormigón conductivo cuando se utiliza las fibras de carbono en la preparación de la mezcla. Asimismo, nos muestra los diversos cambios que se tienen en la resistencia a la compresión, flexión y la resistividad en los diversos porcentajes de adición de la fibra. Además de dar a conocimiento de otras importantes investigaciones relacionadas al tema.

1.2.2 Aporte

La investigación realizada aporta gráficos comparativos de los porcentajes óptimos de fibra de carbono y fibra de carbono reciclada utilizado en la mezcla del hormigón, así como ver cómo influye en la resistencia a la compresión, flexión y resistividad del hormigón conductor.

1.3 Limitaciones del estudio

1.3.1 Falta de estudios previos de investigación

Al ser una fibra que no está tan difundida en nuestro medio, ha sido importante tener que buscar muchas investigaciones de estándares internacionales, expuestas a diferentes factores como el clima, temperatura, características de esta fibra y características de los hormigones conductores.

1.3.2 Metodológicos o prácticos

No se encontraron diferencias con sus metodologías, pero sí en algunas tomaron variables estadísticas para la corrección de datos.

1.3.3 Medidas para la recolección de los datos

Los diversos datos obtenidos en las investigaciones, consideran una variación en los climas, diversa relación a/c para una mezcla adecuada, así como diferentes porcentajes de fibra utilizada para mejorar las propiedades del hormigón. Por lo anteriormente expuesto, para hacer comparaciones para llegar a diversas conclusiones se debe tener una información apta para

poder visualizar una tendencia en una mejora en las propiedades mecánicas y la resistividad del hormigón.

1.3.4 Obstáculos en la investigación

Para la presente investigación los obstáculos fueron la no suficiente información nacional sobre el tema a realizar, así como, que no es posible la utilización de un laboratorio para la realización de las probetas aplicando los diversos porcentajes de fibra de carbono recicladas, esto debido a la emergencia sanitaria que aún se sigue dando en el mundo por motivo de la pandemia.

1.4 Alcance

La presente investigación realiza el estudio de los resultados de la resistencia a la compresión, flexión y resistividad eléctrica del hormigón cuando se aplica un porcentaje de fibra de carbono o fibra de carbono reciclada en la preparación de la mezcla.

1.5 Viabilidad del estudio

1.5.1 El tiempo

La investigación se desarrolla en el año 2022.

1.5.2 Espacio

La presente investigación se realiza en la ciudad de Lima.

1.5.3 Las condiciones económicas

Al ser una investigación de carácter descriptiva, los costos usados para desarrollarla son solo en el pago del curso de TESIS el cual nos brinda asesores metodológicos y especialistas en la materia, por lo cual no será uso de laboratorios en el desarrollo de la misma.

1.5.4 Las fuentes de información

Para poder encontrar la información necesaria, buscamos artículos, libros y revistas ya sean nacionales e internacionales.

1.5.5 Recolección de los datos

La recolección de la información requerida para la realización de nuestra investigación la ofrece la Universidad Ricardo Palma, teniendo una base de datos académica en la cual se encuentran, *Pro Quest, Knovel, ALICIA*, el repositorio de tesis de la universidad, así como también se encontró información en *Scopus Priew* y en *Google Academic*.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1 Marco histórico

Hablar sobre el hormigón es retroceder hasta la antigua Roma, aproximadamente hace 2000 años. Este material es una mezcla de ceniza volcánica, piedra caliza y agua de mar, que fue llamado en su entonces como "Hormigón Romano", con el cual se pudieron construir caminos, canales y templos de oración, los cuales la mayoría aún existen. Se pudo descubrir que al realizar la mezcla para general este material, se formaba un mineral que se volvía más fuerte con el paso del tiempo, este era llamado tobermorita aluminosa. (Souza, 2019)

Desde esos años, el hormigón se han generado diversos cambios en su composición, el cual tiene como producto base al cemento portland, el cual está originado de una piedra calcárea calentada con una temperatura mayor a los 1000°C. Años después, es Joseph Monier, el que crea el hormigón armado, el cual, unió la resistencia a la compresión que tiene el hormigón con la resistencia a la tracción del acero, para así poder soportar mayores cargas. Es así que, con la unión de cemento, arena gruesa, arena fina y agua, agregando varas de acero con una adecuada colocación, nos permite la construcción de diversas estructuras resistentes desde hace décadas. (Souza, 2019)

Desde la antigüedad, se han ido usando varios tipos de fibras en la mezcla de morteros para poder mejorar la resistencia de los materiales, tales como, las vegetales las cuales se pueden obtener de animales. Actualmente, estas fibras son incorporada a otro tipo de materiales, con el fin de tener una mejora en su desempeño. Por lo cual, existen muchos compuestos fibrosos que está a base del cemento Portland. (Zerbino, 2020)

El hormigón reforzado con fibras, es utilizado en la construcción desde la década de los 70, es utilizado más en losas de pisos industriales, el cual, tiene un uso tradicional y relevante, el cual la adición de estas fibras genera un mejor espaciamiento de las juntas, disminuye los espesores y es sirve como reemplazo de las barras de acero que se usan en el hormigón armado. Esto no solo es importante por su reducción de costo, menor mantenimiento y reparación, sino también para un mejor comportamiento en el piso, así como una mayor vida útil

en servicio, lo cual favorece ampliamente para poder aprovechar los recursos naturales. (Zerbino, 2020)

La fibra de carbono es utilizada en un inicio en el año 1879, el cual fue Thomas Alba Édison quien lo patentó, el cual lo utilizó como un material para poder realizar la bombilla eléctrica. Fue recién en 1958, que Robert Bacon desarrolla una investigación sobre fibras de alto rendimiento, pero fue poco efectivo, ya que generaba una acuñación del 20% del carbono. (Moncayo et al., 2016).

En 1960, en Japón, Akio Shindo de la Agencia de la Ciencia Industrial Avanzada y Tecnología, utilizó por primera vez el poliacrilonitrilo (PAN) y se obtuvo una muestra de fibra de carbono con pureza de 55 %. El proceso se ha mejorado y hoy en día es posible producir hilos con purezas del 95 al 99 % de carbono. (Moncayo et al., 2016, p.60)

Fue en 1963 donde el Ministerio de Defensa del Reino Unido patentó la fibra de carbono tal como se conoce hoy en día, para el uso de sus aeronaves. Es así que, en este país se autoriza la producción de la misma a tres empresas, las cuales son: Rolls-Royce, Morganita y Courtaulds. Estas marcas utilizaron la fibra en la industria aeroespacial, así como en equipamiento deportivo, el cual se ha ido mejorando con el pasar de los años y ha tenido otros usos importantes. En la década de los 70, se descubrió varias alternativas para poder elaborarlas con los derivados del petróleo, lo cual originó un mayor rendimiento, teniendo un 85% de abundancia en fibra de carbono y una gran mejora en su resistencia a la flexión. (Kitfibradecarbono, 2022)

Fue con el tiempo que los costos de estas fibras oscilaban entre los 30 y 58 euros por kilogramo, por lo cual existe una necesidad de desarrollar un mejor modelo económico, el cual se basa en recuperar desechos y reintroducirlas como materias primas. Es por esto que se reciclan las fibras de carbono por diferentes métodos, como el reciclado mecánico, químico y térmico. (López, F. y Rodríguez, O., 2019)

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1 Investigaciones internacionales

López, E. (2015), su investigación se basa en una dispersión en seco de las fibras junto con los materiales sólidos para la fabricación del mortero antes del proceso de amasado ofrece una mejor uniformidad en la matriz. Para corroborar este sistema de elaboración, también se realizaron probetas con una dispersión fluida de las fibras después del proceso de amasado como sistema de referencia. Con todo ello, se procedió a la caracterización de las probetas que tendrán diferentes dosificaciones de fibra para estudiar su influencia y encontrar su máximo rendimiento, mediante la realización de 10 contenidos diferentes de fibra por cada tipo. Los resultados obtenidos en este estudio sirven como base para realizar previsiones más precisas para conseguir un mejor comportamiento del hormigón con fibras de carbono recicladas y para seguir profundizando en su investigación.

Valverde, D. (2019), muestra aspectos relacionados a los hormigones reforzados con fibra de carbono, los cuales presentan una mejora en su conductividad eléctrica con respecto al hormigón convencional. Por lo cual, permite que aparezca una nueva propiedad que es la piezoresistividad, la cual permite modular la variación de la resistividad en el hormigón. Por ello, esta investigación nos muestra ensayos de caracterización mecánica para poder conocer el comportamiento de los hormigones, así mismos también ensayos físicos, para determinar su consistencia, densidad y porosidad. Complementando, realiza un estudio de sus propiedades eléctricas que adquiere el hormigón con las fibras añadidas, por lo cual mide la resistividad que tienen. Teniendo como resultados que las propiedades físicas no se ven influenciadas por el uso de fibras, mientras que consiguen mejores propiedades mecánicas en un 42% en la flexión y 26% en la compresión. Finalmente nos muestra el resultado al calcular la resistividad del hormigón con fibra, lo cual no dan un rango de 1 a 2 Ω -m, lo cual es muy útil el uso de estas fibras para el desarrollo de hormigones multifuncionales.

Faneca, G. (2020), su investigación se centra en la utilización de fibras de carbono recicladas de productos o procesos, adicionadas al hormigón, con el fin de modificar sus propiedades eléctricas y transformarlo de un material aislante a otro con propiedades conductivas. En una primera fase, el estudio se centra en la caracterización de las diferentes propiedades básicas del hormigón, como la capacidad estructural o trabajabilidad en estado fresco, a la que se añade la determinación de las propiedades eléctricas a la vez que se establecen tipologías de ensayo específicos con los que poder evaluar, comparar y analizar el efecto de las diferentes fases presentes en el material en la conductividad eléctrica de todas las combinaciones de dosificaciones propuestas.

Bustos, A. (2018), su investigación tiene como objetivo dar a conocer el comportamiento que tiene la adición de fibras en los morteros de cemento. Por lo cual, utilizan fibras de vidrio, carbono y basalto para poder mejorar las propiedades del hormigón. Por lo cual, evaluaron las cantidades de fibras a utilizar para llegar a tener un porcentaje óptimo que de los mejores resultados. Es por esto que realizó ensayos para determinar las resistencias mecánicas de los hormigones con fibras, para así poder evaluar el comportamiento del material a largo plazo. Teniendo como conclusión, que la adición de fibras tiene una notable mejora en el comportamiento mecánico y que genera un buen comportamiento a largo plazo.

Quiñonez, J. (2016), en su investigación, ya que, el hormigón convencional tiene fallas por corrosión y tiende a deteriorarse, nos plantea reforzarlo con fibras de vidrio y carbono para realizar ensayos mecánicos y así poder ser analizado y evaluado para determinar las mejoras que estos nos dan en la creación de los hormigones, el cual llega a la conclusión de que la fibra de vidrio es la fibra que mejores incrementos en resistencia ofrece.

Bañón, L. (2016), en su investigación, tiene como objetivo principal determinar la función de calefacción en distintos materiales en base de cemento añadiéndole materiales carbonosos. Por lo cual, determina la

caracterización de hormigones conductores multifuncionales para poder utilizados en la prevención de formación de hielo y deshielo en pavimentos. Por lo cual nos dan resultados sobre la resistividad que tiene el hormigón con la adición de fibras de carbono.

2.2.2 Artículos relacionados con el tema

Yang Wang et al., (2019), nos muestran el uso de la fibra de carbono reciclada para mejorar el rendimiento de los materiales cementosos del hormigón, por lo cual utilizaron un 1% de fibra en la mezcla para poder tener mejores resultados, el cual obtuvieron beneficios mecánicos como químicos.

Saccani et al., (2019), nos aportan el uso de la fibra de carbono reciclada en hasta un 5% a diferentes tipos de mezclas con 3 tipos de cementos, el cual se determinaron sus propiedades fisico-químicas el cual nos muestra una resistencia a la flexión superior y con mayor tenacidad.

Belli et al., (2020), nos aportan el uso de tres tipos de fibras multifuncionales, tales como, la de carbono vírgenes, fibra de carbono recicladas y fibras de carbono de acero latonado, en porcentajes de 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.8%, 1.2% y 1.6%, para poder tener resultados sobre la propiedades mecánicas y eléctricas del hormigón, teniendo así que, con el uso de fibra de carbono, incrementa la resistencia a la flexión y compresión.

Wang et al., (2022), nos aportan información sobre la adición de fibras de carbono recicladas en varios porcentajes entre 0.1% y 1%, para poder revisar su influencia en sus propiedades mecánicas y eléctricas, los cuales nos dan resultados de aumento de la resistencia con la influencia de las fibras.

Xiong et al., (2020), nos muestran la viabilidad que tiene el uso de fibras de carbono recicladas y agregado reciclado en la mezcla del hormigón, en porcentajes de 0.5%, 1% y 1.5%, las cuales se realizaron mezclas para determinar su influencia en las resistencias a la compresión y flexión del hormigón, lo cual, nos muestran resultados que tiene una pequeña

influencia en la resistencia a la compresión y presenta una gran mejoría en la resistencia a la flexión.

Segura et al., (2019), nos presentan el análisis que tiene el uso de fibras de carbono recicladas en la resistividad eléctrica del hormigón, los cuales fueron incorporados en una mezcla de hormigón seco, las cuales tuvieron un resultado positivo por los cuales comportado como un material autosensible.

Mastali & Dalvand (2021), su estudio nos muestra los efectos que tienen el uso de fibras de carbono recicladas en porcentajes de 0.25%, 0.75% y 1.25% sobre la resistencia al impacto y las propiedades mecánicas de un hormigón autocompactante, las cuales están la resistencia a la compresión y flexión, los cuales nos dan resultados muy favorables.

Ghanem & Bowling (2019), nos aportan el uso de fibras de carbono para poder mejorar las propiedades del hormigón, las cuales fueron añadidas a la mezcla con porcentajes de 0.5%, 1%, 1.5% y 2%, teniendo resultados como por ejemplo que, se ve un aumento de la resistencia a la compresión con el contenido de fibra hasta un cierto porcentaje, luego de eso, deja de ser beneficioso, así como también se encontró un aumento lineal en la resistencia a la flexión.

Ullah et al., (2021), no muestran la incorporación de fibras de carbono a base de brea en un hormigón autocompactante que es conductor de electricidad, para poder impartir propiedades inteligentes de la fibra en el hormigón, para formar así un hormigón autodetectable, por lo cual se buscó determinar cómo influyó en sus propiedades mecánicas y eléctricas, teniendo como resultados que estas fibras mejoran las resistencias a la compresión y flexión y disminuye su resistividad eléctrica.

De Jia et al., (2018), nos aportan el uso de fibra de carbono en la mezcla del hormigón, ya que actualmente existen pocas investigaciones de este tipo, es por ello que, investigaron los efectos que puede generar diferentes cantidades de fibra en su resistencia a la compresión, lo cual

no dan resultados de que influye positivamente hasta un cierto punto y incrementa también con el tiempo de curado.

Maleki et al., (2017), en su investigación nos aportan la fabricación de una losa de hormigón conductora de electricidad usando fibras de carbono en su mezcla, para poder evaluar el potencial que tiene para poder descongelar las losas y poder ver la influencia que tiene en sus propiedades mecánicas, lo cual tiene una influencia positiva en la resistencia a la compresión y flexión del hormigón.

Wang et al., (2019), nos aportan información sobre el uso del método de 4 electrodos para poder determinar la conductividad y resistencia eléctrica de los hormigones en la cual se utilizó fibra de carbono y nano fibras de carbono en su matriz, los cuales les resulta muy efectiva al momento de disminuir la resistividad eléctrica del hormigón, que es uno de los objetivos de la presente investigación.

Tian et al., (2021), nos aportan información del uso de fibras de carbono en porcentajes de 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% y 1.25%, en la mezcla del hormigón para poder determinar la influencia que tiene en sus propiedades eléctricas, en este caso en la resistividad eléctrica del hormigón, el cual tienen un resultado muy favorable, ya que la resistividad eléctrica va disminuyendo con el uso de estas fibras.

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1 Hormigón

El hormigón tal como se encuentra en la Figura 2, es una mezcla de cemento, piedra, arena y agua. Este compuesto es utilizado en la construcción y por lo cual se observa en grandes obras de ingeniería, como estadios, puentes o viviendas, entre muchas otras grandes y pequeñas edificaciones. Actualmente, el hormigón es uno de los elementos más usados en el mundo, ya que, ofrece mejores rendimientos debido a su maleabilidad y secado rápido. (Chryso, 2022)



Figura 2. Mezcla de hormigón

Fuente: Pavex (2022)

El cemento y el agua reaccionan entre sí unificando las partículas de los agregados y se constituye una mezcla heterogénea, en algunas ocasiones se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, estos, le permiten mejorar o modificar sus propiedades, como su trabajabilidad u otras características al momento de realizar la mezcla. Según las proporciones de sus componentes, este varia, por lo cual, si los agregados son de menor tamaño, el hormigón será más fino, mientras que, si son más grandes, se obtendrá una mezcla más tosca, el cual es utilizado para cimentaciones. (Bricomania, 2022)

2.3.2 Componentes del hormigón

i. Cemento Portland

El cemento portland es un elemento inorgánico molido que, al unirse con el agua, forma una pasta, que se endurece con el paso del tiempo y conserva su resistencia y estabilidad, al adicionarse los agregados finos y gruesos, actúa como adherente y los une con el hormigón. Los hormigones hechos a base de cemento portland cuentan con alta durabilidad y resistencia.

La norma ASTM-C-219, define como cemento Portland al material hidráulico producto de la pulverización de clinker, el cual consiste de al menos dos tercios en masa de silicatos de Calcio $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ y $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, el resto contiene óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3). Usualmente contiene una o más formas mineralógicas del sulfato de calcio como adición en la moltura. En algunas pastas de cemento, el endurecimiento toma lugar únicamente

en contacto con el aire y está asociado con una pérdida del agua libre y/o con una reacción con el CO₂ presente en el aire. Tales aglutinantes se conocen como no-hidráulicos, contrariamente a los cementantes hidráulicos en donde el proceso de endurecimiento puede también llevarse a cabo bajo el agua, y está asociado a un proceso de hidratación. (Castillo, 2015)

a. Tipos de cemento

Cemento Tipo I: Uso general

Apto para todas las aplicaciones que no requieran las propiedades específicas de otros cementos. Sus usos en hormigón incluyen pavimentos, pisos, puentes, embalses, tanques, tuberías, mampostería y productos prefabricados de hormigón, entre otros. (CEMEX, 2020)

Cemento Tipo II: Moderada resistencia a sulfatos y al calor de hidratación

Útil para estructuras normales y áreas expuestas a aguas subterráneas donde hay altas concentraciones de sulfato y calor de hidratación por encima de lo normal. Posee una baja relación agua-cemento y baja permeabilidad. (CEMEX, 2020)

Cemento Tipo III: Altas resistencias iniciales

Su resistencia inicial es alta, es parecido al tipo I, aunque tiene partículas más finas, por lo que es usado para poder remover encofrados en construcciones que serán útiles en poco tiempo. (CEMEX, 2020)

Cemento Tipo IV: Para lograr bajo calor de hidratación

Es útil para donde se va realizar un vaciado de grandes cantidades de hormigón ya que, cuando fragua produce un bajo calor de hidratación, tales como las presas por gravedad. (Aceros Arequipa, 2018)

Cemento Tipo V: Alta resistencia a sulfatos

Muy útil para cuando el hormigón está en contacto con agua y ambientes salinos, tiene buena resistencia a las sales. Es útil para estructuras como: canales, alcantarillas, obras portuarias piscinas o acueductos. (Aceros Arequipa, 2018)

Tabla 1
Composición típica calculada de los diferentes cementos Portland

Tipos de Cemento	Composición (%)				
	Portland	C2S	C3S	C3A	C4AF
Tipo I		24	50	11	8
Tipo II		33	42	5	13
Tipo III		13	60	12	8
Tipo IV		50	26	5	12
Tipo V		40	40	4	9

Fuente: Portland Cement Association (1978)

ii. Agregados

Es el conjunto de partículas inorgánicas, sea natural o artificial, donde su tamaño está fijado por la norma NTP 400.011. Son la fase discontinua del hormigón y conforman entre el 62% y el 78% del volumen total del hormigón. (Rivva, 2010)

a. Agregado grueso

El agregado grueso es aquel material proveniente de la desintegración natural o artificial, retenida en el tamiz 4,75 mm (No 4) y que cumple con los límites establecidos en la Norma N.T.P. 400.012 o ASTM C 33. El agregado grueso puede ser piedra chancada, grava, etc. (Caycho, 2019)

b. Agregado Fino

Es el que se forma al desintegrarse las rocas que pasan por el tamiz 9.4mm (3/8”) y cumple con los límites establecidos en las Normas NTP 400.037 o ASTM C 33. Puede ser arena natural o

manufacturada, con partículas limpias, sin polvo. (Caycho, 2019)

iii. Agua

Se denomina agua de mezclado a la cantidad total de agua contenida en la mezcla de hormigón fresco. La cual se utiliza para el cálculo de la relación agua-cemento (a/c) y está compuesta por la humedad superficial de los agregados y el agua agregada a la mezcla. Para la producción de hormigón se debe satisfacer los requisitos de la norma NTP 339.088, y ASTM C 109M. Considerándose como referente principal, la idoneidad del agua potable. (García, 2017)

2.3.3 Hormigón conductor

Es un material cementante que añade fibras de carbono en su mezcla, lo cual lo convierte en un buen conductor de la electricidad lo que le permite tener una nueva característica aparte de su función estructural.

Para la obtención de un hormigón conductor, se incorporan en la mezcla de hormigón, materiales conductivos que pueden ser partículas o fibras de distintas características, que pueden afectar de forma positiva otras propiedades del hormigón. Así, en el caso de la adición de fibras, es posible mejorar las propiedades de ductilidad y absorción de energía del hormigón. (Faneca, 2020, p. 10)

De las diferentes fibras que se pueden incorporar, las fibras de carbono, permiten obtener un tipo de hormigón diseñado para soportar la electricidad suficiente o ser lo suficientemente caliente para poder derretir nieve y el hielo que se instalan en la superficie en zonas con temperaturas extremas tal como se muestra en la Figura 3. Por lo cual, su creador añade partículas de carbono a la mezcla habitual, suficiente cantidad para convertir al hormigón en un elemento conductor de electricidad. Además, tiene una seguridad al momento de realizarlo ya que este puede ser manipulado de forma segura sin generar algún tipo de daño. (Grupo LauraOtero, 2022)



Figura 3. Hormigón conductor aplicado en una carretera

Fuente: Tuan (2016)

Las propiedades eléctricas que tiene este tipo de hormigón se consiguen gracias a la adición de materiales carbonosos, como las fibras de carbono o nanotubos de carbón. Tienen una relación importante con la conductividad eléctrica ya que es muy importante su uso para la realización de diversas obras estructurales de pequeña y gran envergadura ya que tiene buenas características tales como, deshielo, calentamiento de edificios, disipación de carga eléctrica, generación de energías termoeléctricas y otras. (Dica.es, 2012)

2.3.4 Hormigón reforzado con fibras

El hormigón reforzado con fibras surge al tener que lidiar dos problemas, el primero es que no puede soportar la tensión, por lo cual es necesario tener que reforzarlo con acero, teniendo utilizar una gran cantidad de mezcla para poder protegerlos de la humedad y la corrosión, esto genera una cantidad mayor de materiales. El segundo problema es que justamente al utilizar más material, esto genera un aumento en su producción. Es por esto que se usan fibras para solucionar estos problemas, ya que al utilizar estos, se mejora la resistencia que tiene el hormigón y al utilizar menos material, mejoran los costos de producción. (TexDelta, 2022)

Este tipo de hormigón tiene como objetivo unir las fisuras que se producen en la estructura. Esto genera un incremento en su tenacidad, mejorando la absorción de energía durante la deformación plástica sin producirse fractura alguna, para así poder generar un hormigón que sea capaz de soportar acciones dinámicas o prevenir la fisuración. (López, 2015)

a. Características del hormigón con fibras

El uso de fibras para la mezcla del hormigón, cambian las proporciones las características del a estructura, lo cual genera mejor resistencia en pequeñas o grandes porcentajes, por lo cual estas tienen las siguientes características:

– Resistente:

Es más resistente frente a las fuerzas en tracción y exposición a diferentes temperaturas, así mismo aporta una mejor compresión ya que las tensiones van dirigidas a las fibras de refuerzo. (Galistar, 2022)

– Control de fisuras:

Al tener nuevos elementos en su composición, lo que se busca es asegurar una conservación de su forma original, evitando así las deformaciones que malogran su armado.

– Bajo costo:

Como se utiliza diversos materiales de fibras en la mezcla del hormigón, esto nos permite tener una inversión mínima para poder reforzar estructuras y así incrementa su posibilidad de bombeo y distención. (Galistar, 2022)

b. Tipos de fibras

Existen diferentes tipos de fibras en el uso de la mezcla de hormigón, las cuales están disponibles en diferentes tamaños y formas. Estos tienen factores importantes que afectan las características del hormigón, que son la relación agua/cemento, el porcentaje de fibras, el diámetro y la longitud de fibras. Estas fibras existentes son:

– Fibra de acero:

Esta fibra incrementa en gran medida la resistencia al agrietamiento, el impacto, la fatiga, la flexión y otros. (Ingegeek.site, 2021)

– Fibra de polipropileno:

Es una fibra sintética que se utiliza para controlar el agrietamiento debido a contracción plástica, reducir la permeabilidad y es buen aislante térmico. (Ingegeek.site, 2021)

- Fibra de carbono:
Son fibras entre 5 a 10 micrómetros, que tienen como ventajas una alta rigidez, resistencia a la tracción, bajos peso, alta resistencia química, tolerancia a altas temperaturas y excelentes características conductoras. (Ingegeek.site, 2021)
- Fibra de vidrio:
Es más barato que la fibra de carbono y se utiliza para reforzar productos poliméricos. Contiene poco o nada de aire o gas y es un buen aislante térmico. (Ingegeek.site, 2021)
- Fibras naturales:
Se obtienen de una fuente animal, vegetal o mineral y son los más abundantes. Mejoran la resistencia y la durabilidad del hormigón. (Ingegeek.site, 2021)
El comportamiento y las propiedades de estas fibras que pueden ofrecer a la mezcla de hormigón no solo depende del volumen aportado, sino también de las características de estas mismas. Es por eso que en la Tabla 2, se muestra el resumen de las principales características de algunas fibras existentes en el mercado.

Tabla 2
Características de las fibras existentes en el mercado

Tipo de fibra	Resistencia a tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Gpa)	Densidad (kg/m³)	Alargamiento de rotura (%)
Acero	500-3000	210	7800	3.5
Acero inoxidable	2100	160	7860	3
Vidrio	2000	60	2700	3.6
Carbono	3000	200-500	1900	0.5
Nylon	900	4	1100	13.0-15.0
Polipropileno	400-800	5-25	900	8.0-20.0
Poliéster	700-900	8.2	1400	11.0-13.0
Hormigón	5-8	30	2300	-

Fuente: Elaboración Propia

2.3.5 **Fibra de carbono**

La fibra de carbono es una aleación más ligera que el acero, que posee la misma resistencia, pero es invulnerable a la corrosión, puede adoptar diversas formas y se adapta a las necesidades de diversos sectores. Esta está incluida en el grupo de materiales compuestos, ya que está hecha a partir de dos o más componentes, que uniéndose forman uno nuevo con mejores propiedades y cualidades. Para la fibra de carbono, se unen elementos como tejidos de hilos de carbono, el cual le genera flexibilidad y resistencia, junto con una resina termoestable de tipo epoxi, el cual permite que las fibras se unan y finalmente un agente de curado que lo ayuda a convertir la resina en un plástico duro. Por lo cual, la combinación de las propiedades de estos materiales permite obtener las nuevas propiedades mecánicas de la fibra de carbono. (Llano, 2009)

Fue desarrollado recientemente en el campo de los materiales compuestos, partiendo de la idea de combinar fibras sintéticas y diversas resinas, para obtener un material de baja densidad, muy resistente y duradero. Es aplicada en estructuras sometidas a cargas repetitivas o fatiga ya que es el único material conocido cuyas propiedades mecánicas apenas son sensibles a la aplicación de una carga cíclica. (Bolufer, 2007)

Moncayo, M. et al. (2016), mencionan que la composición atómica de la fibra de carbono es cercana al grafito. En el grafito los microfilamentos o placas de carbono se colocan ordenadamente unas sobre otras y se entrelazan con fuerzas débiles, por lo que el grafito es blando y muchas veces transparente. En el caso de la fibra de carbono, miles de microfilamentos se apilan de manera desordenada y densa, lo que le da gran resistencia al material.

Las principales ventajas de esa fibra son:

- Elevada resistencia mecánica
- Mayor resistencia al fuego.
- Resistencia a la tracción 10 veces mayor que la del acero.
- Baja densidad (170 kg/m³).

- Resistente a factores externos.
 - Gran capacidad de aislamiento térmico.
 - Resistencia a cambios de temperatura.
- **Obtención de la fibra de carbono**

La fibra de carbono es una fibra sintética conformada por filamentos muy finos de carbono, un polímero de compuesto de grafito. El grafito es una forma de carbono puro. En el grafito los átomos de carbono están dispuestos en grandes láminas de anillos aromáticos hexagonales tal como se muestra en a Figura 4, a través de un complicado proceso de calentamiento. Cuando se calienta el poliacrilonitrilo, el calor hace que las unidades repetitivas cuando formen anillos como en la Figura 4. (Rocha, 2014, p. 9)

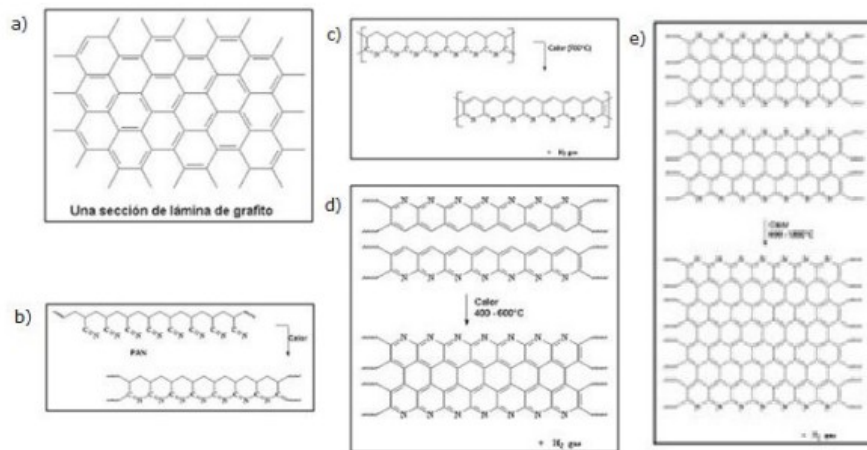


Figura 4. Composición química de la fibra de carbono

Fuente: Rocha (2014)

El método más común para obtener estas fibras se basa en calentar los filamentos del PAN lo cual rompe los enlaces de hidrógeno y oxida la materia, colocando el resultado en un horno con un gas como el argón, lo que permite la unión de cadenas formando láminas de grafito que con el pasar del tiempo se unen para formar un solo compuesto. El resultado obtenido es 93-95% de carbono, el cual según la temperatura al cual ha sido calentado, puede variar sus propiedades. (Mariano, 2011)

- **Propiedades de la fibra de carbono**

Esta fibra tiene un valor tanto estructural como funcional, ya que, tiene buenas propiedades mecánicas y electromagnéticas destacables.

Propiedades mecánicas:

Las fibras de carbono es un material flexible, lo cual es fácil de manipularse y transformarse. Es por ello que, estas fibras tienen un módulo de Young elevado lo cual le permite ser un material con elevada resistencia y tener baja densidad (1.6 kg/dm³) tal como lo indica la Tabla 3, lo que implica que sus propiedades por unidad de peso sean muy elevadas. Es bueno para cargar repetitivas, ya que tiene un desgaste muy bajo, así mismo son resistentes a la fractura y no susceptibles a la fatiga, ya que, son elásticas a condiciones normales de temperatura. Es un material diez veces más resistente que el acero y tienen excelentes características de amortiguamiento acústico. (Alcaide, J., 2007)

Tabla 3
Propiedades de la fibra de carbono

Propiedades	Valor
Diámetro (µm)	7±0.21
Densidad (g/cm ³)	1.6
Resistencia a tracción (Mpa)	3000-4127
Módulo de elasticidad (Gpa)	220-240
Conductividad eléctrica (S-cm ⁻¹)	100-1000
Conductividad térmica (W/(m-K))	21-500

Fuente: Chen et al. (2004)

Propiedades eléctricas y térmicas

Las fibras de carbono tienen una elevada conductividad eléctrica y térmica, esto debido a los electrones π deslocalizados. Por lo cual, mientras mayor sea la temperatura de tratamiento, menor resistividad tendrá la fibra de carbón, esto debido al mayor ordenamiento que tienen las láminas gráficas en temperaturas altas. Es por esto que la conductividad eléctrica en las fibras de carbono es más elevada que la de otros metales, es hasta incluso 3 veces superior a la del cobre, por lo cual son materiales adecuados para lugares donde es requerido una rápida disipación del calor. (Alcaide, J., 2007)

2.3.6 Fibra de carbono reciclada

La utilización de la fibra de carbono es útil únicamente en aplicaciones de grandes exigencias mecánicas y donde el precio no sea un factor muy determinante. Por lo cual, se buscó una alternativa adecuada para no generar altos costos en los materiales, el cual procede del reciclaje de componentes aeronáuticos que los convierte en fibra de carbono reciclada que puede ser utilizada como aditivo para nuevos materiales, el cual es usado en la mezcla del hormigón mejorando así sus propiedades mecánicas y eléctricas. (López, E., 2015)

La alta demanda de fibra de carbono tiene una gran desventaja, ya que la vida útil de los polímeros reforzados con fibras de carbono es de 30 años y mientras estos elementos llegan al final de su vida, va a incrementar dramáticamente la cantidad de desechos de fibra de carbono que se producirán en los próximos años, generando preocupación respecto a la cantidad de desechos de fibra de carbono (FCR) que tendrán que ser recicladas y reutilizadas en otros propósitos. (Grzanka, 2014)

Una importante desventaja de la fibra de carbono virgen es su fabricación, ya que es un proceso costoso, que utiliza de forma intensiva energías perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente a través de la emisión de subproductos peligrosos. (Grzanka, 2014)

Por el contrario, la energía incorporada de la fibra de carbono reciclada es mucho menor que la del proceso de fabricación de fibra de carbono virgen, aunque esto variará según el método de reciclaje. Queda claro que, la energía necesaria junto con los impactos económicos y ambientales son factores que están impulsando la investigación para desarrollar soluciones y aplicaciones de reciclaje nuevas y mejoradas para la fibra de carbono y el hormigón reforzado con fibras de carbono. (Pakdel, 2020)

– Obtención de las fibras de carbono recicladas

El proceso de reciclado de las fibras de carbono se revisará según como lo realizan en la investigación realizada por los autores Elizetxea y Gaztelumendi (2007), el cual tienen como objetivo principal tres técnicas de reciclaje de desechos para obtener fibra de

carbono reciclada, así como revisar las posibilidades que tiene su reutilización como un material de refuerzo en nuevas aplicaciones.

Consideraron 3 técnicas:

- **Proceso químico de digestión de resina:**
Es una técnica analítica realizada según normativa ASTM D3171, que consiste en una digestión mediante ácido cítrico al 65% en ebullición, lo cual recupera la fibra de carbono. Posteriormente esta es lavada con acetona, para luego secarse y poder ser utilizada.
- **Proceso térmico de pirólisis en atmósfera inerte:**
Se realiza un análisis termogravimétrico con una balanza Setaram, para así poder obtener una temperatura optima con la cual la resina se piroliza y queda la fibra. Luego de haberse realizado la pirolisis, se realiza la separación de residuos carbonoso de la resina mediante procesos mecánicos.
- **Proceso de recuperación energético:**
En esta técnica se realiza la combustión completa del compuesto, el cual mide el poder calorífico obtenido, para así poder valorar la toxicidad de los humos y los residuos de combustión.
El cual llegaron a la conclusión de que la técnica de pirólisis sería la más adecuada medioambientalmente hablando.

– **Propiedades de las fibras de carbono recicladas**

Las fibras de carbono recicladas se degradan durante el reciclado debido a las altas temperaturas a las que se le someten lo cual debilita sus propiedades tal como se ve en la Tabla 4, sin embargo, estas conservan en gran medida sus propiedades mecánicas y eléctricas. Es recomendable bajo el punto de vista económico. (ELGcf, 2016)

Tabla 4

Propiedades mecánicas de la fibra de carbono reciclada

Propiedades	Valor
Diámetro (µm)	7.5
Densidad (g/cm ³)	1.8
Resistencia a tracción (Mpa)	3150
Módulo de elasticidad (Gpa)	200
Conductividad eléctrica (S-cm ⁻¹)	100-1000
Conductividad térmica (W/(m-K))	21-150

Fuente: Chen et al. (2004)

2.3.7 Hormigón reforzado con fibras de carbono

El hormigón reforzado con fibras de carbono, consiste en adicionar a la mezcla cementicia o al hormigón fibras de alta resistencia, las cuales quedarán embebidas en el hormigón tal como se ve en la Figura 5, de tal forma que se conserve su integridad física e identidades químicas, la fibra de carbono actúa como el elemento que soportará las cargas, mientras que la matriz del polímero estabiliza la orientación y aporta protección a factores ambientales. (Mallick, 2008)

En las últimas décadas, la aplicación de compuestos de fibra de carbono para reforzar estructuras se ha convertido en una alternativa común de refuerzo, y sus propiedades son superiores debido a su excelente resistencia mecánica y a la corrosión. Además de los ahorros obtenidos en el proceso de reforzamiento, así como las características de ligereza y velocidad también son importantes. (Gómez, 2003)



Figura 5. Fibras de carbono en hormigón

Fuente: DeHormigon.com (2022)

El hormigón reforzado con fibras de carbono es un compuesto liviano, fuerte y de gran durabilidad, que a su vez exhibe una mayor resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, ductilidad y resistencia al hielo-deshielo del hormigón. La contracción por secado se ve también reducida por la adición de fibras. Las fibras utilizadas pueden ser de filamentos largos o cortos, cortados, molidas, tejidas y no tejidas; las fibras cortas de carbono de aproximadamente 5mm de longitud se utilizan con mayor frecuencia que las fibras continuas debido a que estas pueden ser incorporadas con mayor facilidad y eficiencia directamente a la mezcla de hormigón fresco, y además tienen un menor costo. Sin embargo, las fibras continuas de presentan una ventaja, proporcionando mejor adherencia con la matriz de cemento, lo cual es indispensable al determinar el rendimiento. (Masqueingenieria, 2020)

2.3.8 Propiedades mecánicas del hormigón

Las propiedades del hormigón están en estado plástico y en estado endurecido por el cual depende de las característica y propiedades de agregados, en el cual ayuda a la forma y textura del hormigón, peso específico, capacidad de absorción, análisis granulométrico, masas unitarias, contenido de agregado finos y sustancias perjudiciales. (Ayacila, 2020)

Las propiedades del hormigón son:

i) Resistencia a la compresión

Esta propiedad del hormigón se puede determinar en una muestra cilíndrica estándar con un diámetro de 15 cm y una altura de 30 cm, que duran unos pocos minutos, tal como se ve en la Figura 6. Esta resistencia se la mide luego de 28 días de fraguado bajo condiciones controladas de humedad. (Abril, 2016)

Los cilindros sometidos a ensayo de aceptación y control de calidad se fabrican y curan siguiendo los procedimientos descritos en probetas con curado estándar de acuerdo con la norma ASTM C31 Práctica Estándar para Elaborar y Curar Probetas de Ensayo de Hormigón en Campo/ NTP 339.033. Las probetas cilíndricas tal como se muestra en

la Figura 6, se someten a ensayo de acuerdo con la ASTM C39, Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Hormigón / NTP 339.034. (Cemex, 2019)

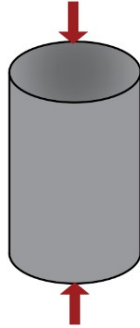


Figura 6. Probeta de hormigón sometido a ensayo de compresión axial
Fuente: Elaboración Propia

ii) Módulo de elasticidad

Para la determinación del valor de Módulo de Elasticidad Estático del hormigón se establece una fórmula propuesta en el Capítulo 1 y 2 de la norma NEC-11, el módulo de elasticidad del hormigón E_c (GPa), será calculado con la ecuación (1- 16) y (1-15) respectivamente, además se puede establecer por medio de ensayos a una probeta de compresión y deformación, también puede ser determinado mediante el Código ACI 318 y ACI 363. (Sánchez, 2013).

iii) Resistencia a la tracción

El hormigón posee muy baja resistencia a la tracción y por lo tanto esta propiedad no se tiene en cuenta en el diseño de estructuras normales. Sin embargo, la tensión tiene importancia en el agrietamiento del hormigón debido a la restricción de la contracción inducida por el secado o por la disminución de temperatura. Normalmente, hay una relación directa entre la resistencia a la tracción y la compresión. Si la resistencia a la compresión disminuye la resistencia a la tracción también disminuirá. Sin embargo, es posible esperar una mejora en la resistencia a la tracción cuando la adherencia entre el agregado y la pasta se ve favorecida. (Masías, 2018)

iv) Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión se considera una medida indirecta de la resistencia a la tracción del hormigón. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de hormigón no reforzada tal como se ve en la Figura 7. La resistencia a la flexión es un factor determinante de la calidad del hormigón para pavimentos, por el paso de vehículos y por la diferencia de temperatura un lado a otro de la losa. (Masías, 2018)

El módulo de rotura es aproximadamente del 10% al 20% de la resistencia a la compresión, dependiendo del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para materiales específicos se obtiene mediante pruebas de laboratorio de los materiales utilizados y el diseño de la mezcla. El módulo de rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es menor que el determinado por la viga de carga en el punto medio, en ocasiones hasta en un 15 %. (NRMCA, 2016).

El ACI y La Norma Peruana E.060, definen el módulo de Rotura del hormigón mediante la ecuación (1). La Norma E.060 utiliza esta ecuación para el cálculo de deflexiones en elementos de hormigón armado. Sin embargo, para elementos de hormigón simple sometidos a flexión. La E.060 especifica el valor dado por la ecuación (2).

$$f_r \approx 2f_r \sqrt{f_c} \left(\frac{kg}{ccm^2} \right) \dots (1)$$

$$f_r \approx 1.33 \sqrt{f_c} \left(\frac{kg}{ccm^2} \right) \dots (2)$$

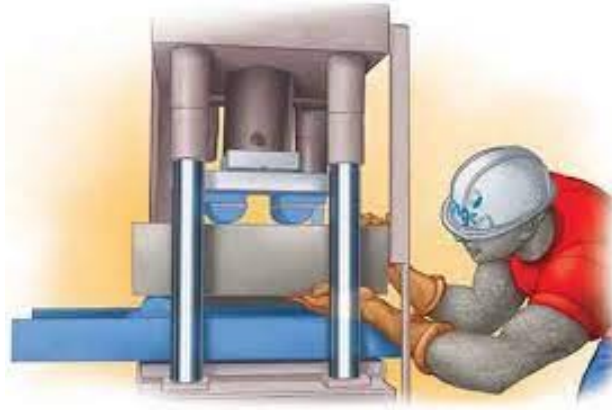


Figura 7. Determinación de la resistencia a flexión del hormigón
Fuente: Imcyc (2008)

2.3.9 Resistividad eléctrica del hormigón

“La resistividad eléctrica (ρ) es la propiedad del material que informa sobre la resistencia al paso de los electrones a través de la matriz porosa del material, indicando de forma indirecta la conductividad eléctrica que presenta. Cuando se hace pasar una corriente eléctrica por el interior del hormigón, ésta es conducida por los iones disueltos en la red de poros interconectada” (Maroñas, 2019).

La Ley de Ohm indica que la resistividad eléctrica es una propiedad recíproca de la conductividad, es una propiedad volumétrica que poseen los materiales que indica su resistencia al paso de las cargas eléctricas y se representa por la siguiente ecuación 3. (Torres et al., 2019)

$$R = V I = \rho l A \dots (3)$$

Donde R es la resistencia eléctrica que se mide aplicando un voltaje V y midiendo el paso de corriente I. Esa relación es igual a la resistividad por el factor geométrico l/A , es decir, por la l =distancia entre los electrodos y A =área transversal del paso de corriente. (Torres et al., 2019)

El hormigón es un material heterogéneo y poroso, por tal motivo la resistividad se puede ver afectada por distintos factores como el tipo de cemento, la relación agua/cemento, el nivel de hidratación que cuente la pasta, la red conductora establecida y la saturación de los poros, entre otras. (Maroñas, 2019)

El hormigón simple, es de por si mal conductor de electricidad y con una pobre resistividad eléctrica. La fibra de carbono corta es un material de baja densidad, módulo elástico alto y baja resistividad eléctrica, que no solo mejora las propiedades mecánicas del hormigón, sino que también disminuye la resistividad, incrementando la conductividad.

Otros investigadores, han determinado que las fibras de carbono cortas adicionadas al hormigón, no solo mejoran las propiedades mecánicas del hormigón, sino también la conductividad eléctrica del mismo. Otros investigadores han mostrado que el hormigón reforzado con fibras de carbono, alterando la composición de la fibra de carbono cuando está dañada, resultando en el aumento de la resistividad eléctrica del hormigón, y el daño en el hormigón puede ser monitoreado por el cambio producido en la resistividad. Además, se ha descubierto que hay cambios en la resistencia que se encuentra relacionada con la deformación y se pudo determinar la relación entre la resistencia eléctrica y la deformación para la detección de posibles daños a la estructura del hormigón. (Tengjiao et al., 2019)

Tabla 5
Condición de la corrosión de acuerdo al potencial eléctrico

Resistividad (Ohm.cm)	Riesgo de Corrosión
>20 000	Despreciable
10000 a 20000	Bajo
5000 a 10000	Alta
Menos de 5000	Muy Alto

Fuente: Browne, R. (1992)

2.4 Normas que apoyan la investigación

2.4.1 Norma UNE

Feim (2022) afirma que: “Una norma UNE es una especificación técnica de aplicación repetitiva o continuada cuya observancia no es obligatoria, establecida con participación de todas las partes interesadas, que aprueba AENOR, organismo reconocido a nivel nacional e internacional por su actividad normativa”.

- a. Fibras de carbono. Determinación de las propiedades en tracción de hilos impregnados de resina. (Norma UNE ISO 10618:2005)

Esta norma internacional nos comenta sobre un ensayo para poder determinar la resistencia a la tracción, del módulo de elasticidad en tracción y de la deformación bajo carga máxima de una probeta de hilo impregnado de resina. El método es aplicable a hilos de fibra de carbono utilizados como refuerzo de materiales compuestos. (UNE, 2005)

- b. Métodos de ensayo de la resistividad eléctrica. Parte2: Método de las cuatro puntas o de Wenner. (Norma UNE 83988-2:2014)

Esta norma tiene como objetivo dar a conocer un método aplicado para poder determinar la resistividad eléctrica en probetas de hormigón, el cual se basa en el uso de 4 puntas en su ensayo. (UNE, 2014)

- c. Determinación de la resistencia a compresión de probetas (Norma UNE 12390-3)

Esta norma especifica un método para la determinación de la resistencia a compresión de probetas de ensayo de hormigón endurecido. (UNE, 2020)

2.4.2 Norma Técnica Peruana (NTP)

Son documentos que definen las características de calidad de los productos, procesos y servicios. También hay NTP sobre terminología, métodos de prueba, muestreo, empaque y etiquetado que se complementan entre sí. Su solicitud es voluntaria. (Minagri, 2015)

- a. Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión. (NTP 339.034)

Método de ensayo estándar para poder determinar la resistencia a la compresión del hormigón en muestras cilíndricas. Esta Norma Técnica Peruana está basada en la norma ASTM C39/C 39M:2015

Estándar test method for compressive strength of cylindrical concrete. (NTP, 2015)

2.5 Definición de términos básico

Fibra de carbono:

Es un material el cual su formación está basado en fibras de 50 a 10 micras de diámetro, el cual se compone principalmente por átomos de carbono, los cuales están unidos entre sí, alineados al eje longitudinal de las fibras. (CarboSystem, 2022)

Fibra de carbono reciclado:

Es un material formado por el reciclaje de materiales recuperados de partes automotriz, el cual pasa por diferentes métodos de reciclados para poder obtener cierta cantidad de fibra de carbono para ser utilizado en diversas aplicaciones.

Hormigón conductor:

Es un tipo de hormigón con buenas propiedades eléctricas las cuales permite conducir un calor para poder ser usado en zonas de temperaturas extremas en frio, para poder descongelar hielo o liberar nieve ya sea en pavimentos o edificaciones.

Resistencia del hormigón:

Es la principal propiedad mecánica que tiene el hormigón y es definida como la capacidad de carga por unidad de área y esta expresada en términos de esfuerzo (kg/cm^2). (Cemex, 2019)

Resistividad eléctrica del hormigón:

Es una propiedad volumétrica que tienen los materiales para poder indicar su resistencia al paso de las cargas eléctricas, el cual puede realizarse colocando electrodos en las caras paralelas en las muestras de ensayo. (Andrade & Andrea, 2011)

2.6 Fundamentos teóricos que sustentas la hipótesis

En este ítem observaremos los fundamentos teóricos que se verán a lo largo de la investigación, tal como se ve en la Figura 8.

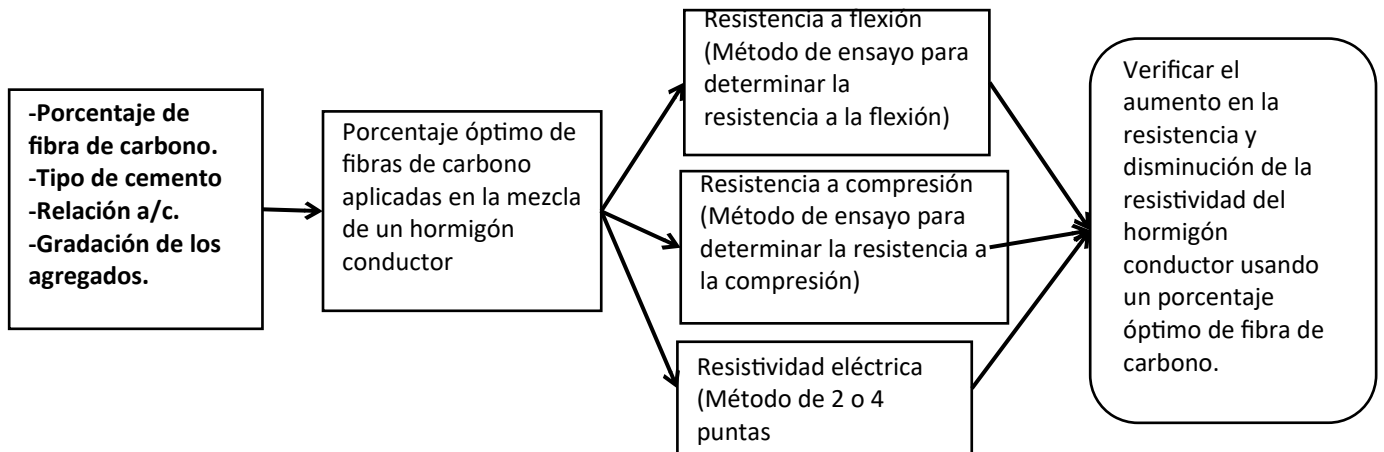


Figura 8. Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Al determinar el porcentaje de fibras de carbono se incrementan las propiedades mecánicas y se disminuye la resistividad eléctrica de los hormigones conductores.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a. Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, incrementa la resistencia a la compresión del hormigón conductor.
- b. Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor.
- c. Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor.
- d. Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, incrementa la resistencia a la compresión del hormigón conductor.
- e. Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor.
- f. Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor.

3.2 Variables

3.2.1 Variables Independientes

Fibra de carbono

Indicador:

Porcentaje de fibra de carbono

Porcentaje de fibra de carbono reciclada

3.2.2 Variable Dependiente

Propiedades mecánicas y resistividad eléctrica del hormigón conductor.

Indicadores:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la flexión
- Resistividad eléctrica

3.3 Sistema de variables

3.3.1 Definición conceptual

- Fibra de carbono

Es un material polimérico que se genera a partir del reciclaje de compuesto aeronáuticos, con la cual puede ser utilizada como aditivo para nuevos materiales. (López, 2015)

- Propiedades mecánicas

Los parámetros mecánicos del hormigón determinan las propiedades del hormigón bajo la influencia de fuerzas externas continuas o intermitentes, estáticas, dinámicas o periódicas. (IFUNAM, 2021)

- Resistividad eléctrica

Es una propiedad esencial que tiene un material para poder determinar la cual puede cuantificar la oposición de la misma al flujo de corriente. Esta propiedad se relaciona con vibraciones que se generan en las partículas internas, su estructura atómica y otras variables. (AcMax, 2022)

3.3.2 Definición operacional

- Contenido de fibra

Son elementos que influyen e intervienen en la mezcla del hormigón conductor.

- Estado endurecido

Después de realizar la mezcla del hormigón, este se endurece y empieza a ganar resistencia.

3.3.3 Operacionalización de las variables

Tabla 6
Operacionalización de Variables

Variabes	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramientas
Independiente Fibra de carbono reciclada	Es un material polimérico que se genera por la síntesis a partir de otros compuestos y está compuesta principalmente por carbono.	Son elementos que influyen e intervienen en la mezcla del hormigón conductor	Contenido de fibra	Porcentaje de fibra	% de fibra	%	Cuantitativa continua	Formato de laboratorio	Norma UNE ISO 10618
Dependiente Propiedades mecánicas	Los parámetros mecánicos del hormigón determinan las propiedades del hormigón bajo la influencia de fuerzas externas continuas o intermitentes, estáticas, dinámicas o periódicas.	Después de realizar la mezcla del hormigón, este se endurece y empieza a ganar resistencia.	Estado Endurecido	Resistencia a compresión	Compresión axial	kg/cm ²	Cuantitativa continua	Formato de laboratorio	Norma E.060 NPT 339.034 Norma UNE 12390-3
Resistividad eléctrica	Es una propiedad esencial que tiene un material para poder determinar la cual puede cuantificar la oposición de la misma al flujo de	Se utiliza la colocación de electrodos para determinar su valor.		Resistencia a flexión	Módulo de Rotura	kg/cm ²	Cuantitativa continua	Formato de laboratorio	Norma UNE 83988-2
				Resistividad eléctrica	Resistividad	Ω-m	Cuantitativa continua	Formato de laboratorio	Norma UNE 83988-2

corriente.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGIA

4.1 Método de la investigación

La presente investigación es un estudio documental, bibliográfica y descriptiva. Es documental/bibliográfica porque se apoya en un marco-teórico a partir de artículos científicos, investigaciones que involucran las variables en estudio, especificaciones técnicas, entre otros; basados en distintas normas utilizadas por los especialistas e investigadores acerca del comportamiento del hormigón en el cual se adicionaron fibras de carbono y fibras de carbono reciclada en su preparación obteniendo información relevante y fidedigna. En la investigación, se analizó el incremento de las propiedades mecánicas y la disminución de la resistividad eléctrica, que tiene al utilizar fibras de carbono en la mezcla del hormigón. El método empleado fue el deductivo, ya que se reconoce y se identifican las variables del estudio realizado. La orientación es aplicada, debido a que se propone utilizar fibras de carbono en la mezcla del hormigón para así poder incrementar las propiedades mecánicas y disminuir la resistividad eléctrica de los hormigones conductores. El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, ya que, se analizaron los ensayos realizados por los autores, de los cuales obtuvimos los resultados de resistencias y resistividad eléctrica. El instrumento de recolección de datos que se propuso en esta investigación es retrolectivo, ya que, los datos que hemos recopilado, fueron obtenidos de investigaciones realizadas por varios autores en las cuales tienen resultados de ensayos de laboratorio, así como, el uso de formatos elaborados en el laboratorio.

En el estudio efectuado por López E. (2015), analizó la inclusión de fibra de carbono recicladas en la fabricación de la mezcla del hormigón para determinar su influencia en las resistencias mecánicas. El método empleado fue el deductivo, debido a que reconoce e identifica a la fibra de carbono como una inclusión más para la mezcla del hormigón y lo relaciona con las propiedades mecánicas para determinar un porcentaje óptimo. La orientación es aplicada, ya que propone adicionar fibra de carbono reciclada a la mezcla del hormigón para así poder mejorar sus propiedades mecánicas. El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que, al realizar los ensayos de compresión y flexión en las probetas, obtiene los valores de resistencia en el hormigón. El instrumento de recolección de datos que

propone es retrolectivo debido a que los datos resultantes se obtienen debido al trabajo de laboratorio y utilizando los formatos debidos.

En el estudio realizado por Valverde, D. (2019), analizó la influencia que tiene la adición de fibra de carbono recicladas en la mezcla del hormigón en las propiedades mecánicas y propiedades eléctricas del hormigón conductor. El método empleado fue el deductivo, debido a que nos quiere demostrar la influencia que tiene agregar fibras de carbono reciclado en la mezcla del hormigón, por lo cual propone la realización de probetas con dos tipos de fibra para obtener un porcentaje óptimo para tener buenos resultados con sus propiedades mecánicas y eléctricas. La orientación es aplicada, ya que propone realizar probetas con dos tipos de fibra de carbono para poder tener diferentes resultados en las propiedades mecánicas y eléctricas del hormigón. El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que, realizaron ensayos para determinar la resistencia a la flexión y compresión, así como, determinar el valor de la resistividad eléctrica. El instrumento de recolección de datos que propone es retrolectivo ya que los resultados se obtienen mediante ensayos de laboratorio utilizando los formatos adecuados.

En el estudio realizado por Faneca, G. (2020), analizó el uso de fibras de carbono recicladas en la mezcla del hormigón con el objetivo de modificar sus propiedades mecánicas y eléctricas para transformarlo en un material aislante a otro con propiedades conductivas. El método empleado fue el deductivo, ya que, nos muestra la influencia de diferentes porcentajes de fibra de carbono reciclada para poder determinar el óptimo para modificar y tener buenos resultados respecto a las propiedades mecánicas y eléctricas. La orientación es aplicada, debido a que propone realizar mezclas de hormigón con la adición de diferentes tipos de fibras de carbono recicladas en distintos porcentajes y así es escoger el adecuado para lo que se requiere. El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que, se realizaron ensayos para la determinación de los valores de las resistencias a la compresión y flexión, así como la resistividad eléctrica. El instrumento de recolección de datos que propone es retrolectivo, ya que, los valores obtenidos se dan mediante ensayos de laboratorio por lo cual se llenan los formatos adecuados para su determinación.

En el estudio realizado por Bustos, A. (2018), analizó la influencia que tiene el agregar diferentes porcentajes fibras de carbono en los morteros de cemento y de cal hidráulica para poder determinar las variaciones en las propiedades del hormigón. El método empleado fue el deductivo, ya que, nos muestra cómo influye los porcentajes de fibra de carbono en el comportamiento de sus propiedades físicas y mecánicas para así poder determinar el porcentaje óptimo. La orientación es aplicada, debido a que nos propone utilizar diferentes tipos de fibras con distintos porcentajes en la cual está incluida la de carbono, para así seleccionar el adecuado para lo que se requiere. El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que, realizó ensayos en estado fresco y endurecido para poder determinar los valores de sus propiedades físico-mecánicas. El instrumento de recolección de datos que propone es retrolectivo, ya que, usó ensayos de laboratorio para así poder determinar los valores de resistencias y lo cual se llenaron los formatos adecuados.

En el estudio realizado por Quiñonez, J. (2016), propuso un análisis y evaluación de incluir fibras de carbono y fibras de vidrio en el hormigón para mejorar sus propiedades mecánicas. El método empleado fue el deductivo, ya que, nos muestra la influencia que tiene las fibras de carbono y vidrio en la mezcla del hormigón para comparar sus resistencias con el hormigón convencional. La orientación es aplicada, debido a que nos propone el uso de dos fibras (carbono y vidrio), para luego hacer la comparación y tener el aditivo adecuado en la mezcla para cumplir con los requerimientos. El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que, se realizaron ensayos de compresión y flexión para poder determinar los valores de sus propiedades mecánicas y poder compararlos. El instrumento de recolección de datos que propone es retrolectivo, ya que, utilizó ensayos de laboratorios para así poder determinar los valores de las resistencias a compresión y flexión, colocados después en formatos ya antes creados.

4.2 Tipo de la investigación

La presente investigación es de tipo descriptiva y explicativa. Descriptiva debido a que se detectó el problema del comportamiento del hormigón en zonas frías, por lo cual, se da una solución usando un porcentaje óptimo de fibra de carbono y fibra de carbono reciclada para mejorar sus propiedades mecánicas y eléctricas. Explicativa porque se exponen resultados obtenidos con diferentes porcentajes de

fibra de carbono en la mezcla del hormigón que se utilizaron en las investigaciones encontradas.

En el estudio efectuado por López E. (2015), es de tipo descriptiva y explicativa. Descriptiva debido a que se detectó el problema en las propiedades mecánicas y eléctricas del hormigón en las zonas frías, por lo cual, se le quiere dar una solución utilizando una fibra de carbono reciclada en la mezcla del mismo para tener cambios positivos en sus propiedades. Explicativa porque se expuso los resultados de las resistencias a compresión y flexión del hormigón obtenidos mediante la realización diversas mezclas de hormigón con diferentes porcentajes de fibra de carbono.

En el estudio realizado por Valverde, D. (2019), es de tipo descriptiva y explicativa. Descriptiva debido a que, se detectó el problema de tener un hormigón con un adecuado comportamiento autosensorial, lo cual se requiere utilizar fibra de carbono reciclada en la mezcla para poder lograr una baja resistividad eléctrica y mejorar las propiedades mecánicas. Es explicativa porque se mostró los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión y flexión, así como la resistividad eléctrica reforzando al hormigón con dos tipos de fibra de carbono reciclada.

En el estudio realizado por Faneca, G. (2022), es de tipo descriptiva y explicativa. Descriptiva debido a que, se detectó el problema de que el hormigón es un material aislante de la electricidad, pero es una buena opción su uso como un material multifuncional por lo cual se quiere bajar la resistividad del mismo, por lo cual, utilizan fibra de carbono reciclada para mejorar estas propiedades eléctricas, así mismo, la resistencia a la compresión y flexión. Es explicativa porque nos mostraron los resultados que se obtienen de resistencia a la compresión y flexión, así como, la resistividad del hormigón utilizando cuatro tipos de mezclas con diferentes porcentajes de adición de la fibra de carbono reciclada.

En el estudio realizado por Bustos, A. (2018), es de tipo descriptiva y explicativa. Descriptiva debido a que, se detectó el problema de que los morteros, ya sean de cemento o de cal hidráulica, son relativamente frágiles cuando están sometidos a sollicitaciones mecánicas, por lo cual, ve en la adición de fibras una solución para

mejorar sus propiedades y tener mejores resultados en sus resistencias y durabilidad. Es explicativa porque nos mostraron los resultados obtenidos de los ensayos físicos-mecánicos.

En el estudio realizado por Quiñonez, J. (2016), es de tipo descriptiva y explicativa. Descriptiva ya que, se detectó el problema de que el hormigón convencional en su vida útil, ocurren diversos factores el cual puede afectar los requerimientos de diseño, por lo cual buscan otras alternativas como utilizar fibras de carbono y vidrio, para poder mejorar sus propiedades y tener mejores resultados en sus resistencias y durabilidad. Es explicativa porque, nos mostraron los ensayos realizados para determinar la resistencia la compresión y flexión de los hormigones convencionales y con fibras añadidas.

4.3 Nivel de la investigación

La presente investigación tiene como nivel el descriptivo, ya que, permite determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono utilizado en la mezcla para poder determinar las mejoras de la propiedades mecánicas y eléctricas del hormigón conductor.

En el estudio efectuado por López E. (2015), es de nivel descriptivo debido a que, se realizaron 4 tipo de mezclas las cuales, fueron 2 en mezcla seca y 2 en mezcla fluida utilizando fibras CARBISO C10/30 y CARBISO CT12 para así poder determinar los valores de resistencia a la flexión y compresión, teniendo como conclusión que la mezcla en fluido con ambas fibras da una mejora en el comportamiento mecánico del hormigón.

En el estudio realizado por Valverde, D. (2019), es de nivel descriptivo debido a que, usaron 90 probetas de las cuales se utilizaron las fibras de carbono CF-TRIM 12 y CARBISO C10/30 con diferentes porcentajes de estas añadidas en la mezcla del hormigón, para así poder determinar los valores de resistencia a la compresión y flexión, así como la resistividad eléctrica, teniendo así una mayor resistencia mecánica y menor resistividad eléctrica cuando se utilizando fibra de carbono reciclada en la mezcla del hormigón.

En el estudio realizado por Faneca, G. (2022), es de nivel descriptivo debido a que se realizaron 6 tipos de mezclas, siendo estas añadidas ya sea en seco o húmedo 4 tipos de fibras de carbono recicladas que son CFRAN, C10/30, CT12 y CF TRIM,

para así poder determinar los valores de las resistencias a flexión y compresión así como el valor de la resistividad eléctrica, llegando así a una conclusión que estas fibras incrementan la resistencia mecánica y disminuye la resistividad eléctrica del hormigón.

En el estudio realizado por Bustos, A. (2018), es de nivel descriptivo debido a que, se realizaron dos tipos de mezcla, con cemento y con cal hidráulica, en el cual se añadieron diferentes fibras, como la de carbono, para así poder determinar los valores de las resistencias mecánicas, teniendo como conclusión que el uso de fibras mejorar la resistencia a compresión y flexión.

En el estudio realizado por Quiñonez, J. (2016), es de nivel descriptivo debido a que, se realizaron 3 tipos de hormigones, el convencional, con adición de fibras de vidrio y adición de fibras de carbono, para sí poder comparar sus resultados de resistencia para determinar cual tiene mejores. Teniendo como conclusión que el uso de fibras de vidrio da mejores resultados en resistencia estructural.

4.4 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación según el propósito de estudio, es experimental, ya que, se analizó diversas fuentes bibliográficas con resultados experimentales los cuales se manipula la variable independiente (fibras de carbono) y con esto se compararon para poder tener los resultados y conclusiones con respecto a las propiedades mecánicas y eléctricas del hormigón. Según el número de mediciones, es de diseño longitudinal, ya que, de las fuentes bibliográficas se recolectó datos con diversos porcentajes para poder determinar los cambios que se generan en las propiedades del hormigón. Según la cronología de las observaciones, es de diseño retrospectivo, ya que se tomaron informaciones de fuentes que ya han investigado antes el tema. Según el estudio de diseño, es de cohorte, ya que, se estudió la causa efecto entre la variable independiente (fibra de carbono virgen y fibra de carbono reciclada) y las variables dependientes (propiedades mecánicas y eléctricas).

En el estudio efectuado por López E. (2015), tiene un diseño experimental, longitudinal y prospectiva. Según su propósito de estudio es experimental, ya que, su investigación está basada en la manipulación de la variable independiente que es la fibra de carbono con respecto a las variables dependientes que son las

propiedades mecánicas y eléctricas del hormigón. Según el número de mediciones es longitudinal, ya que se preparan diferentes mezclas de hormigón añadiendo fibras de carbono reciclado para así determinar las variaciones que se tiene con respecto a las propiedades mecánicas y eléctricas. Según su cronología es prospectiva, ya que los datos obtenidos son de resultados procesados luego de realizar los diferentes ensayos de laboratorio.

En el estudio realizado por Valverde, D. (2019), tiene un diseño experimental, longitudinal y prospectiva. Según su propósito de estudio es experimental, ya que, la investigación realizada se basa en la variación porcentajes utilizados en la mezcla del hormigón de la variable independiente (fibra de carbono reciclada), para determinar la influencia que tiene en sus variables independientes (propiedades mecánicas y eléctrica). Según el número de mediciones es longitudinal, ya que, se utilizan diferentes porcentajes de fibra para poder tener resultados y conclusiones respecto a las propiedades del hormigón. Según su cronología es prospectiva, ya que los datos obtenidos son de resultados procesados luego de realizar los diferentes ensayos de laboratorio.

En el estudio realizado por Faneca, G. (2022), tiene un diseño experimental, longitudinal y prospectiva. Según su propósito de estudio es experimental, ya que, la investigación realizada se basa en la manipulación de la variable independiente (fibra de carbono reciclada), para determinar la influencia que tiene en sus variables independientes (propiedades mecánicas y eléctrica). Según el número de mediciones es longitudinal, ya que, se utilizan diferentes mezclas del hormigón con distintos porcentajes de fibra para poder tener resultados y conclusiones respecto a las propiedades del hormigón. Según su cronología es prospectiva, ya que los datos obtenidos son de resultados procesados luego de realizar los diferentes ensayos de laboratorio.

En el estudio realizado por Bustos, A. (2018), tiene un diseño experimental, longitudinal y prospectiva. Según el propósito de estudio es experimental, ya que, la investigación se encuentra enfocada en la manipulación de la variable independiente (fibras), para poder determinar la influencia en la variable dependiente (propiedades físico-mecánicas). Según el número de mediciones es longitudinal, ya que se utilizan dos tipos de mezclas con diferentes tipos de fibra y

con 4 porcentajes diferentes de estas para sí poder tener diferentes resultados y conclusiones respecto a el porcentaje óptimo de fibra a utilizar. Según su cronología es prospectiva, ya que los datos obtenidos son de resultados procesados luego de realizar los diferentes ensayos de laboratorio.

En el estudio realizado por Quiñonez, J. (2016), tiene un diseño experimental, longitudinal y prospectiva. Según el propósito de estudio es experimental, ya que, la investigación se encuentra enfocada en las variables independientes (fibra de carbono y fibra de vidrio), para poder determinar la influencia que tiene en el aporte estructural al ser añadido en la mezcla del hormigón. Según el número de mediciones es longitudinal, ya que utiliza la preparación de 3 hormigones, el convencional, con adición de fibras de carbono y con adición de fibras de vidrio, para tener sus resultados en sus propiedades mecánicas y poder confirmar cual genera mejores resultados. Según su cronología es prospectiva, ya que los datos obtenidos son de resultados procesados luego de realizar los diferentes ensayos de laboratorio.

Tabla 7 Cuadro comparativo de tipología

CUADRO COMPARATIVO TIPOLOGIA					
AUTOR	López Espulgas E.	Valverde Burneo D.	Faneca Llesera G.	Bustos García A.	Quiñonez Olaya J.
Título	Caracterización y desarrollo de hormigones conductores	Caracterización piezoresistiva de hormigón reforzado con fibras de carbono reciclado con aplicaciones autosensoriales	Desarrollo de hormigones conductores con adición de fibras de carbono recicladas	Morteros con propiedades mejoradas de ductilidad por adición de fibras de vidrio, carbono y basalto	Análisis y evaluación del aporte estructural a contrapiso de hormigón armado mediante la adición de fibras de carbono y fibra de vidrio
Método de la investigación			Deductivo		
Orientación de la investigación			Aplicada		
Enfoque de la investigación			Cuantitativo		
Instrumento de recolección de datos			Retrolectivo		
Tipo de investigación			Explicativo, descriptivo		
Nivel de investigación			Descriptivo		
Diseño de investigación			Experimental, longitudinal y retrospectivo		

Fuente: Elaboración propia

4.5 Población y muestra

4.5.1 Población

De las referencias bibliográficas seleccionadas para la realización de la presente investigación se utilizaron como referencia las siguientes:

Tabla 8

Cuadro comparativo de población

AUTOR	López E.	Valverde D.	Faneca G.	Bustos A.	Quiñonez J.
TITULO	Caracterización y desarrollo de hormigones conductores	Caracterización piezoresistiva de hormigón reforzado con fibras de carbono reciclado con aplicaciones autosensoriales	Desarrollo de hormigones conductores con adición de fibras de carbono recicladas	Morteros con propiedades mejoradas de ductilidad por adición de fibras de vidrio, carbono y basalto	Análisis y evaluación del aporte estructural a contrapiso de hormigón armado mediante la adición de fibras de carbono y fibra de vidrio
POBLACION	114 probetas prismáticas 4 tipos de mezclas 2 tipos de fibra de carbono Carbiso C10/30 y Carbiso CT12	90 probetas 2 tipos de fibra de carbono CF-Trim 12 y Carbiso C10/30	6 tipos de mezcla 4 tipos de fibra de carbono CFRAN, Carbiso C10/30, Carbiso CT12 y CF-Trim	2 tipos de mezcla 3 tipos de fibra Vidrio, carbono y basalto	3 tipos de hormigones 2 tipos de fibras Vidrio y carbono

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2 Muestra

De las referencias bibliográficas seleccionadas para la realización de la presente investigación se utilizaron como referencia las siguientes:

Tabla 9

Cuadro comparativo de la muestra

AUTOR	López Espulgas E.	Valverde Burneo D.	Faneca Llesera G.	Bustos García A.	Quiñonez Olaya J.
TITULO	Caracterización y desarrollo de hormigones conductores	Caracterización piezoresistiva de hormigón reforzado con fibras de carbono reciclado con aplicaciones autosensoriales	Desarrollo de hormigones conductores con adición de fibras de carbono recicladas	Morteros con propiedades mejoradas de ductilidad por adición de fibras de vidrio, carbono y basalto	Análisis y evaluación del aporte estructural a contrapiso de hormigón armado mediante la adición de fibras de carbono y fibra de vidrio
MUESTRA	Probetas de 4x4x16 cm ³ Porcentajes de fibra: Para mezcla seca de 0% hasta 1.4% y para mezcla húmeda 0%, 0.2% y 1.4% Cemento CEM I52,5R Arena silícea con granulometría 0/7 Filler betoflow Aditivos Powerflow 1120 y Meyco MS 685 Relación a/c= 0.14	Probetas de 4x4x16 cm ³ Porcentajes de fibra: Desde 0% hasta 1.4% Cemento CEM I52,5R Arena silícea con TMN 1mm Filler betoflow Aditivos Glenium ACE425 y Meyco MS 685 Relación a/c=0.2 6 electrodos con tornillos de 5cm	Probetas de 4x4x16 cm ³ Porcentajes de fibra: Desde 0.1% hasta 1.4% Cemento CEM I52,5R Arena de silicio y arena de grafito Filler betoflow Aditivos Glenium B225, Glenium ACE425 y Meyco MS685 Relación a/c=0.45 y a/c 0.14 6 electrodos con tornillos de 5cm	Probetas de 4x4x16 cm ³ Porcentajes de fibra: 0.33%, 0.66%, 1% y 1.33% Cemento CEN IV/B Arena silícea Aditivos Glenium sky 604 Relación a/c=0.65 y a/c 0.73	Probetas con D=15cm y H=30cm Hormigón f _c =280 kg/cm ² Cemento Portland tipo I Arena con tamaño entre 0.063 y 2 mm Gravas con tamaño entre 2 y 64 mm

Fuente: Elaboración Propia

4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos

4.6.1 Instrumento de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos fue retrolectivo, ya que, se utilizaron en la presente investigación se obtuvieron de investigaciones pasadas, por lo cuales, se recurrió a los registros de ensayos de laboratorio de cada investigación.

Las herramientas que utilizaremos en la investigación serán:

- Norma NTP 339.034 (2015) Método de ensayo normalizado para a determinación de la resistencia a la compresión del hormigón en muestras cilíndricas.
- Norma UNE-EN 196-1 (2018) Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias.
- Norma UNE 83988-2 (2014) Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica.
- Norma ACI 440-2008 Diseño de estructuras de hormigón reforzadas con fibra de carbono

4.6.2 Métodos y técnicas

En la presente investigación, los métodos que se tomaron para la realización de la misma, fue en base a referencias bibliográficas como, artículos, tesis y normas nacionales e internacionales. Las técnicas fueron básicamente la revisión bibliográfica respecto al tema a realizar como lo son la utilización de fibras de carbono en los hormigones, así como los resultados de los ensayos de laboratorio que realizaron los investigadores a estudiar.

Los métodos y técnicas que se tomaron en cuenta para la presente investigación, son los ensayos de laboratorio que se realizaron en estudios pasados.

López, E. (2015): El método que utilizó para determinar cómo influye la inclusión de los 2 tipos fibras de carbono reciclada en el hormigón, fue con recopilaciones de información que extrajo de diversos artículos, tesis y otras fuentes para desarrollar su trabajo. La técnica utilizada fue práctica,

ya que, utilizó 4 tipo de mezclas con distintos porcentajes de fibra de carbono reciclada para poder después determinar la resistencias y resistividad del hormigón.

Valverde, D. (2019): El método que utilizó para determinar cómo influye la inclusión de fibras de carbono reciclada en el hormigón, fue con recopilaciones de información que extrajo de diversos artículos, tesis y otras fuentes para desarrollar su trabajo. La técnica que utilizó se basó en aplicaron diferentes porcentajes de fibra de carbono para determinar cuál será el óptimo para mejorar las resistencias mecánicas y disminuir la resistividad del hormigón.

Faneca, G. (2022): El método que utilizó para determinar cómo influyen las 4tipos de fibras de carbono reciclada en el hormigón, fue con recopilaciones de información que extrajo de diversos artículos, tesis y otras fuentes para desarrollar su trabajo. La técnica utilizada fue práctica que usó se basó en la aplicación de las fibras de carbono en 6 tipos de mezclas, para así poder tener resultados de las resistencias y la resistividad.

Bustos, A. (2018): El método que utilizó para determinar la influencia de 3 tipos de fibra con diferentes porcentajes, fue con recopilaciones de información que extrajo de diversos artículos, tesis y de ensayos de laboratorio realizados. Procediendo a la realización de los ensayos mecánicos para poder tener los resultados adecuados y llegar a una discusión de estos.

Quiñonez, J. (2016): Ele método que utilizó para determinar los valores de resistencia para los 3 tipos de hormigón, fue con la búsqueda de información sobre análisis y evaluación del aporte estructural del hormigón mediante la adición de fibras de carbono y vidrio. Luego con la realización de ensayos de laboratorio de compresión y flexión para tener los resultados y poder comprar valores de los diferentes hormigones.

4.7 Descripción de procesamientos de análisis

En la presente investigación, se recolectó información relevante con respecto al tema, como tesis, artículos y normas. En estas se identificó como influye

principalmente el uso de fibras de carbono y fibras de carbono recicladas añadidas en la mezcla del hormigón para poder revisar los resultados de resistencias a la compresión, flexión y la resistividad eléctrica. Por lo cual, se analizó los resultados obtenidos para poder determinar un resultado óptimo de porcentaje de fibra a utilizar, por lo cual se utilizaron gráficos para comparar los diversos resultados según los objetivos planteados y lo cuales se utilizaron para la contratación de nuestras hipótesis.

López, E. (2015): Para iniciar su investigación empezó con una recopilación de informaciones extraídas de artículos de investigación, tesis, revistas y otras fuentes. Luego decidió las dosificaciones adecuadas para la elaboración de probetas, para así poder realizar los ensayos necesarios para determinar las resistencias mecánicas y la resistividad.

Valverde, D. (2019): En esta investigación su procesamiento del análisis se basó en iniciar con el estudio de los materiales a utilizar viendo los componentes de los hormigones y las fibras de carbono recicladas. Así como una revisión de los electrodos para poder tener hormigones conductos. Resultando después los ensayos experimentales que se realizaron para determinar valores adecuados para las resistencias y la resistividad.

Faneca, G. (2022): Esta investigación inicia con la recopilación de bibliografía útil con relación al tema de estudio. Para luego analizar los 4 tipos de fibras a utilizar, revisando sus propiedades. Luego realizó la revisión de las proporciones de las mezclas junto con las fibras de carbono a utilizar para así poder determinar los resultados de los ensayos realizados como las resistencias y la resistividad.

Bustos, A. (2018): Comenzó con una investigación bibliográfica sobre la utilización de morteros con fibras, para luego describir y caracterizar las materias primas usadas en la mezcla que utilizara en su estudio, para así poder realizar ensayos y el análisis de información suministrada por cada fabricante de los componentes utilizados en la mezcla. Esto con la finalidad de obtener mejores resultados en los hormigones, para mejorar sus propiedades físico-mecánicas.

CAPÍTULO V: PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

5.1 Resultados de la investigación

El uso de fibras de carbono en la mezcla de hormigón, presenta diferentes comportamientos el cual depende de diferentes factores, tales como: el porcentaje de fibras, la relación a/c, el tipo de material cementante, factores externos, entre otros; por lo cual, en la presente investigación presentamos la recopilación de diversos artículos científicos y ensayos de laboratorio, los cuales nos muestran los diversos comportamientos mecánicos y/o eléctricos que se tiene al utilizar este tipo de fibra. Cabe destacar, que los ensayos realizados en los artículos y/o tesis, son de carácter internacional, los cuales muestran resultados fidedignos y significativos, para poder comprender y poder predecir el comportamiento del hormigón con la utilización de fibras de carbono virgen o recicladas en la mezcla del mismo.

5.1.1 Relación entre el porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen y la resistencia a la compresión del hormigón conductor

Ghanem & Bowling, 2019:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material cementante el cemento ordinario Portland (OPC).
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono virgen con una longitud de 13 mm en porcentajes de 0.5% 1.0%, 1.5% y 2% para poder determinar el contenido óptimo de fibra tal como se muestran en el Anexo 4.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas con proporción de 1:1.4:2 (cemento: agregado fino: agregado grueso), así como se le añadió fibra de carbono con una longitud de 6 mm, con 5 porcentajes diferentes de la misma.
- Método de ensayo: La resistencia a la compresión se determinó en probetas cilíndrica de 150 mm de diámetro y 300 mm de largo.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 10

Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Ghanem & Bowling, 2019

% Fibra	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
0	409
0.5	418
1	465
1.5	417
2	395

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 10 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días según el porcentaje de fibra de carbono, los cuales se podrá notar mejor la influencia en la Figura 9.

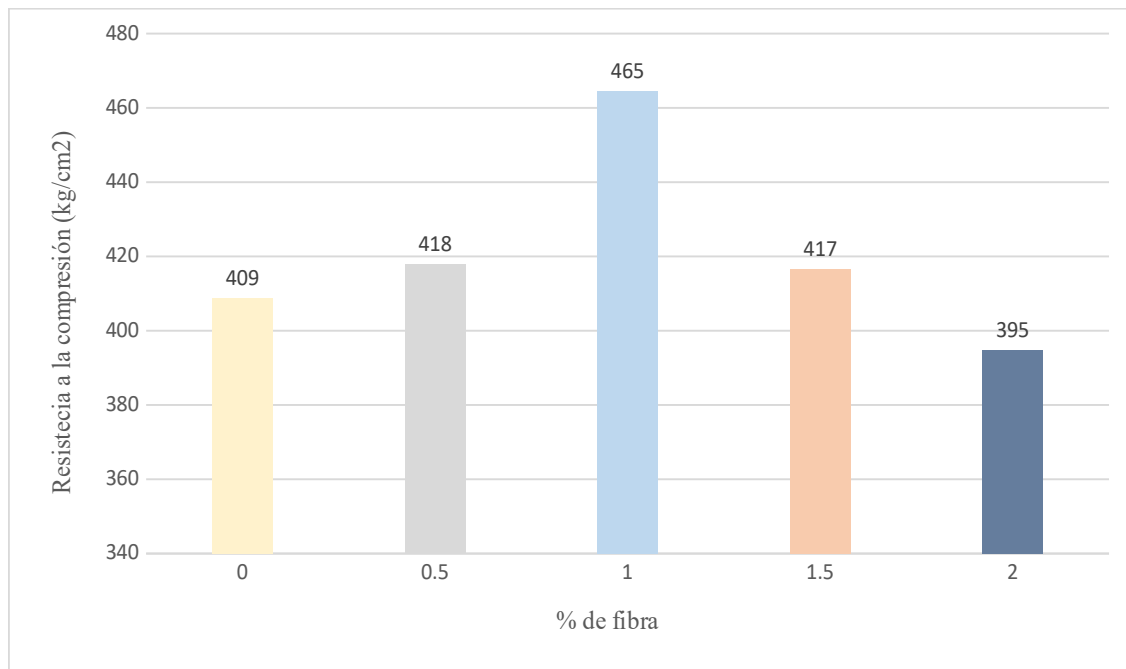


Figura 9. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Ghanem & Bowling, 2019

Fuente: Elaboración Propia

Ullah et al., 2021:

- Tipo de material cementante: Se utilizó como material cementante el cemento ordinario Portland (OPC).
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono virgen con una longitud de 6 mm en porcentajes de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2% para poder determinar el contenido óptimo de fibra.

- Diseño de mezcla: Se utilizó un hormigón autocompactante, en el cual se realizaron dos tipos de mezcla, la primera con una proporción de 1:1.2:1.6 (cemento: agregado fino: agregado grueso) y otra con una proporción de 1:1:1.5, los cuales la diferencia lo hace si relación agua cemento, los cuales fueron 0.40 y 0.38 respectivamente. Adicionalmente se le agregó una fibra de carbono con una longitud de 6 mm.
- Método de ensayo: La resistencia a la compresión se determinó en probetas cúbicas de 150 mm.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 11

Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen con una relación a/c=0.4 según Ullah et al., 2021

% Fibra	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
0	230
0.5	250
1	270
1.5	255
2	220

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 11 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días con una relación a/c=0.4 según el porcentaje de fibra de carbono, los cuales se podrá notar mejor la influencia en la Figura 10.

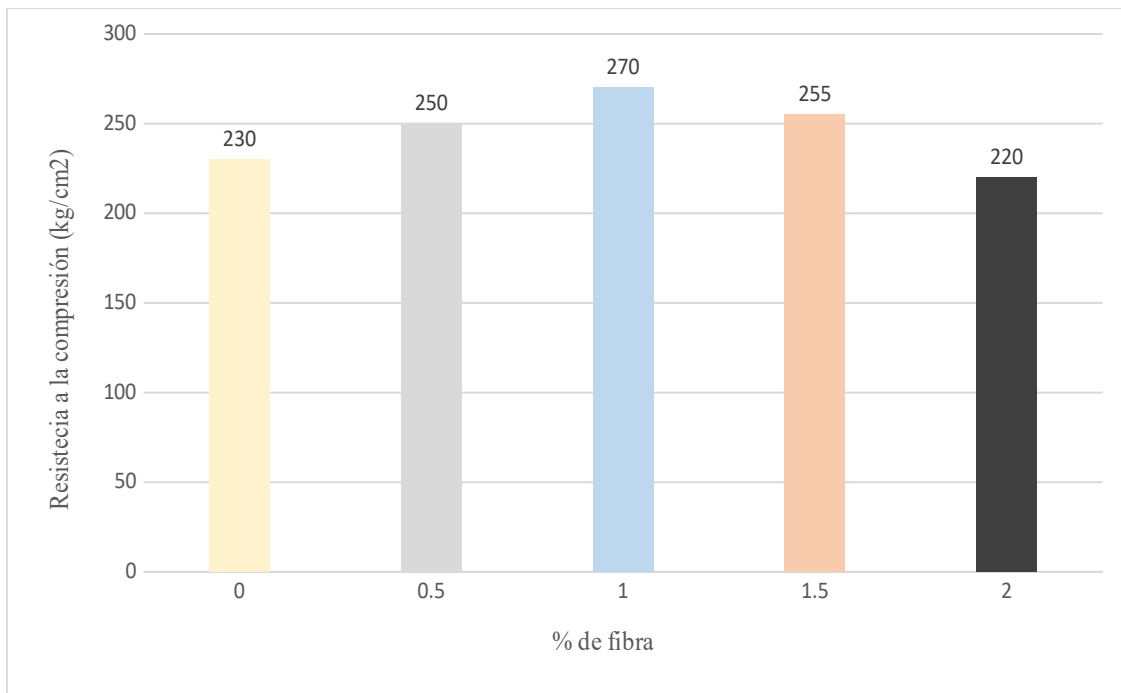


Figura 10. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen con una relación a/c=0.4 según Ullah et al., 2021
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12

Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días con a/c= 0.38 según Ullah et al., 2021

% Fibra	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
0	270
0.5	280
1	320
1.5	285
2	240

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 12 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días con una relación a/c=0.38 según el porcentaje de fibra de carbono, los cuales se podrá notar mejor la influencia en la Figura 11.

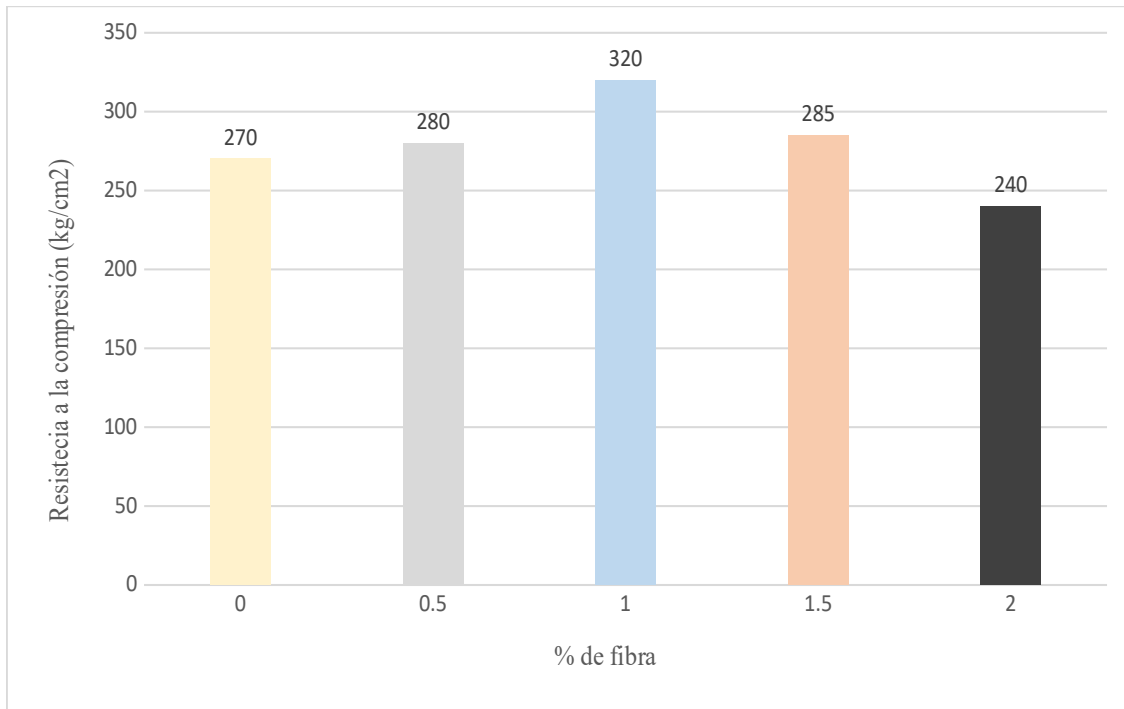


Figura 11. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen con una relación a/c=0.38 según Ullah et al., 2021
Fuente: Elaboración Propia

De Jia et al., 2018:

- Tipo de material cementante: Se utilizó como material cementante el cemento ordinario Portland (OPC).
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono virgen con una longitud de 38 mm en porcentajes de 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% y 1% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Pero por fines de la investigación, se interpolaron los valores para tener resultados de porcentajes múltiplos de 5.
- Diseño de mezcla: Se utilizó 5 tipos de mezcla, las cuales los diferenciaba el contenido de agregado fino y grueso, así como la inclusión de la fibra de carbono con una longitud de 38 mm.
- Método de ensayo: La resistencia a la compresión se determinó en probetas cilíndricas.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 13

Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según De Jia et al., 2018

% Fibra	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
---------	--

0	302
0.5	325
1	360

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 13 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días según el porcentaje de fibra de carbono, los cuales se podrá notar mejor la influencia en la Figura 12.

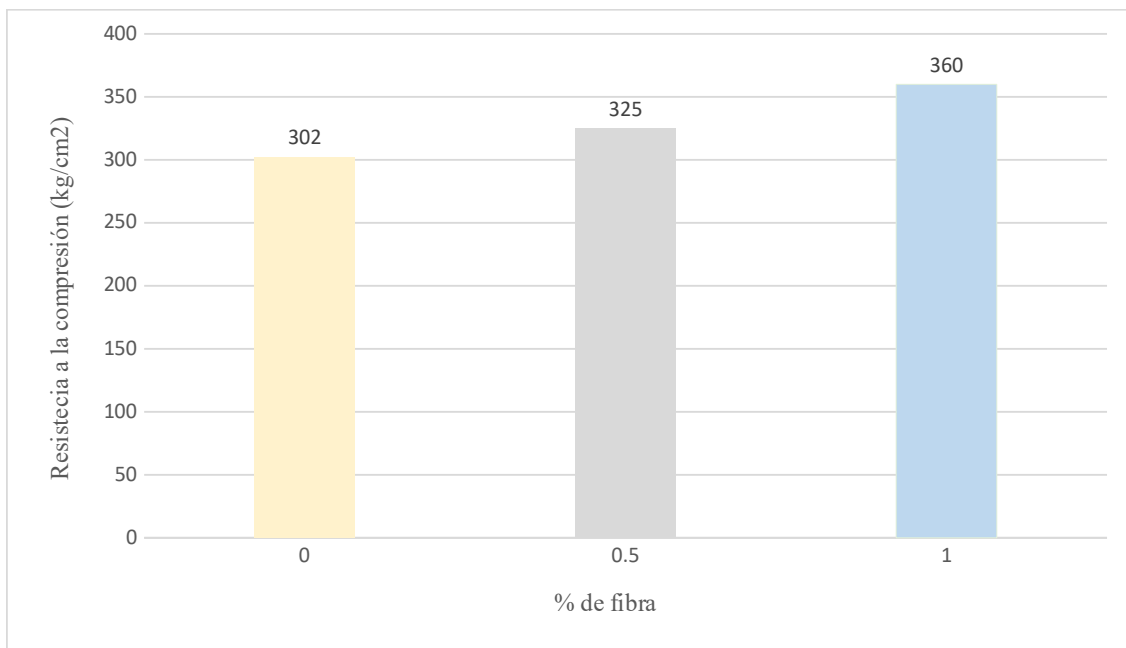


Figura 12. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según De Jia et al., 2018

Fuente: Elaboración Propia

Maleki et al., 2017:

- Tipo de material cementante: Se utilizó como material cementante el cemento ordinario Portland (OPC) con un porcentaje de humo de sílice.
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono virgen con una longitud de 50 mm en porcentajes de 0.3%, 0.6%, 1.5% y 2% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Pero por fines de la investigación, se interpolaron los valores para tener resultados de porcentajes múltiplos de 5.

- Diseño de mezcla: Se utilizó una mezcla basada en cemento con humo de sílice y agregados, añadiendo ciertos porcentajes de fibra de carbono con una longitud de 50 mm y una relación a/c=0.47.
- Método de ensayo: La resistencia a la compresión se determinó en probetas cúbicas de 100 mm.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 14

Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Maleki et al., 2017

% Fibra	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
0	404
0.5	473
1	427
1.5	349
2	226

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 14 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días según el porcentaje de fibra de carbono, los cuales se podrá notar mejor la influencia en la Figura 13.

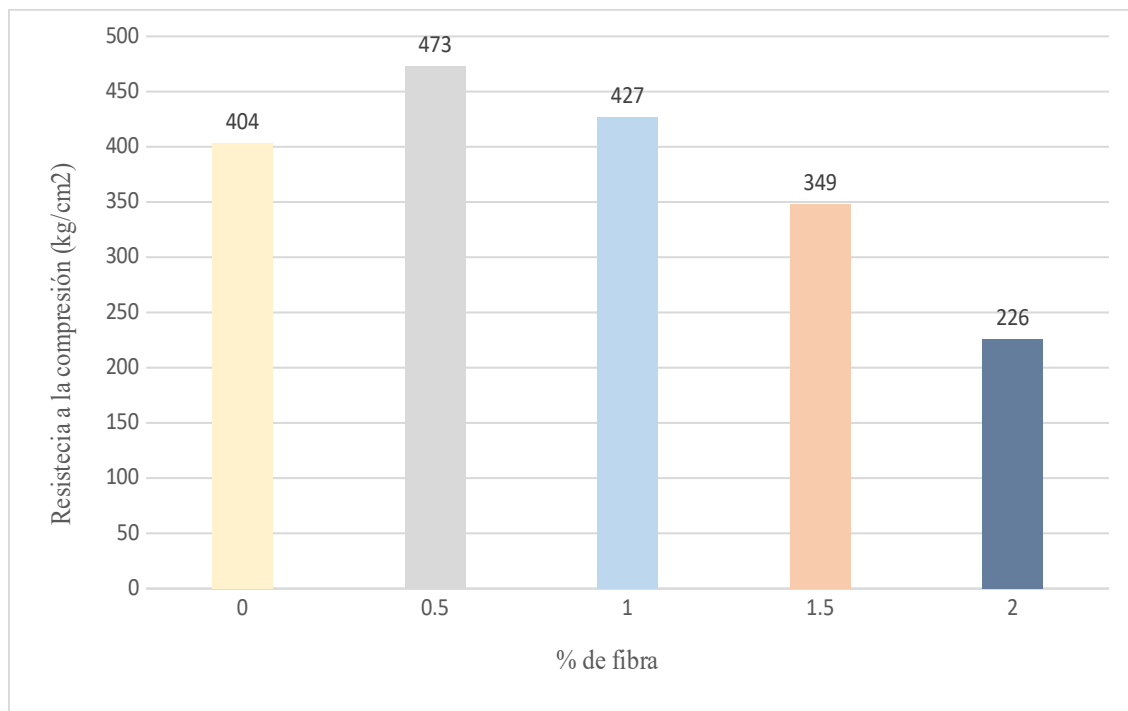


Figura 13. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Maleki et al., 2017

Fuente: Elaboración Propia

Determinación del porcentaje óptimo de fibra según los autores:

Tabla 15

Valor máximo de resistencia a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono y relación a/c según los autores del OE1

Autores	%Fibra	a/c	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
De Jia et al., 2018	1	0.32	360
Ullah et al., 2021	1	0.38	320
Ghanem & Bowling, 2019	1	0.42	465
Maleki et al., 2017	0.5	0.47	473

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 15 se muestran los resultados máximos de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días según el porcentaje óptimo de fibra de carbono y su relación a/c, el cual podemos observar de una mejor manera en la Figura 14.

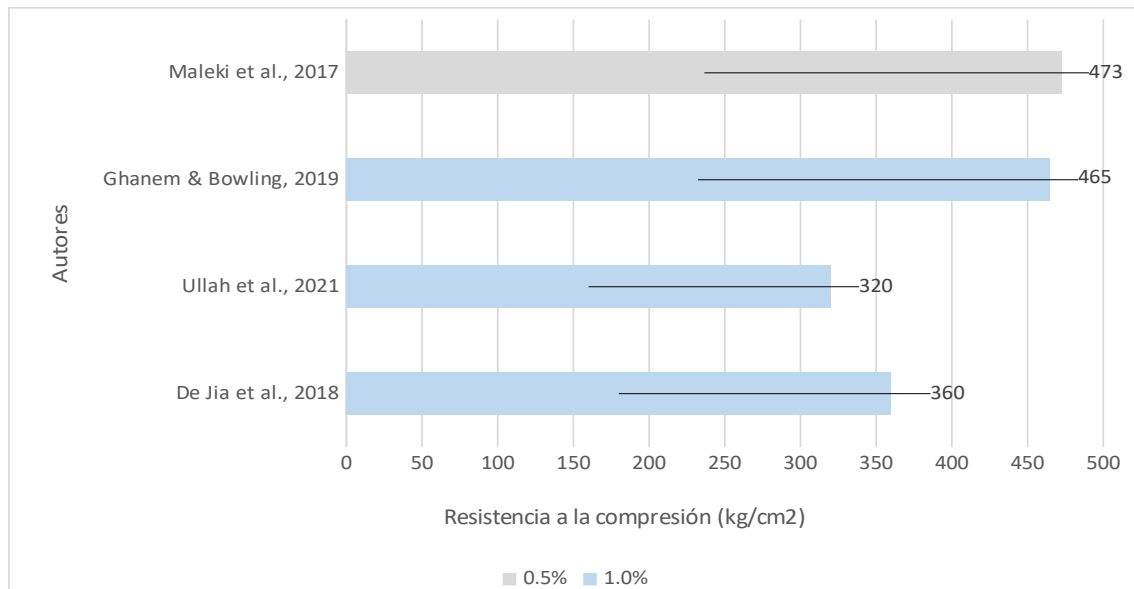


Figura 14. Valor máximo de resistencia a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono y la relación a/c según los autores del OE1

Fuente: Elaboración Propia

5.1.2 Relación entre el porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen y la resistencia a la flexión del hormigón conductor

Ghanem & Bowling, 2019:

- Tipo de material cementante: Se utilizó como material cementante el cemento ordinario Portland (PC).
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono virgen con una longitud de 13 mm en porcentajes de 0%, 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para poder determinar el contenido óptimo de fibra.

- Diseño de mezcla: Se utilizó una mezcla en proporción 1: 1,4: 2 (cemento: agregado fino: agregado grueso) con cemento portland tipo I de uso general y relación agua-cemento de $a/c=0.42$. Sin embargo, el porcentaje de CF de 13mm varía en las mezclas.
- Método de ensayo: Para los ensayos se prepararon mezclas cilíndricas de 150 mm (6") de diámetro y 300 mm de largo (12"), y vigas miden 150 x 150 x500 mm (6" x 6" x 20"). Luego, las mezclas se dejaron en los moldes durante 24 h a temperatura ambiente antes de retirarlas y curarlas en agua durante 28 días antes de la prueba.

Tabla 16

Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Ghanem & Bowling, 2019

% Fibra	Resistencia Flexión (kg/cm ²)
0	57
0.5	58
1	59
1.5	64
2	66

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 16 se muestran los resultados de la resistencia a la flexión del hormigón a los 28 días según el porcentaje de fibra de carbono, los cuales se puede observar con más claridad la influencia en la Figura 15.

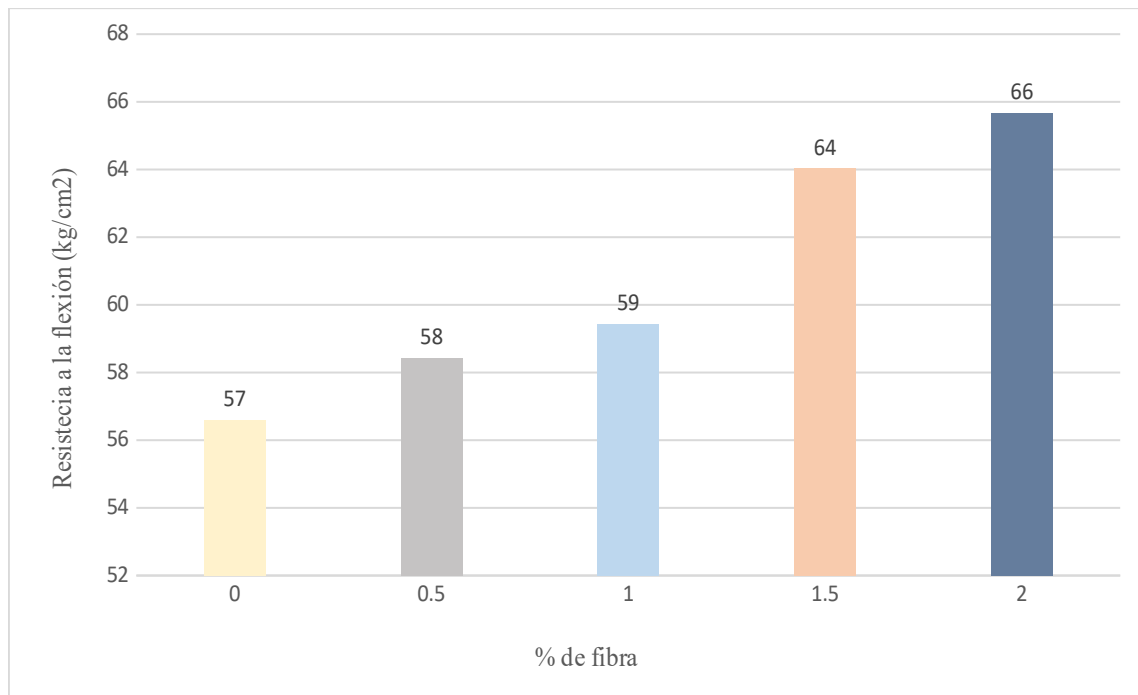


Figura 15. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Ghanem & Bowling, 2019
Fuente: Elaboración Propia

Maleki et al., 2017:

- Tipo de material cementante: Se utilizó como material cementante el cemento ordinario Portland (OPC).
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono virgen con una longitud de 50 mm en porcentajes de 0%, 0.3%, 0.6%, 1.5% y 2% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Para fines de la investigación, se determinó interpolar los valores para tener porcentajes múltiplos de 5.
- Diseño de mezcla: Se utilizó una mezcla basada en cemento portland tipo 1 y agregados con proporciones de 1:1.6:2.3 (cemento: piedra: arena), añadiendo ciertos porcentajes de fibra de carbono con una longitud de 50mm y una relación $a/c=0.47$.
- Método de ensayo: La resistencia a la flexión se determinó en 3 probetas de cúbicas de 10 cm x 10 cm x 50 cm utilizando el método de flexión de tres puntos según la norma ASTM C78.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 17

Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Maleki et al., 2017

% Fibra	Resistencia Flexión (kg/cm ²)
0	66
0.5	117
1	103
1.5	82
2	60

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 17 se muestran los resultados de la resistencia a la flexión del hormigón a los 28 días según el porcentaje de fibra de carbono, los cuales se puede observar con más claridad la influencia en la Figura 16.

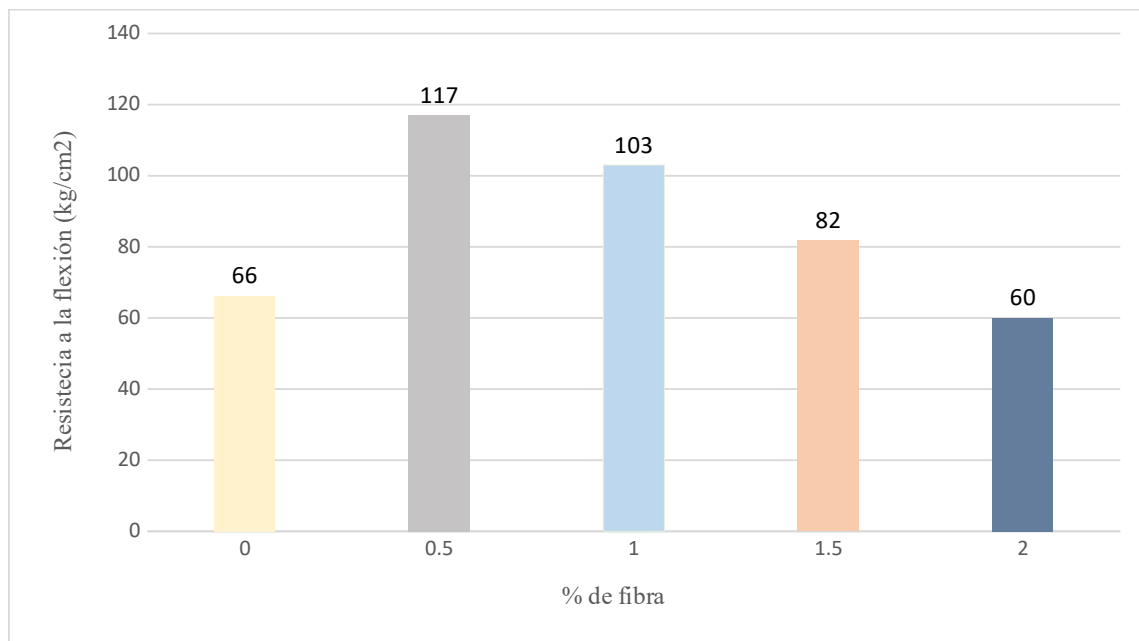


Figura 16. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Maleki et al., 2017

Fuente: Elaboración Propia.

Bustos A., 2018:

- Tipo de material cementante: Se utilizó como material cementante el cemento ordinario Portland tipo 1.
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono virgen con una longitud de 12 mm en porcentajes de 0%, 0.33%, 0.67%, 1% y 1.33% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Para fines de la investigación, se determinó interpolar los valores para tener porcentajes múltiplos de 5.

- Diseño de mezcla: Se utilizó una mezcla basada en cemento portland tipo 1 y de cal hidráulica, añadiendo ciertos porcentajes de fibra de carbono con una longitud de 12mm y una relación a/c=0.65.
- Método de ensayo: Para los ensayos se prepararon mezclas cúbicas de 40 x 40 x160 mm.

Resultados del ensayo experimental:

Tabla 18

Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Bustos A., 2018

% Fibra	Resistencia Flexión (kg/cm ²)
0	70
0.5	66
1	60

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 18 se muestran los resultados de la resistencia a la flexión del hormigón a los 28 días según el porcentaje de fibra de carbono, los cuales se puede observar con más claridad la influencia en la Figura 17.

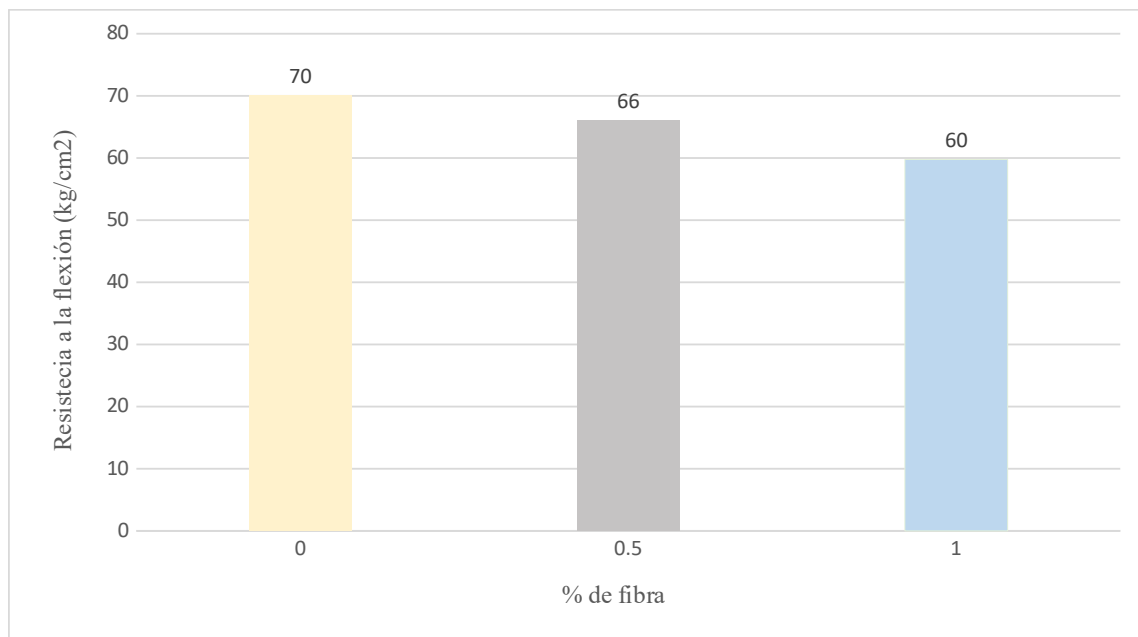


Figura 17. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono virgen según Bustos A., 2018

Fuente: Elaboración Propia

Determinación del porcentaje óptimo de fibra reciclada para la resistencia flexión según los autores:

Tabla 19

Valores máximos de resistencia a la flexión a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono virgen y la relación a/c según los autores del OE2

Autores	%Fibra	a/c	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Ghanem & Bowling, 2019	2.0	0.42	66
Maleki et al., 2018	0.5	0.47	117
Bustos A., 2018	0.0	0.65	70

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 19 se muestran los resultados máximos de la resistencia a la flexión del hormigón a los 28 días según el porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen y la relación a/c, el cual podemos observar de una mejor manera en la Figura 18.

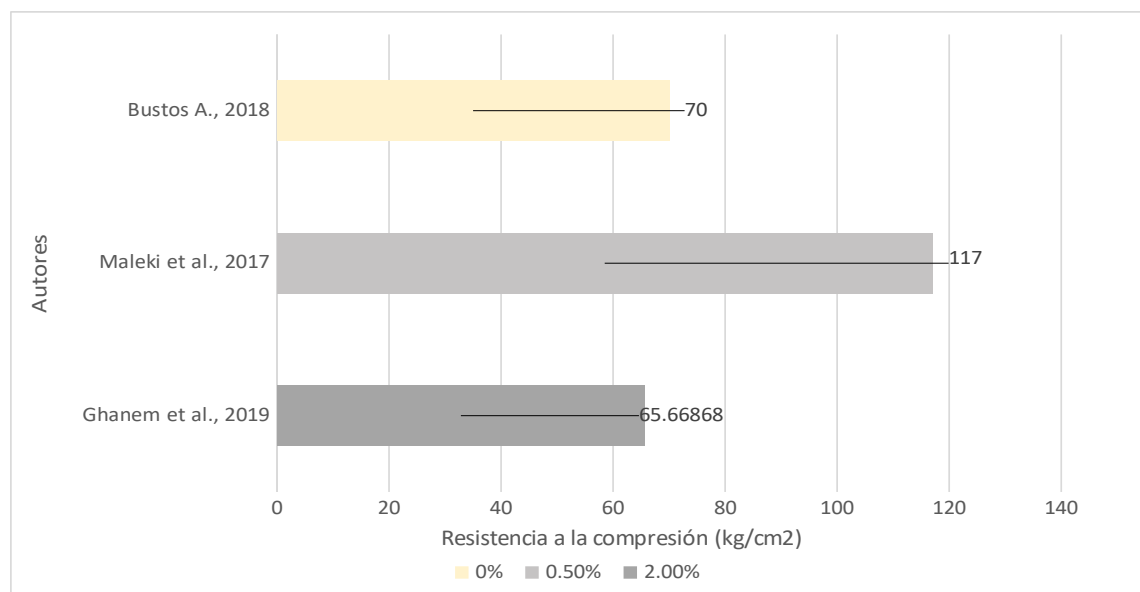


Figura 18. Valores máximos de resistencia a flexión a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono y relación a/c según los autores del OE 2

5.1.3 Relación entre el porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen y la resistividad eléctrica del hormigón conductor

Wang et al., 2019:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento portland ordinario.
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono con una longitud de 12 mm en porcentajes de 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4 y 0.5% para poder determinar el contenido óptimo de fibra.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas de hormigón en una proporción de 1: 2.04: 1.36 (cemento: agregado grueso: agregado fino), con una relación a/c de 0.36.

- Método de ensayo: El ensayo de resistividad eléctrica se realizó en una probeta, la cual se realizó en método de los 2 electrodos.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 20

Resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días según Wang et al., 2019

% Fibra	Resistividad Eléctrica ($\Omega.m$)
0	120
0.1	110
0.2	107
0.3	95
0.4	92.5
0.5	90

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 20 se muestran los resultados de la resistividad eléctrica del hormigón a los 28 días según el porcentaje de fibra de carbono, los cuales se puede observar con más claridad la influencia en la Figura 19 y se verá la línea de tendencia en la Figura 20.

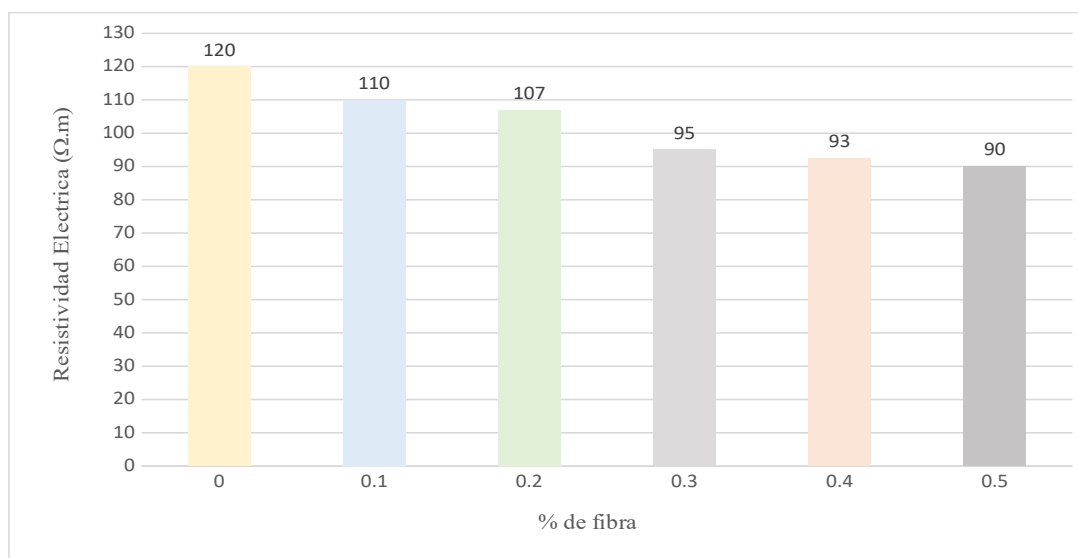


Figura 19. Resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días según Wang et al., 2019

Fuente: Elaboración Propia

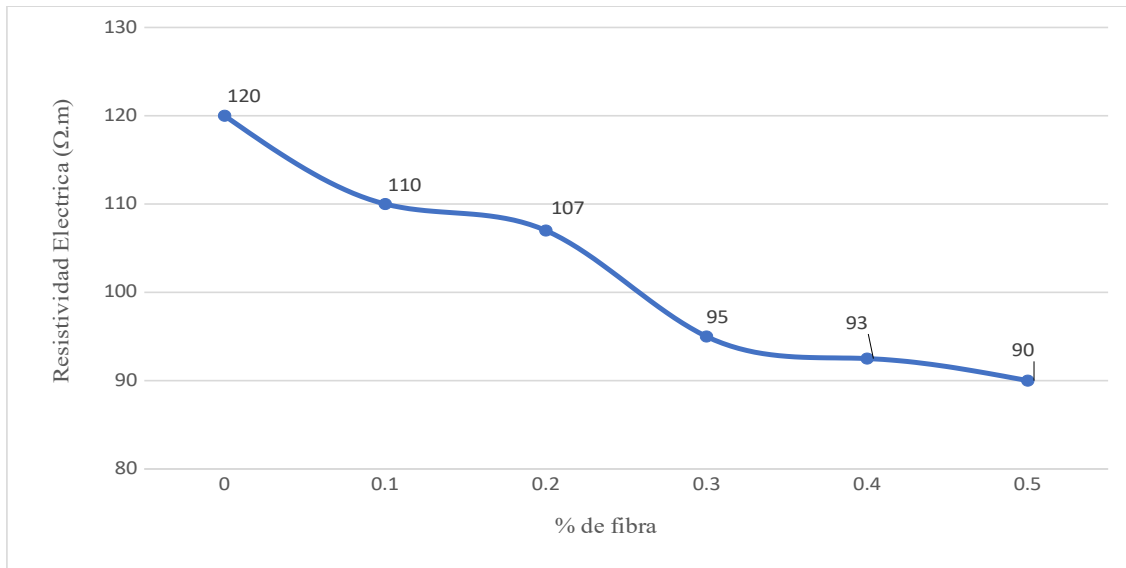


Figura 20. Resultados en línea de tendencia de la resistividad eléctrica a los 28 días según Wang et al., 2019

Fuente: Elaboración Propia

Tian et al., 2021:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento portland ordinario.
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono en porcentajes de 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1% y 1.25% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Pero para fines de la investigación, se interpoló los porcentajes para obtener valores de decimales desde 0.1% hasta 1%.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas de hormigón con una proporción de 1:1 (cemento: agregado), con una relación a/c de 0.35.
- Método de ensayo: El ensayo de resistividad eléctrica se realizó en una probeta, la cual se realizó en método de los 4 electrodos.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 21

Resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días según Tian et al., 2021

% Fibra	Resistividad Eléctrica (Ω.m)
0	1.39
0.1	1.08
0.2	0.77
0.3	0.60
0.4	0.57

0.5	0.54
0.6	0.40
0.7	0.26
0.8	0.19
0.9	0.19
1	0.18

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 21 se muestran los resultados de la resistividad eléctrica del hormigón a los 28 días según el porcentaje de fibra de carbono, los cuales se puede observar con más claridad la influencia en la Figura 21 y se verá la línea de tendencia en la Figura 22.

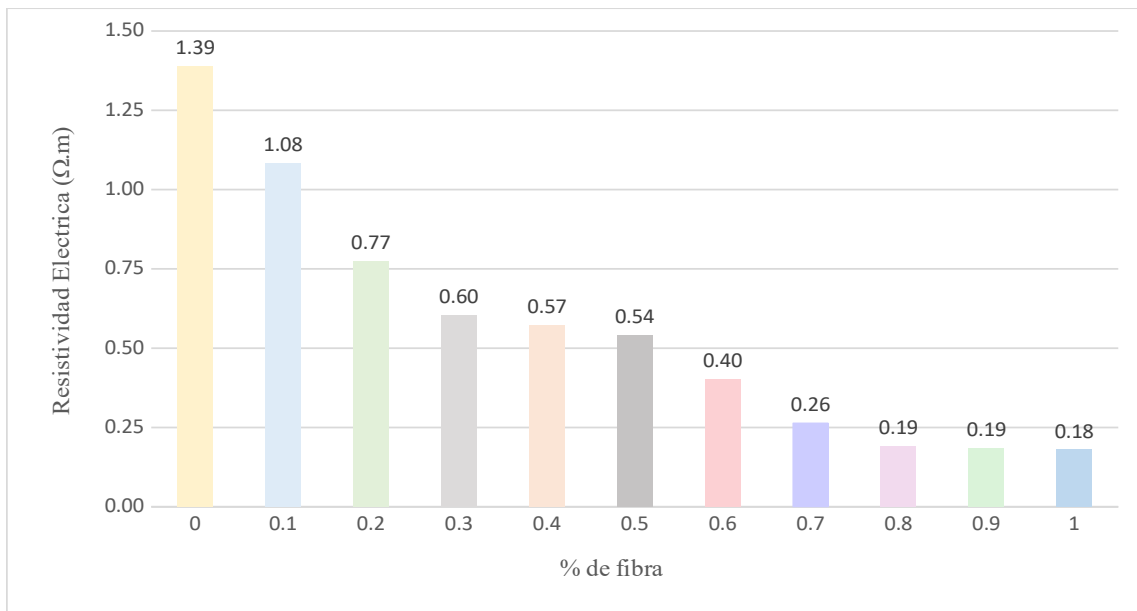


Figura 21. Resultados en línea de tendencia de la resistividad eléctrica a los 28 días según Tian et al., 2021

Fuente: Elaboración Propia

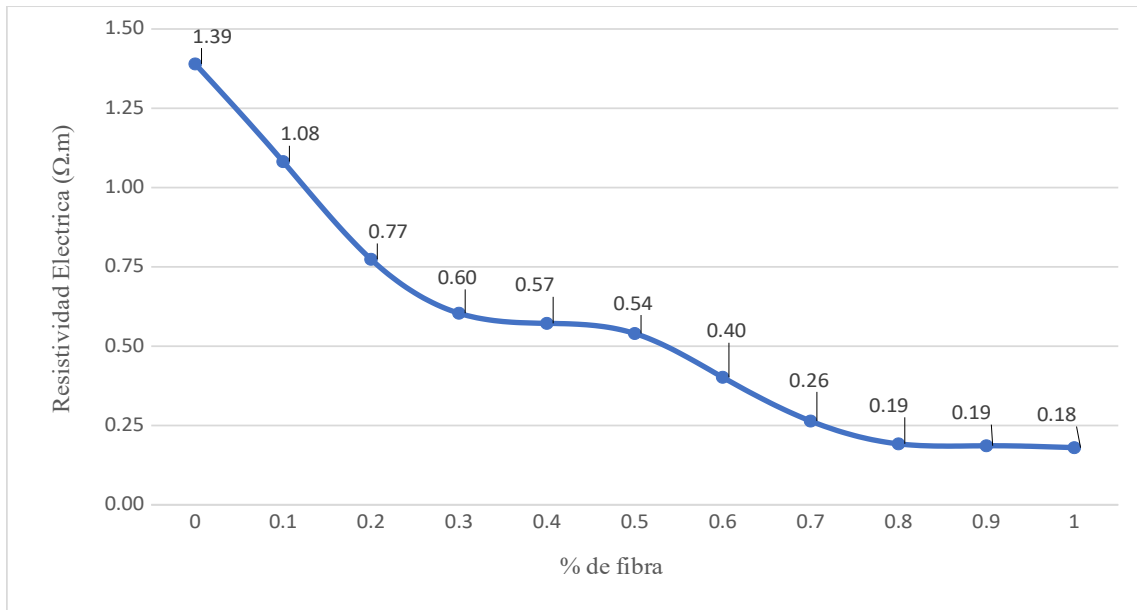


Figura 22. Resultados en línea de tendencia de la resistividad eléctrica a los 28 días según Tian et al., 2021

Fuente: Elaboración Propia

Determinación del porcentaje óptimo de fibra de carbono para la resistividad eléctrica con cemento portland y su relación a/c según los autores:

Tabla 22

Valores de resistividad eléctrica a los 28 días con respecto al porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen basado en cemento portland y su relación a/c del OE3

Autores	%Fibra	a/c	Resistividad Eléctrica (Ω.m)
Wang et al., 2019	0.5	0.36	90
Tian et al., 2021	0.8	0.35	0.19

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 22 se muestran los resultados de resistividad eléctrica a los 28 días según el porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen, utilizando en la mezcla un cemento portland y su relación a/c, el cual podemos observar de una mejor manera en la Figura 23.

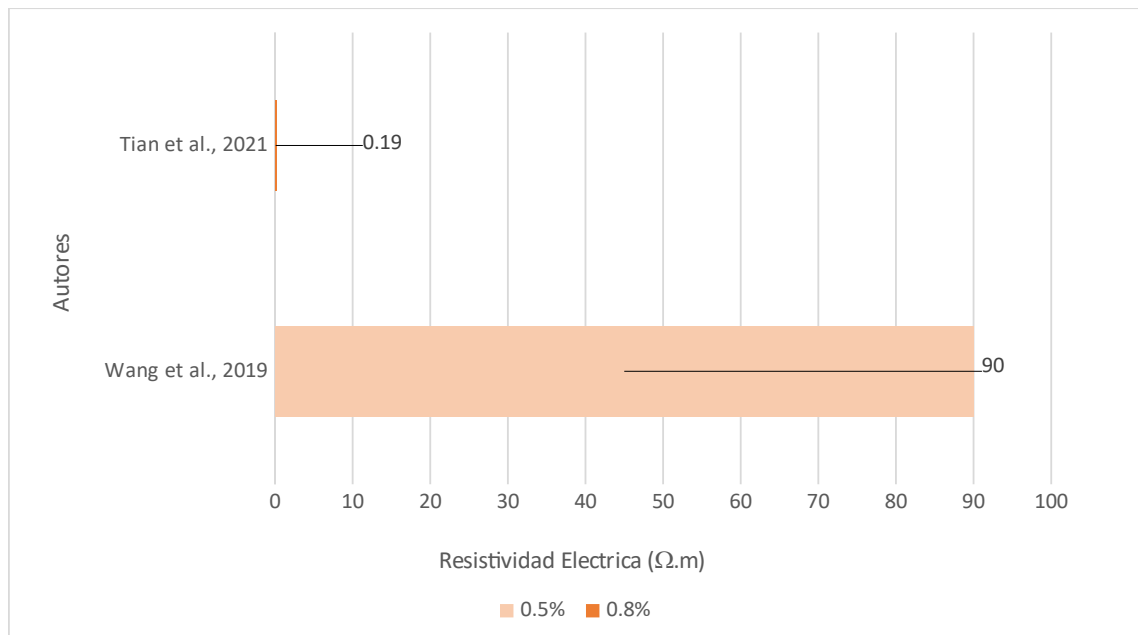


Figura 23. Valores de resistividad eléctrica a los 28 días con respecto al porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen basado en cemento portland y su relación a/c del OE3
Fuente: Elaboración Propia

5.1.4 Relación entre el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada y la resistencia a la compresión del hormigón conductor

Wang et al., 2019:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento ordinario Portland (OPC).
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono reciclada con una longitud de 12 mm en porcentajes de 0% y 1.0% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Para fines de la investigación, se determinó interpolar los valores para tener porcentajes múltiplos de 5.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas con proporción de 1:3 (cemento: agregado), a la cual, se le añadió el 1% del volumen del cemento de fibra de carbono de 12 mm de longitud.
- Método de ensayo: La resistencia a la compresión se determinó en probetas cilíndrica de 50.8 mm de diámetro y 101.6 mm de altura.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 23

Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días según Wang et al., 2019

% Fibra	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
0	490
0.5	465
1	440

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 23 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días según el porcentaje de fibra de carbono reciclada, la cual ha sido representada en la Figura 24.

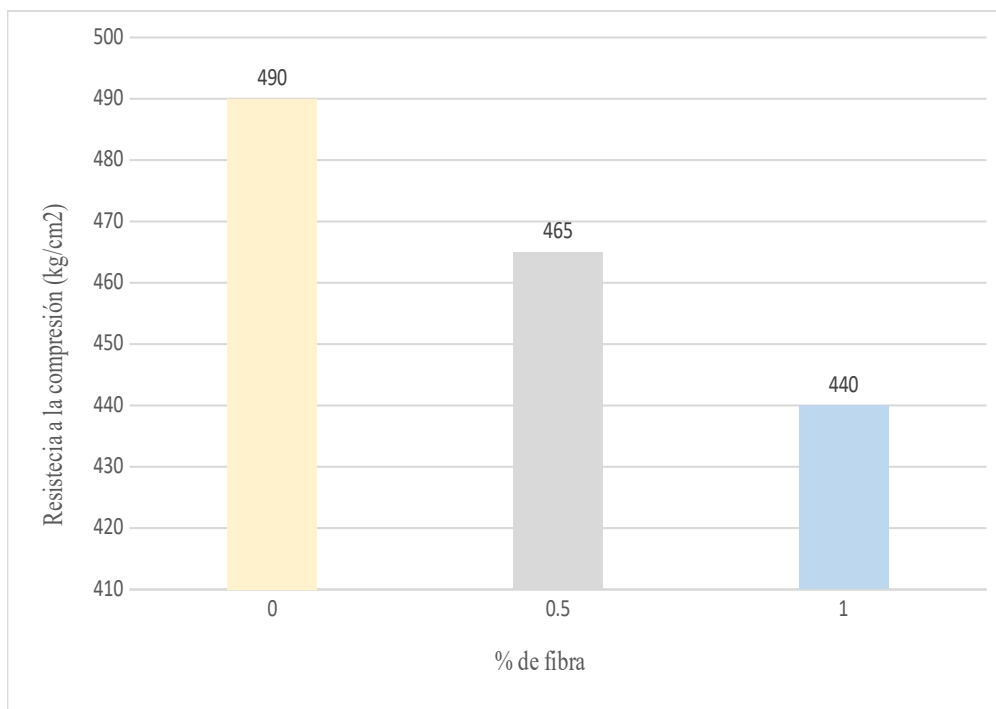


Figura 24 Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada con una relación a/c=0.5 según, Wang et al., 2019

Fuente: Elaboración Propia

Belli et al., 2019:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento ordinario Portland (OPC).
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono reciclada con una longitud de 6 mm en porcentajes de 0%, 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.8%, 1.2% y 1.6% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Para fines de la investigación, se determinó interpolar los valores para tener porcentajes múltiplos de 5.

- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas con proporción de 1:1.5 (cemento: agregado), a la cual, se le añadieron distintos contenidos de fibra de carbono reciclada de 6mm en concentraciones de entre 0.05% y 1.6% del volumen del cemento.
- Método de ensayo: La resistencia a la compresión se determinó en probetas cubicas de 40 x 40 x 160 mm a los 28 días de curado.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 24

Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días según Belli et al., 2020

% Fibra	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
0	480
0.5	526
1	478
1.5	453

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 24 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días según los porcentajes de fibra de carbono reciclada ensayadas, la cual ha sido representada en la Figura 25.

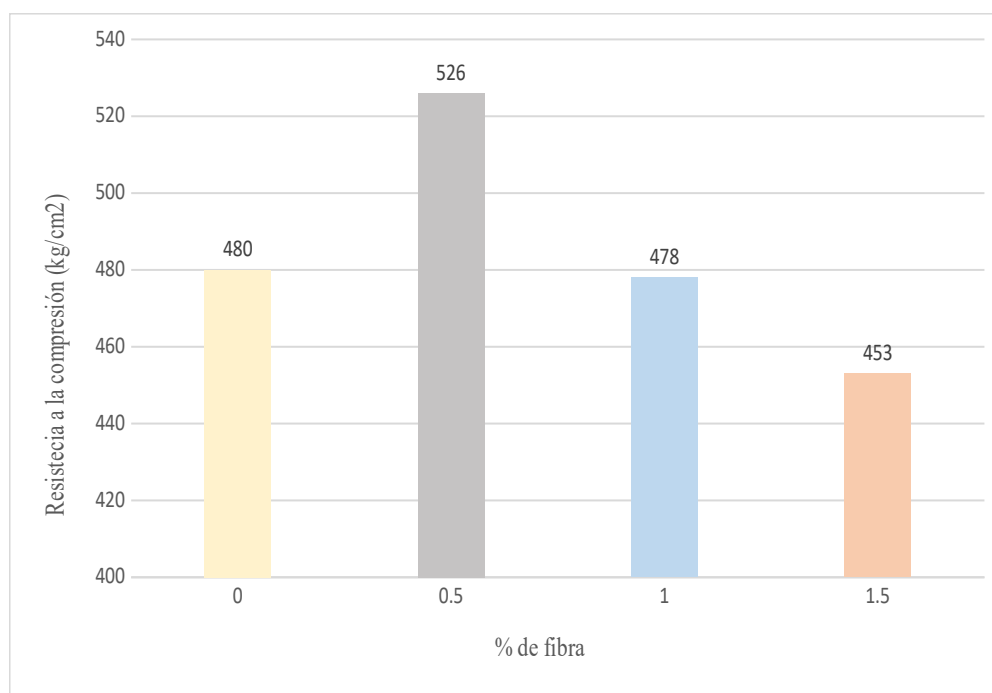


Figura 25. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada de 6mm con una relación a/c=0.5 según, Belli et al., 2019

Fuente: Elaboración Propia

Xiong et al., 2020:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento ordinario Portland (OPC).
- Se utilizó fibra de carbono reciclada en porcentajes de 0.5%, 1%, y 1.5% para poder determinar el contenido óptimo de fibra.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas con una relación de 1:1.09 (cemento: agregado), así como también, se le añadió fibra de carbono con 3 porcentajes diferentes de la misma. Teniendo una relación $a/c=0.40$.
- Método de ensayo: La resistencia a la compresión se determinó en moldes cilíndricos de 100 mm de diámetro y 400 mm de altura a los 28 días de curado.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 25

Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días según Xiong et al., 2020

% Fibra	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
0	536
0.5	549
1	500
1.5	491

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 25 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días según los porcentajes de fibra de carbono reciclada en distintos porcentajes de adición, la cual ha sido representada en la Figura 26.

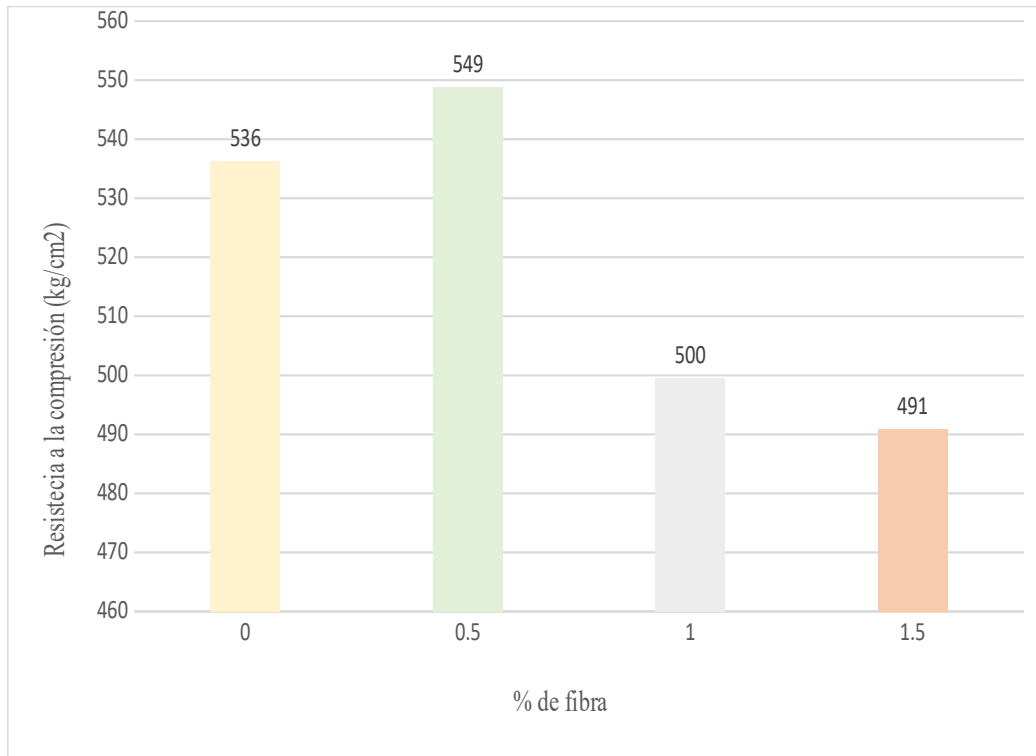


Figura 26. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada con una relación a/c=0.4 según, Xiong et al., 2020

Fuente: Elaboración Propia

Mastali et al., 2016:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento ordinario Portland (OPC).
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono reciclada con una longitud de 6 mm en porcentajes de 0%, 0.25%, 0.75 y 1.25% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Para fines de la investigación, se determinó interpolar los valores para tener porcentajes múltiplos de 5.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas con proporción de 1:0.95 (cemento: agregado fino), a la cual, se le añadieron distintos contenidos de fibra de carbono reciclada de 20mm de longitud, en concentraciones de entre 0% y 1.25% del volumen del cemento.
- Método de ensayo: La resistencia a la compresión se determinó en especímenes cúbicos de 100 x 100 x 100 mm a los 28 días de curado.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 26
Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días según Mastali et al., 2016

% Fibra	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
0	400
0.5	556
1	624
1.5	696

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 26 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días según los porcentajes de fibra de carbono reciclada en distintos porcentajes de adición, la cual ha sido representada en la Figura 27.

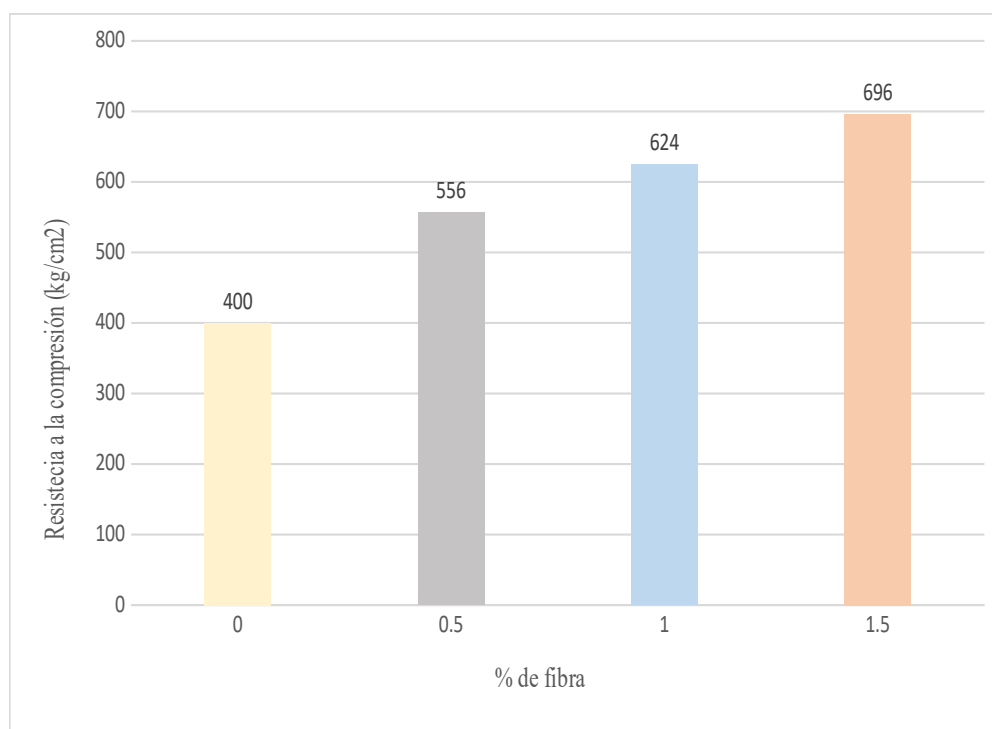


Figura 27. Resistencia a la compresión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada de 20mm con una relación a/c=0.35 según, Mastali et al., 2016

Fuente: Elaboración Propia

Determinación del porcentaje óptimo de fibra según los autores:

Tabla 27

Valores máximos de resistencia a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono reciclada y su relación a/c según los autores del OE 4

Autores	%Fibra	a/c	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Mastali & Dalvand, 2016	1.5	0.35	696
Xiong et al.,2020	0.5	0.4	549
Wang et al., 2019	0	0.5	490

Belli et al., 2020	0.5	0.5	526
--------------------	-----	-----	-----

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 27 se muestran los resultados máximos de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días según el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, el cual podemos observar de una mejor manera en la Figura 28.

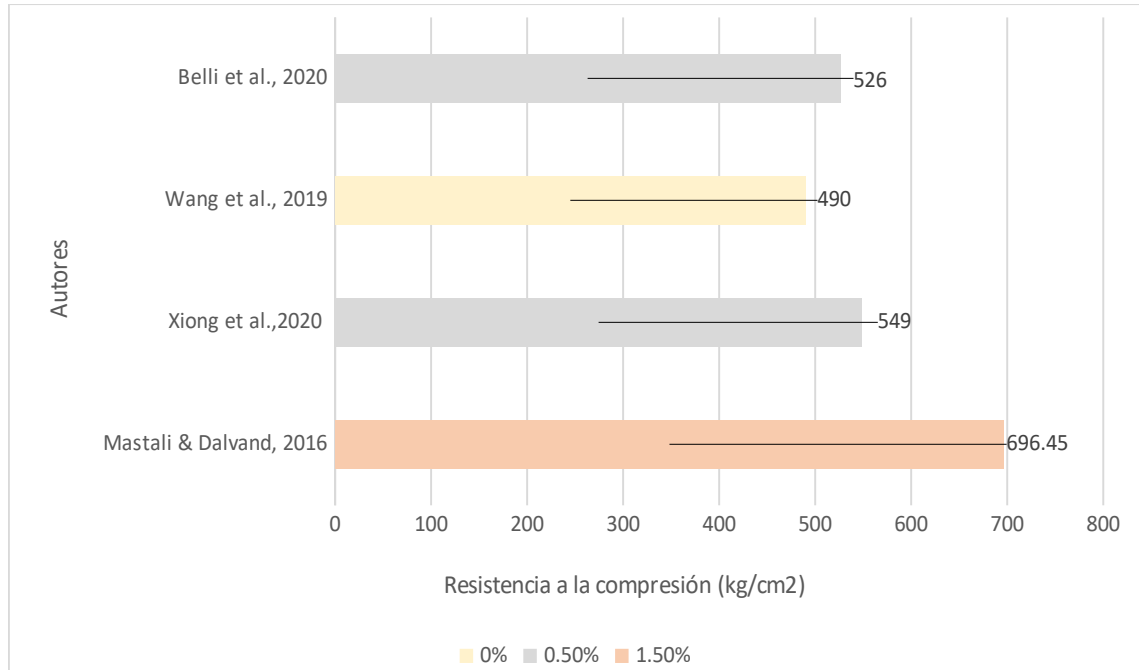


Figura 28. Valores máximos de resistencia a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono reciclada y su relación a/c según los autores del OE 4

Fuente: Elaboración Propia

5.1.5 Relación entre el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada y la resistencia a la flexión del hormigón conductor

Saccani et al., 2019:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento ordinario Portland (OPC).
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono reciclada con una longitud de 5-8 mm.
- En porcentajes de 1.3%, 2.5% y 4.5% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Pero para fines de la investigación, se determinó interpolar los valores para tener porcentajes múltiplos de 5.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas con adición de cemento portland y agregados, así como también, se le añadió fibra de carbono con una longitud entre 5-8 mm, con 3 porcentajes diferentes de la misma. Teniendo una relación a/c=0.40.

- Método de ensayo: La resistencia a la flexión se determinó en vigas prismáticas de 100 x 20 x 20 mm³ a los 28 días de curado.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 28

Resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días según Saccani et al., 2019

% Fibra	Resistencia Flexión (kg/cm ²)
0	32
0.5	43
1	54
1.5	63
2	71
2.5	79

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 28 se muestran los resultados de la resistencia a la flexión del hormigón a los 28 días según la fibra de carbono reciclada en distintos porcentajes de adición, la cual ha sido representada en la Figura 29.

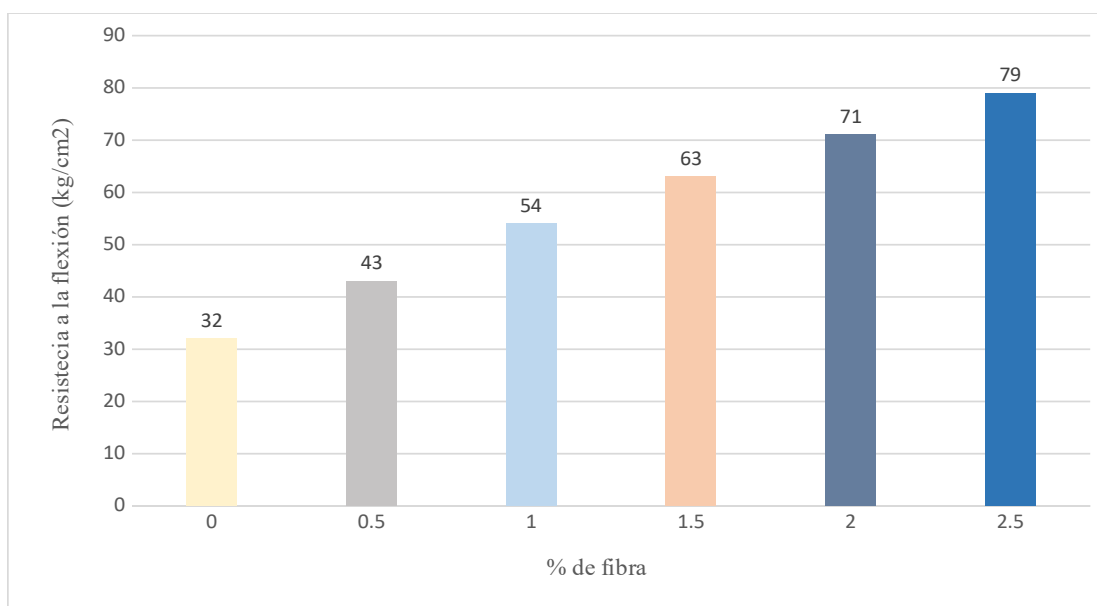


Figura 29. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada con una relación a/c=0.4 según, Saccani et al., 2019

Fuente: Elaboración Propia

Belli et al., 2020:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento ordinario Portland (OPC).

- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizo fibra de carbono reciclada con una longitud de 6 mm.
- En porcentajes de 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.8%, 1.2% y 1.6% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Pero para fines de la investigación, se determinó interpolar los valores para tener porcentajes múltiplos de 5.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas con una relación de 1:1.50 (cemento: agregado) así como también, se le añadió fibra de carbono con una longitud entre 6 mm, con 7 porcentajes diferentes de la misma. Teniendo una relación a/c=0.50.
- Método de ensayo: La resistencia a la flexión se determinó en vigas prismáticas de 160 x 40 x 40 mm³ a los 28 días de curado.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 29

Resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días según Belli et al., 2020

% Fibra	Resistencia Flexión (kg/cm ²)
0	69
0.5	99
1	111
1.5	135

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 29 se muestran los resultados de la resistencia a la flexión del hormigón a los 28 días según la fibra de carbono reciclada en distintos porcentajes de adición, la cual ha sido representada en la Figura 30.

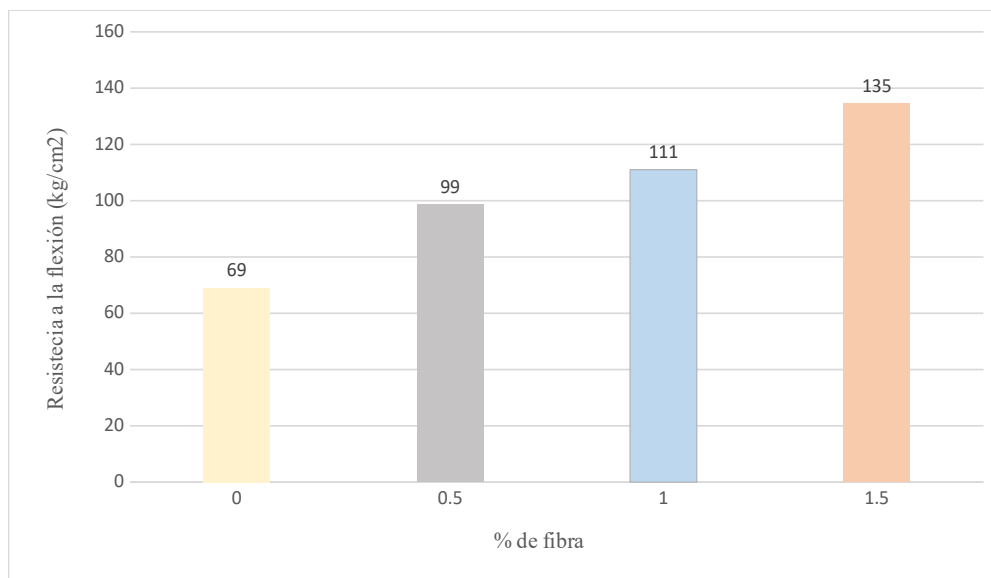


Figura 30. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada con una relación a/c=0.5 según, Belli et al., 2020

Fuente: Elaboración Propia

Xiong et al., 2020:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento ordinario Portland (OPC).
- Se utilizó fibra de carbono reciclada en porcentajes de 0.5%, 1%, y 1.5% para poder determinar el contenido óptimo de fibra.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas con una relación de 1:1.09 (cemento: agregado), así como también, se le añadió fibra de carbono con 3 porcentajes diferentes de la misma. Teniendo una relación a/c=0.40.
- Método de ensayo: La resistencia a la flexión se determinó en vigas prismáticas de 300 x 100 x 100 mm³ a los 28 días de curado.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 30

Resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días según Xiong et al., 2020

% Fibra	Resistencia Flexión (kg/cm ²)
0	45
0.5	49
1	54
1.5	54

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 30 se muestran los resultados de la resistencia a la flexión del hormigón a los 28 días según la fibra de carbono reciclada en distintos porcentajes de adición, la cual ha sido representada en la Figura 31.

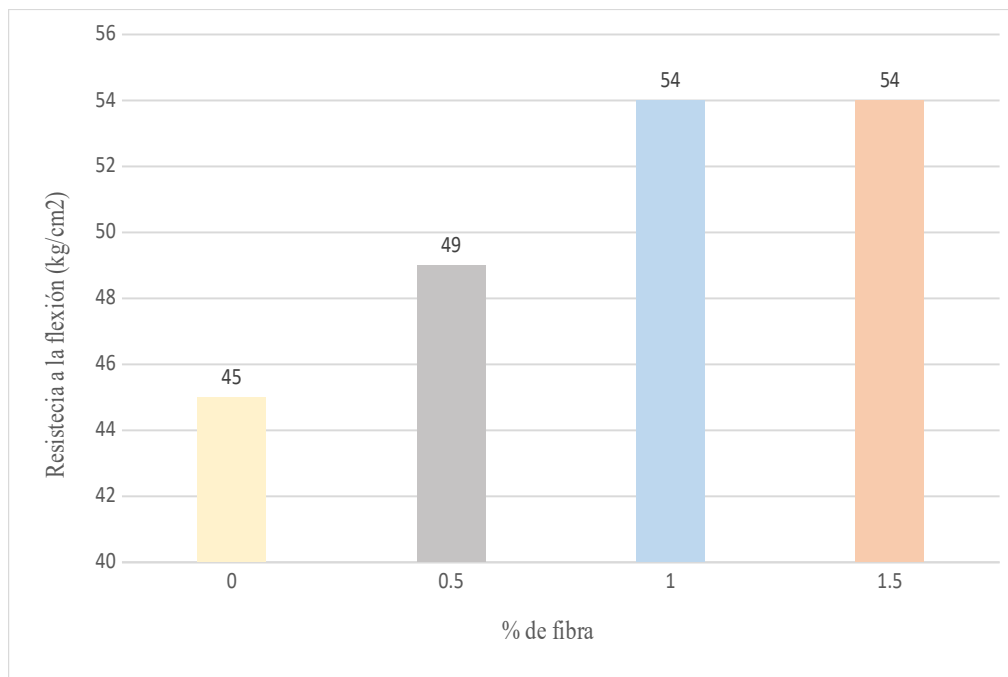


Figura 31. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada con una relación a/c=0.4 según, Xiong et al., 2020
Fuente: Elaboración Propia

Mastali & Dalvand, 2016:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento ordinario Portland (OPC).
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono reciclada con una longitud de 20 mm.
- En porcentajes de 0.25%, 0.75%, y 1.25% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Pero para fines de la investigación, se determinó interpolar los valores para tener porcentajes múltiplos de 5.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas con una relación de 1:0.95 (cemento: agregado), así como también, se le añadió fibra de carbono con 3 porcentajes diferentes de la misma. Teniendo una relación a/c=0.35.
- Método de ensayo: La resistencia a la flexión se determinó en vigas prismáticas de 500 x 60 x 60 mm³ a los 28 días de curado.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 31

Resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días según Mastali & Dalvand, 2016

% Fibra	Resistencia Flexión (kg/cm ²)
0	38
0.5	53
1	60
1.25	63

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 31 se muestran los resultados de la resistencia a la flexión del hormigón a los 28 días según la fibra de carbono reciclada en distintos porcentajes de adición, la cual ha sido representada en la Figura 32.

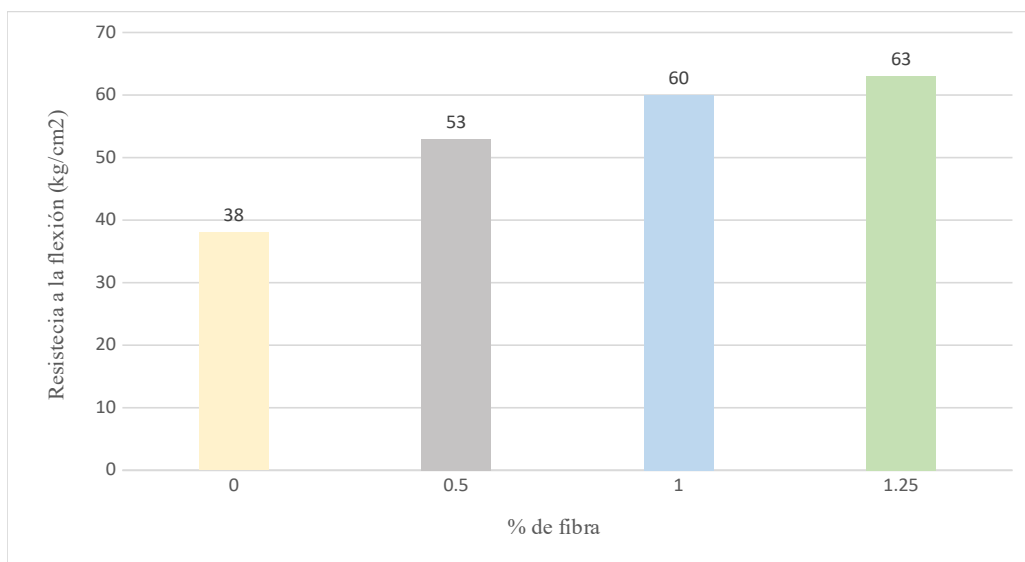


Figura 32. Resistencia a la flexión a los 28 días vs el porcentaje de fibras de carbono reciclada con una relación a/c=0.4 según, Xiong et al., 2020

Fuente: Elaboración Propia

Determinación del porcentaje óptimo de fibra reciclada para la resistencia a la flexión según los autores:

Tabla 32

Valores máximos de resistencia la flexión a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono reciclada y la relación a/c según los autores del OE5

Autores	%Fibra	a/c	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Mastali & Dalvand, 2016	1.5	0.35	63
Xiong et al., 2020	1.25	0.40	54
Saccani et al., 2019	1.5	0.40	79

Belli et al., 2020	2.5	0.50	135
--------------------	-----	------	-----

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 32 se muestran los resultados máximos de la resistencia a la flexión del hormigón a los 28 días según el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada y la relación a/c, el cual podemos observar de una mejor manera en la Figura 33.

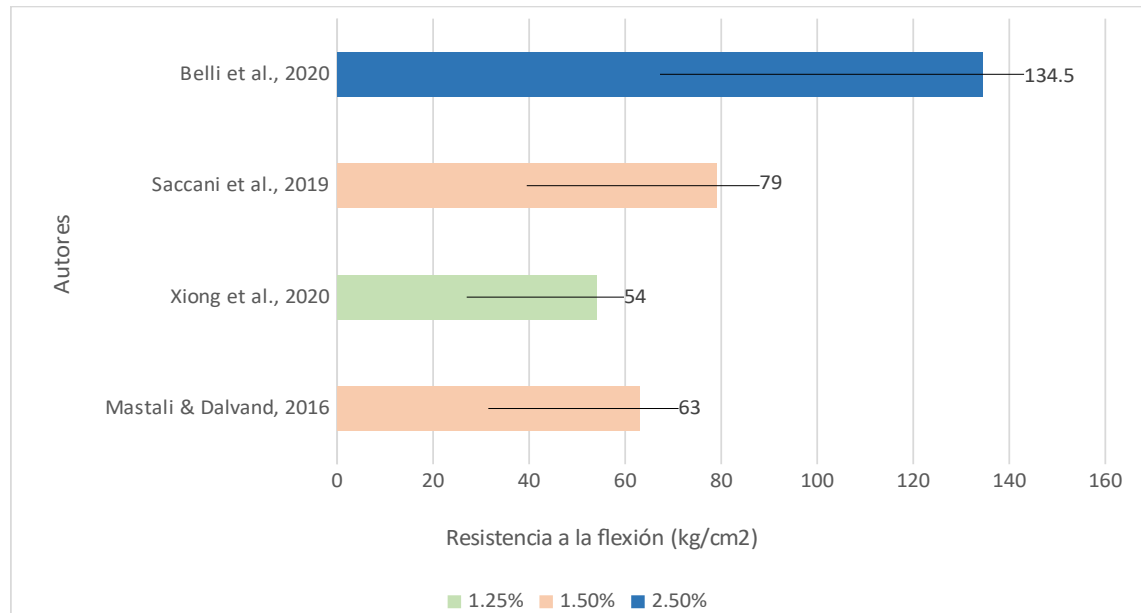


Figura 33. Valores máximos de resistencia a los 28 días con respecto al porcentaje de fibra de carbono reciclada y relación a/c según los autores del OE 5

Fuente: Elaboración Propia

5.1.6 Relación entre el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada y la resistividad eléctrica del hormigón conductor

Wang et al., 2022:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento tipo UHP de alta resistencia.
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono reciclada con una longitud de 20 mm en porcentajes de 0%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.5%, 0.6%, 0.7%, 0.8%, 0.9%, 1.0%, 1.1%, 1.2%, 1.3%, 1.4%, y 1.5% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Para fines de la investigación, se determinó utilizaron los valores múltiplos de 5.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas de cemento Portland P.O. 42.5, arena fina, arena media y agregados; el agente reductor de agua es un superplastificante de policarboxilato. La fibra de carbono reciclada utilizada es el material sobrante producido en el proceso de

producción de una empresa dedicada a la elaboración de productos aeronáuticos. Además, se tiene una relación agua-cemento $a/c=0.253$.

- Método de ensayo: La prueba de conductividad adopta un cuadrado de cuatro electrodos método, el tamaño de la muestra es $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 33

Resultados de la resistividad eléctrica de la fibra reciclada a los 28 días según Wang et al., 2022

% Fibra	Resistividad eléctrica ($\Omega.m$)
0	28.5
0.1	14.5
0.2	14
0.3	11
0.4	2.8
0.5	0.7
0.6	1.5
0.7	2
0.8	0.9
0.9	0.2
1	0.5
1.1	0.22
1.2	0.23
1.3	0.25
1.4	0.23
1.5	0.21

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 33 se muestran los resultados de la resistividad eléctrica del hormigón a los 28 días según el porcentaje de fibra de carbono reciclado, los cuales se puede observar con más claridad la influencia en la Figura 34 y se verá la línea de tendencia en la Figura 35.

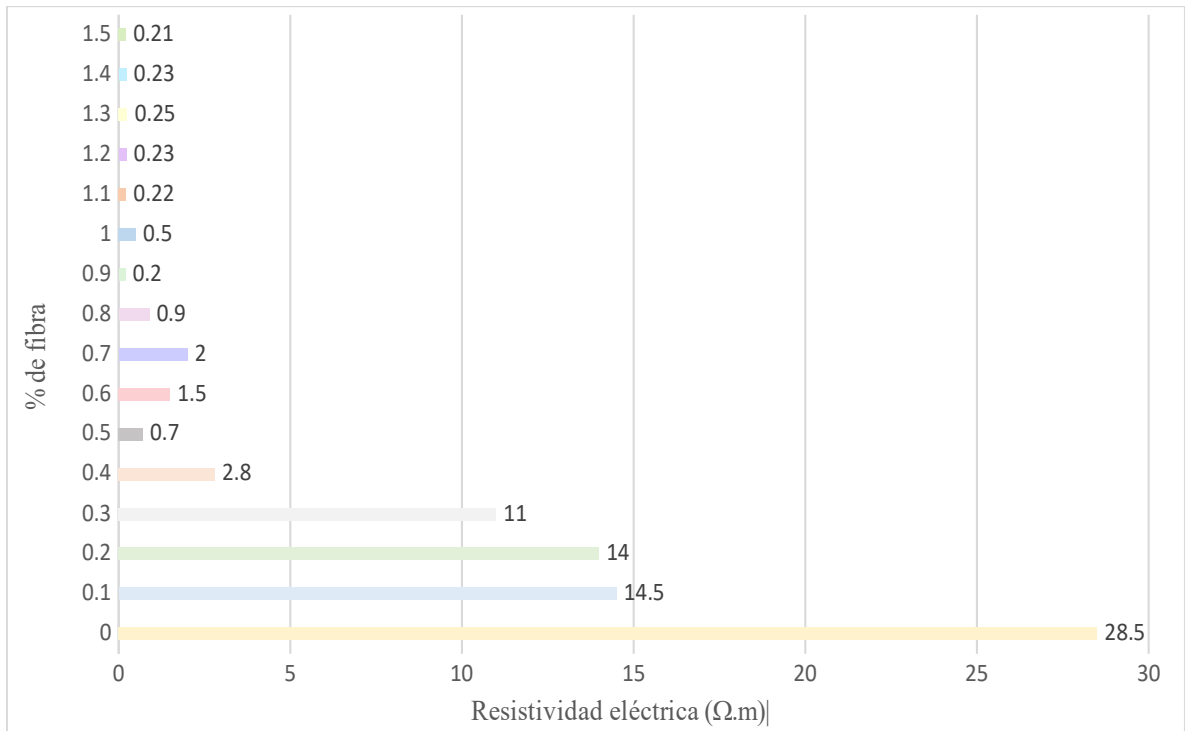


Figura 34. Resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días según Wang et al., 2022
Fuente: Elaboración Propia

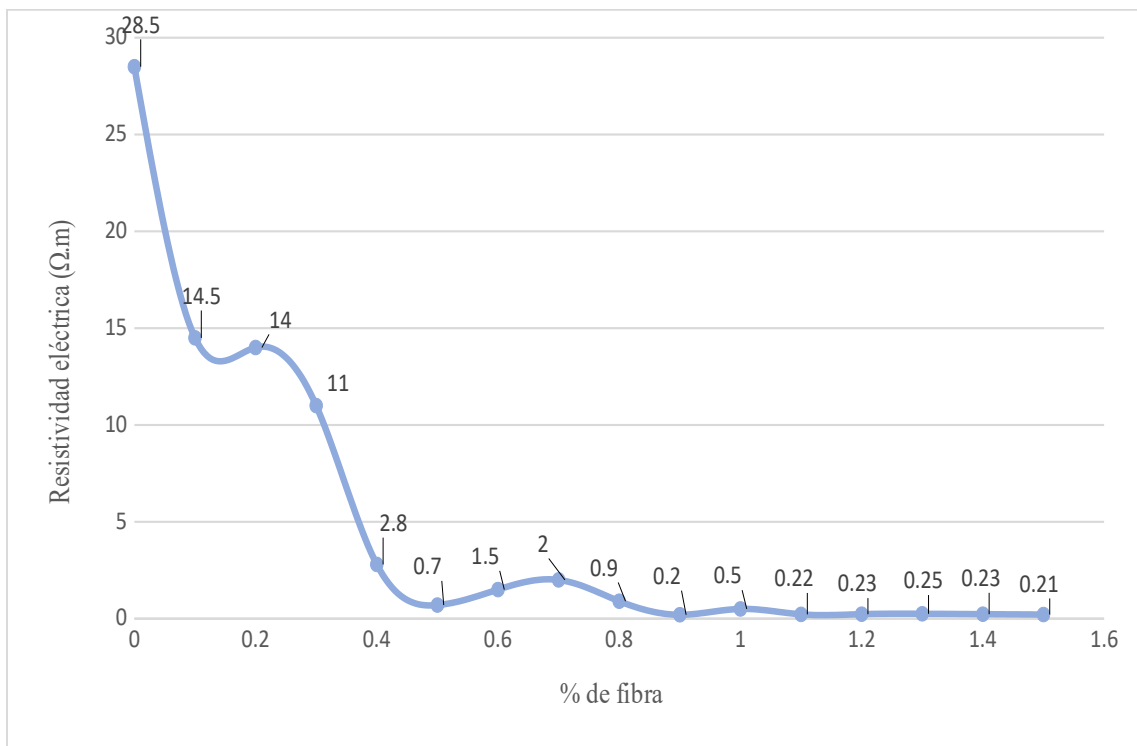


Figura 35. Resultados en línea de tendencia de la resistividad eléctrica a los 28 días según Wang et al., 2022

Fuente: Elaboración Propia

Segura et al., 2019:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento portland 42.5R de uso común.

- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono reciclada con una longitud de 20 mm en porcentajes de 0%, 0.2%, 0.4%, 0.5%, 0.6%, 0.7%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, y 1.4% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Para fines de la investigación, se determinó interpolar los valores para tener porcentajes múltiplos de 5.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas de cemento Portland, la arena utilizada fue arena silícea y se incorporó polvo fino de carbonato de calcio (Betoflow) a las diferentes dosificaciones para conseguir una óptima trabajabilidad de las mezclas con un bajo consumo de superplastificantes. Tanto un superplastificante de polycarboxilato (Glenium ACE425) como una suspensión de nanosilice (Meyco MS685). Además, se tiene una relación agua-cemento $a/c=0.14$.
- Método de ensayo: La prueba de resistividad opta por el ensayo de los cuatro electrodos, el tamaño de la muestra es 40 mm × 40 mm × 160 mm.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 34

Resultados de la resistividad eléctrica de la fibra reciclada a los 28 días según Segura et al., 2019

% Fibra	Resistividad eléctrica ($\Omega.m$)
0	66.67
0.1	41.03
0.2	15.39
0.3	10.92
0.4	6.45
0.5	5.26
0.6	5.35
0.7	6.49
0.8	6.85
0.9	7.85
1	8.85
1.1	9.19

1.2	9.52
1.3	11.91
1.4	14.29
1.5	16.67

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 34 se muestran los resultados de la resistividad eléctrica del hormigón a los 28 días según el porcentaje de fibra de carbono reciclado, los cuales se puede observar con más claridad la influencia en la Figura 36 y se verá la línea de tendencia en la Figura 37.

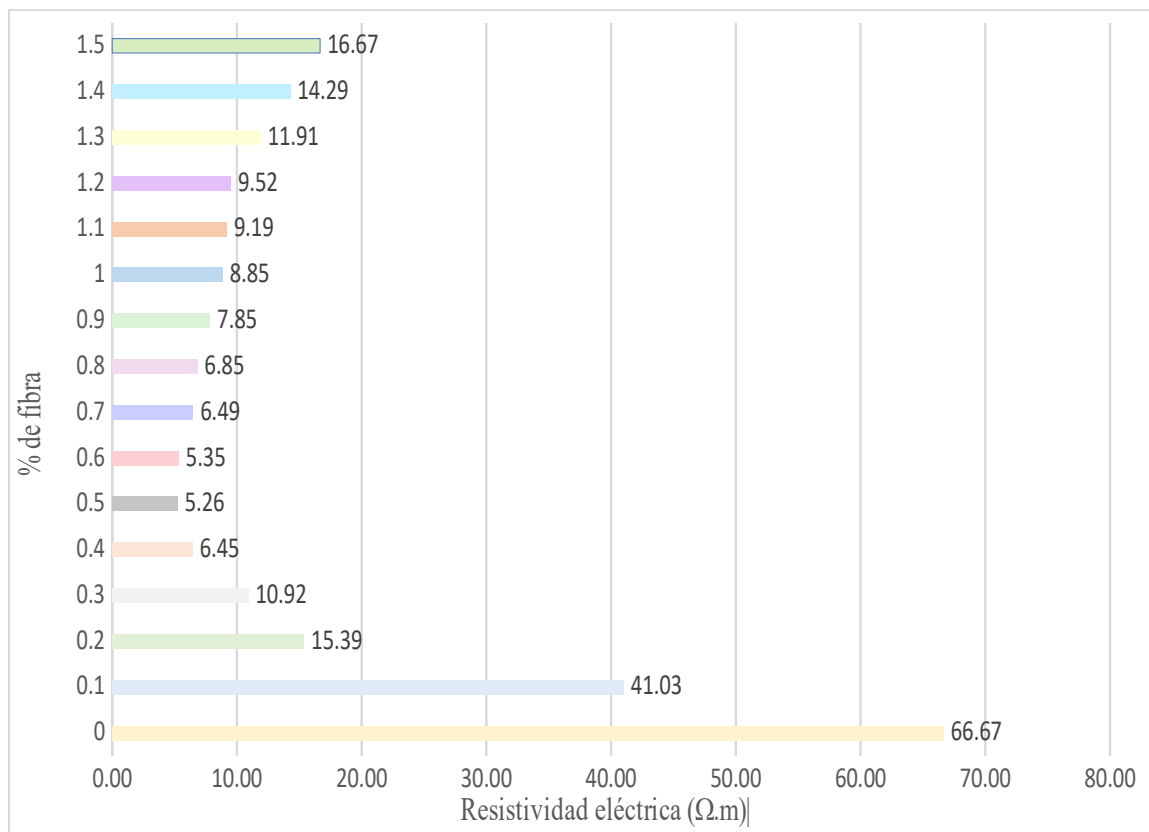


Figura 36. Resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días según Segura et al., 2019

Fuente: Elaboración Propia

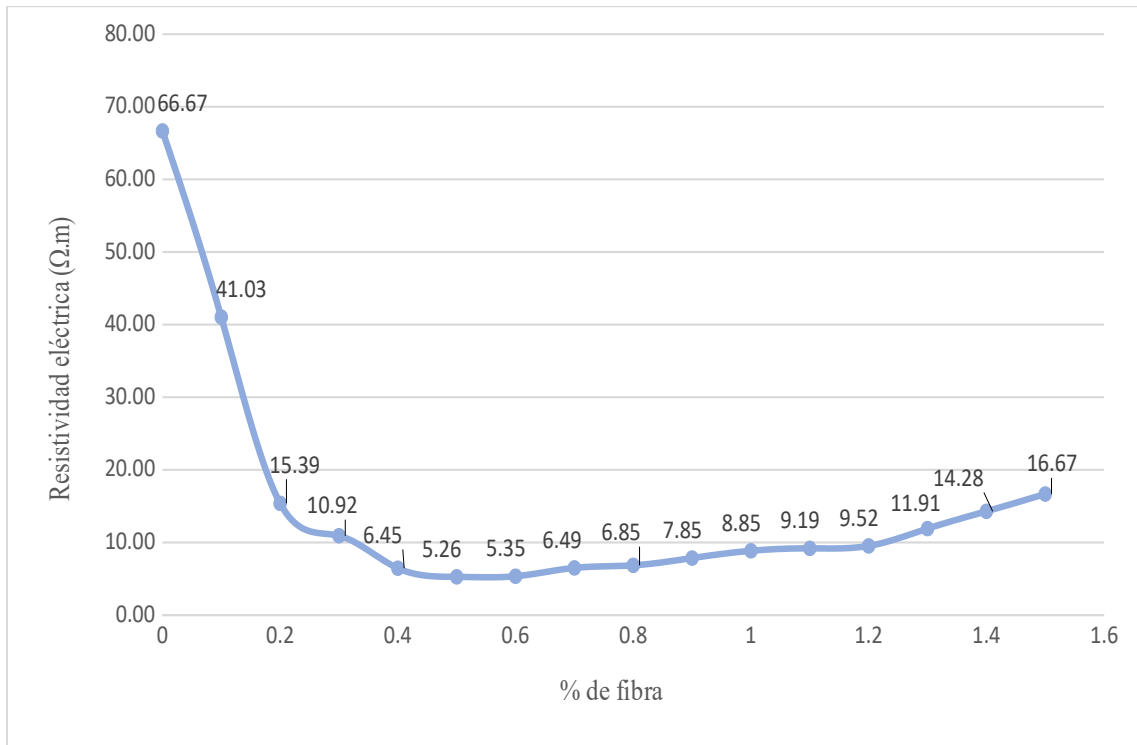


Figura 37. Resultados en línea de tendencia de la resistividad eléctrica a los 28 días según Segura et al., 2019

Fuente: Elaboración Propia

López, E., 2015:

- Tipo de cemento: Se utilizó como material el cemento tipo 1.
- Porcentaje de fibra de carbono: Se utilizó fibra de carbono reciclada con una longitud de 20 mm en porcentajes de 0%, 0.2%, 0.4%, 0.5%, 0.6%, 0.7%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, y 1.4% para poder determinar el contenido óptimo de fibra. Para fines de la investigación, se determinó interpolar los valores para tener porcentajes múltiplos de 5.
- Diseño de mezcla: Se prepararon mezclas de cemento Portland, arena, Betoflow: filler de carbonato cálcico, Powerflow 1120: es un superplastificante y MEYCO MS 685. Además, se tiene una relación agua-cemento $a/c=0.14$.
- Método de ensayo: La prueba de resistividad opta por el ensayo de los cuatro electrodos.

Resultado del ensayo experimental:

Tabla 35

Resultados de la resistividad eléctrica de la fibra reciclada a los 28 días según López E., 2015

% Fibra	Resistividad eléctrica
---------	------------------------

	($\Omega.m$)
0	200.00
0.1	41.03
0.2	15.87
0.3	10.92
0.4	8.07
0.5	4.90
0.6	5.44
0.7	5.65
0.8	6.41
0.9	7.85
1	9.01
1.1	9.19
1.2	9.80
1.3	11.91
1.4	13.514
1.5	16.67

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 35 se muestran los resultados de la resistividad eléctrica del hormigón a los 28 días según el porcentaje de fibra de carbono reciclado, los cuales se puede observar con más claridad la influencia en la Figura 38 y se verá la línea de tendencia en la Figura 39.

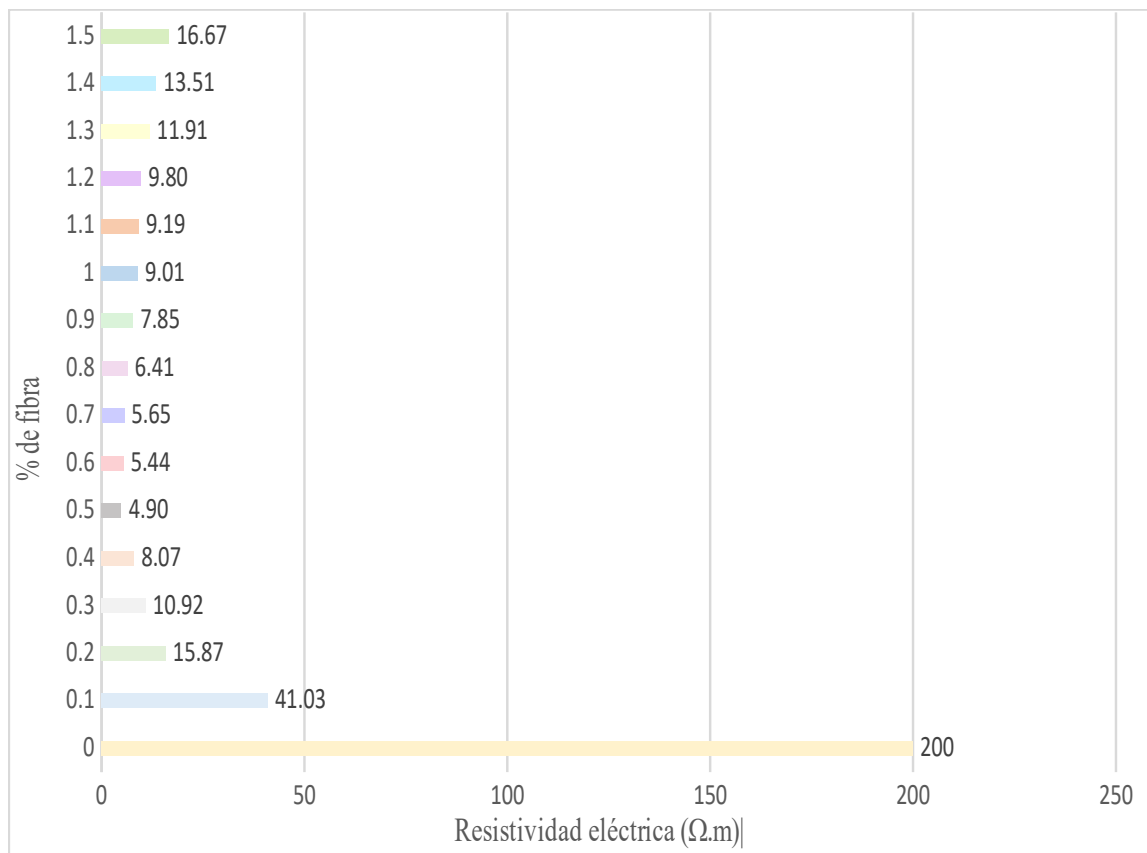


Figura 38. Resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días según López E., 2015

Fuente: Elaboración Propia

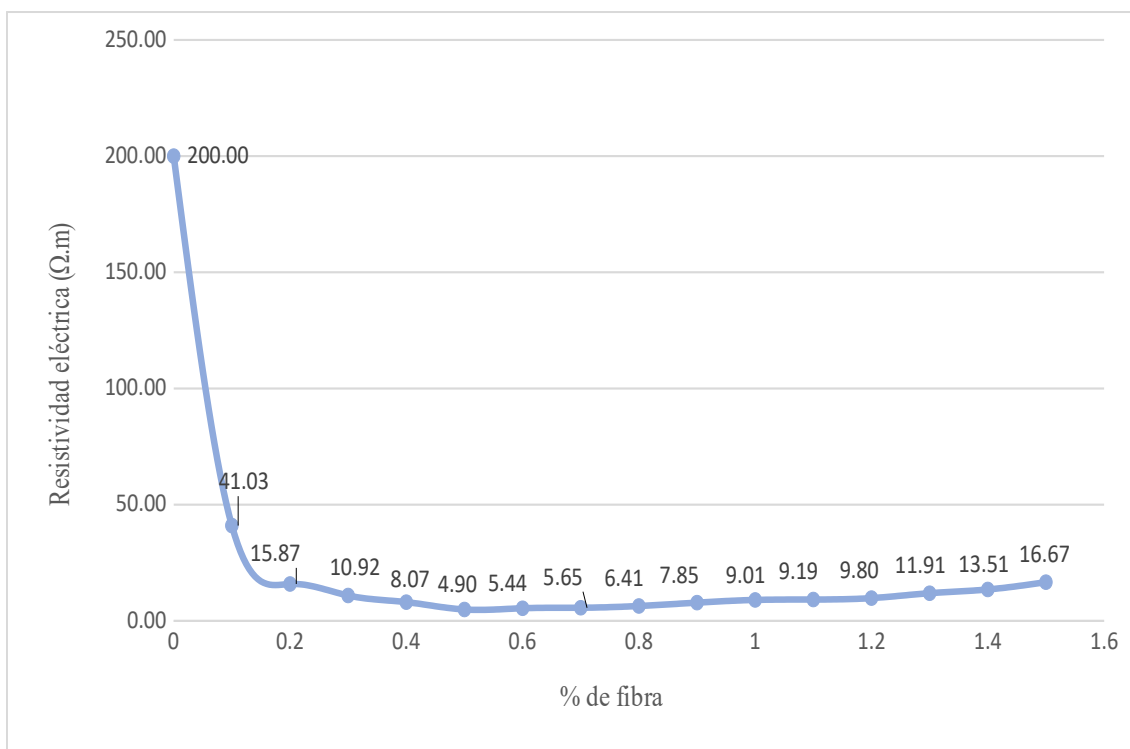


Figura 39. Resultados en línea de tendencia de la resistividad eléctrica a los 28 días según López E., 2015
Fuente: Elaboración Propia

Determinación del porcentaje óptimo de fibra de carbono para la resistividad eléctrica con cemento portland y su relación a/c según los autores:

Tabla 36

Valores de resistividad eléctrica a los 28 días con respecto al porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada basado en cemento portland y su relación a/c del OE6

Autores	%Fibra	a/c	Resistividad Eléctrica (Ω.m)
Wang et al., 2022	0.90	0.50	0.20
Segura et al., 2019	0.40	0.14	6.45
López, E., 2015	0.5	0.14	4.902

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 36 se muestran los resultados de resistividad eléctrica a los 28 días según el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, utilizando en la mezcla un cemento portland y su relación a/c, el cual podemos observar de una mejor manera en la Figura 40.

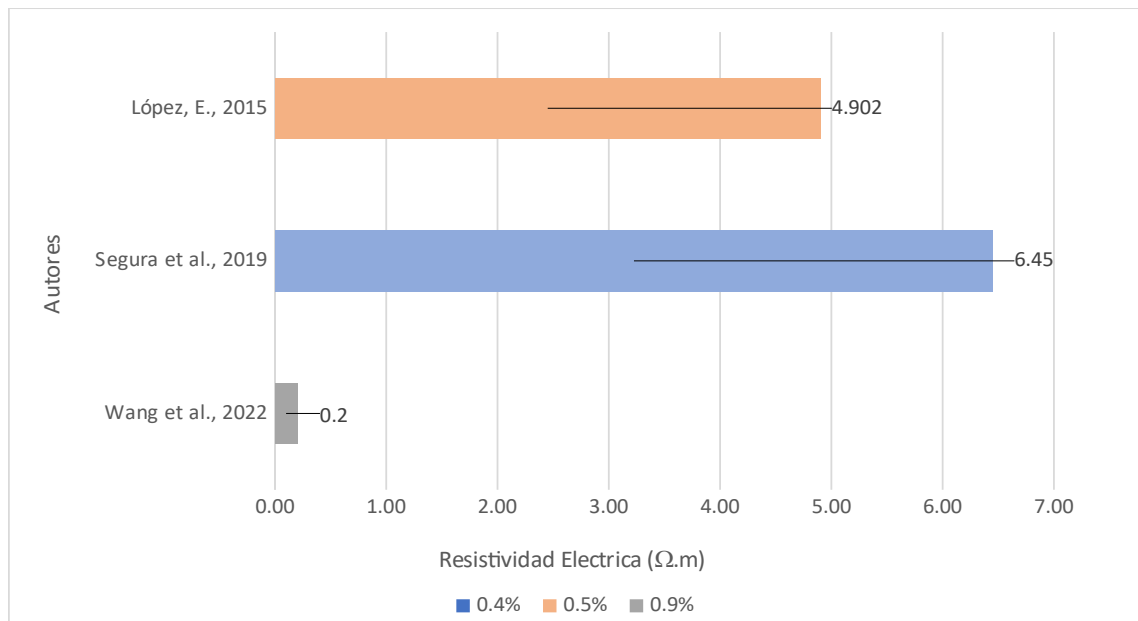


Figura 40. Valores de resistividad eléctrica a los 28 días con respecto al porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada basado en cemento portland y su relación a/c del OE6

Fuente: Elaboración Propia

5.2 Análisis y contrastación de los resultados

5.2.1 Hipótesis 1: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, incrementa la resistencia a la compresión del hormigón conductor

Para poder analizar la influencia que tiene la fibra de carbono virgen en la mezcla del hormigón conductor, y luego poder comprobar su resistencia a la compresión, es importante tener los resultados más favorables de los ensayos de laboratorio de los artículos investigados tal como se muestra en el Anexo 5.

Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, incrementa la resistencia a la compresión del hormigón conductor

H1: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, disminuye la resistencia a la compresión del hormigón conductor

- Ghanem & Bowling, 2019:

De la Figura 9 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono incrementa, teniendo como máximo valor de esta al 1% de adición de fibra, el cual presenta 56 kg/cm² más que la resistencia del hormigón sin fibra, que es un 13.69% más, pero al

adicionar más fibra, esta va disminuyendo, teniendo así que, con un 2% de adición de fibra, este tiene 14 kg/cm² menos que sin adición de esta, el cual es un 3.36% menos, respecto a la resistencia del hormigón sin fibra de carbono.

- Ullah et al., 2021:

De la Figura 10 se obtiene que: La resistencia a los 28 días con una relación a/c=0.40, al añadir fibra de carbono virgen, esta incrementa hasta un porcentaje máximo de 1% de fibra, el cual presenta 40 kg/cm² más que la resistencia del hormigón sin fibra, el cual es un 14.55% más de la misma, pero al seguir añadiendo fibra, esta resistencia empieza a disminuir, teniendo que, al llegar al 2% de fibra, este disminuye 10 kg/cm², el cual representa el 4.35% menos que la resistencia del hormigón sin adición de fibra.

De la Figura 11 se obtiene que: La resistencia a los 28 días con una relación a/c=0.38, al añadir fibra de carbono virgen, esta incrementa hasta un porcentaje máximo de 1% de fibra, el cual presenta 50 kg/cm² más que la resistencia del hormigón sin fibra, el cual es un 18.52% más de la misma, pero al seguir añadiendo fibra, esta resistencia empieza a disminuir, teniendo que, al llegar al 2% de fibra, este disminuye 30 kg/cm², el cual representa el 10.91% menos que la resistencia del hormigón sin adición de fibra.

- De Jia et al., 2018:

De la Figura 12 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono incrementa, teniendo que al añadir 0.5% de fibra, siendo este 23 kg/cm² más que la resistencia del hormigón sin fibra, el cual es un 7.62% más, así como al añadir un 1% de fibra, la resistencia a la compresión incrementa en 58 kg/cm², teniendo un 19.21% más que la resistencia sin la adición de fibra de carbono reciclada.

- Maleki et al., 2017:

De la Figura 13 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono va incrementando, teniendo como máximo valor de esta al 0.5% de adición de fibra, el cual es un 69

kg/cm² más que la resistencia del hormigón sin fibra, que es un 17.08% más, pero al adicionar más fibra, esta va disminuyendo, teniendo así que, con un 2% de adición de fibra, este tiene 178 kg/cm² menos que sin adición de esta, el cual es un 43.73% menos, respecto a la resistencia del hormigón sin fibra de carbono reciclada.

- Según la determinación del porcentaje óptimo de fibra basado en los autores

De la Figura 14 se obtiene que: Para la resistencia a los 28 días, para los autores mencionados, nos muestran el porcentaje óptimo de fibra de carbono para cada una de sus muestras con sus respectivas resistencias, teniendo así porcentajes de fibra de 0.5 % y 1 %.

De los artículos revisados podemos observar que conforme se va incrementando el porcentaje de fibra de carbono, la resistencia a la compresión incrementa, pero en algunos artículos se pueden observar que solo incrementa hasta un cierto punto, que es el pico de resistencia que se puede obtener, luego de eso, la resistencia a la compresión empieza a disminuir, ocurriendo esto ya que, al incrementar mucha más fibra pasando el pico, esta se dispersa mucho más en la mezcla, lo cual no genera una buena cohesión.

Por lo antes expuesto, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que la resistencia a la compresión incrementa al incrementar el porcentaje de fibra de carbono, pero solo hasta un valor óptimo de fibra.

5.2.2 Hipótesis 2: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor

Para poder analizar la influencia que tiene la fibra de carbono en la mezcla del hormigón conductor, y luego poder comprobar su resistencia a la flexión, es importante tener los resultados más favorables de los ensayos de laboratorio de los artículos investigados tal como se muestra en el Anexo 6.

Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor

H1: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, disminuye la resistencia a la flexión del hormigón conductor

- Ghanem & Bowling, 2019:

De la Figura 15 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono incrementa, teniendo así que el máximo valor en resistencia es cuando se le añade 2.0% de fibra de carbono virgen, teniendo 9 kg/cm^2 más que el sin adición de fibra, el cual es un 16.04% más con respecto a la resistencia a la flexión de la muestra sin la adición de fibra de carbono virgen.

- Maleki et al., 2017:

De la Figura 16 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono incrementa con una adición de 0.5% de porcentaje de fibra de carbono, con un valor pico de 117 kg/cm^2 , siendo este, siendo este un 76.79% más que la resistencia a la flexión sin adición de fibra, pero al ir añadiendo mayores porcentajes de fibra, los valores de resistencia comienzan a disminuir, por lo cual, cuando se añade 2% de fibra, se tiene una resistencia de 6 kg/cm^2 menos, teniendo así 9.42% menos resistencia que la muestra sin fibra.

- Bustos A., 2018:

De la Figura 17 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono disminuye, teniendo así que el máximo valor en resistencia es sin la adición de fibra de carbono virgen, se muestra que al añadir hasta un porcentaje de 1% de fibra, la resistencia a la flexión es de 60 kg/cm^2 , lo cual equivale a 14.64% menos que la muestra sin fibra. Por lo tanto,

- Según la determinación del porcentaje óptimo de fibra basado en los autores

De la Figura 18 se obtiene que: Para la resistencia a los 28 días, según los autores mencionados, nos muestran el porcentaje óptimo de fibra de carbono para cada una de sus muestras con sus respectivas resistencias, teniendo así porcentajes de fibra de 0.5% y 2 %.

De los artículos revisados podemos observar que conforme se va incrementando el porcentaje de fibra de carbono, la resistencia a la flexión incrementa hasta un cierto punto, que es el pico de resistencia que se puede obtener, luego de eso, la resistencia a la flexión empieza a disminuir, ocurriendo esto ya que, al incrementar mucha más fibra pasando el pico, esta se dispersa mucho más en la mezcla, lo cual no genera una buena cohesión.

Por lo antes expuesto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que se demuestra según las observaciones, que la resistencia a la compresión incrementa al incrementar el porcentaje de fibra de carbono, pero solo hasta un valor óptimo de fibra.

5.2.3 Hipótesis 3: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor

Para poder analizar la influencia que tiene la fibra de carbono en la mezcla del hormigón conductor, y luego poder comprobar la resistividad eléctrica, es importante tener los resultados más favorables de los ensayos de laboratorio de los artículos investigados tal como se muestra en el Anexo 7.

Hipótesis auxiliar

H_0 : Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor

H_1 : Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, incrementa la resistividad eléctrica del hormigón conductor

- Wang et al., 2019:

De la Figura 20 se obtiene que: La resistividad eléctrica a los 28 días, con la adición de fibras de carbono disminuye, teniendo así que al añadir un porcentaje de fibra de 0.5%, este genera la última disminución, variando de 92.5 $\Omega.m$ con la adición de 0.4% de fibra, hasta 90 $\Omega.m$, es por esto que este artículo determina como porcentaje óptimo de fibra la adición de 0.5 %.

- Tian et al., 2021:

De la Figura 22 se obtiene que: La resistividad eléctrica a los 28 días, con la adición de fibras de carbono disminuye, teniendo así que al añadir un porcentaje de fibra de 0.8%, este genera la última disminución, variando de 0.26 Ω .m con la adición de 0.7% de fibra, hasta 0.19 Ω .m, teniendo que después se tiene un valor constante, es por esto que este artículo determina como porcentaje óptimo de fibra la adición de 0.8 %.

- Según la determinación del porcentaje óptimo de fibra de carbono para la resistividad eléctrica con cemento portland y el método de 2 electrodos según los autores:

De la Figura 23 se obtiene que: Para la resistividad eléctrica a los 28 días, según los autores mencionados, nos muestran el porcentaje óptimo de fibra de carbono para cada una de sus muestras con sus respectivas resistividades eléctricas, teniendo así porcentajes de fibra de 0.5% y 0.8% para el hormigón con cemento portland con el método de 2 electrodos.

5.2.4 Hipótesis 4: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, incrementa la resistencia a la compresión del hormigón conductor

Para poder analizar la influencia que tiene la fibra de carbono reciclada en la mezcla del hormigón conductor, y luego poder comprobar su resistencia a la compresión, es importante tener los resultados más favorables de los ensayos de laboratorio de los artículos investigados tal como se muestra en el Anexo 8.

Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, incrementa la resistencia a la compresión del hormigón conductor

H1: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, disminuye la resistencia a la compresión del hormigón conductor

- Wang et al., 2019:

De la Figura 24 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono disminuye, teniendo así que el valor de la resistencia al añadir un porcentaje de 1% es de 50kg/cm² menos que la resistencia del hormigón sin fibra, que es un 10.20% menos, por lo cual el uso de fibra en este artículo no es muy favorable para tener una mejor resistencia a la compresión.

- Belli et al., 2019:

De la Figura 25 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono incrementa al añadir un porcentaje de fibra de 0.5%, teniendo así un valor máximo de resistencia de 526 kg/cm², el cual presenta 110 kg/cm² más que la resistencia del hormigón sin fibra, que es un 46% más, pero al adicionar más fibra, esta va disminuyendo con respecto a la primera dosis de fibra, pero sigue siendo mayor que la mezcla sin fibra, hasta que al añadir un porcentaje de 1.5%, la resistencia ya empieza a disminuir con respecto a la inicial, teniendo que, la resistencia es 27 kg/cm² menos que la resistencia del hormigón sin fibras, siendo este 5.63% menos.

- Xiong et al., 2020:

De la Figura 26 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono reciclada incrementa hasta un cierto porcentaje el cual, al añadir 0.5% de fibra la resistencia a la compresión incrementa en 13 kg/cm², siendo este un 2.43% más que la resistencia sin la adición de fibra, , pero al adicionar más fibra, esta va disminuyendo con respecto a la primera dosis de fibra, pero sigue siendo mayor que la mezcla sin fibra, hasta que al añadir un porcentaje de 1.5%, la resistencia ya empieza a disminuir con respecto a la inicial, teniendo que, la resistencia es 45 kg/cm² menos que la resistencia del hormigón sin fibras, siendo este 8.40% menos.

- Mastali et al., 2016:

De la Figura 27 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras va incrementando, teniendo así que al añadir un porcentaje de fibra de carbono reciclada de 1.50%, se obtiene un valor máximo de resistencia a la compresión con un valor de 696 kg/cm², el

cual es un 74% más con respecto a la resistencia sin adición de fibra de carbono reciclada.

- Según la determinación del porcentaje óptimo de fibra basado en los autores

De la Figura 28 se obtiene que: Para la resistencia a los 28 días, para los autores mencionados, nos muestran el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada para cada una de sus muestras con sus respectivas resistencias, teniendo así porcentajes de fibra de 0.5% y 1.5%.

De los artículos revisados podemos observar que, en ciertas mezclas, la adición de fibra de carbono reciclada no es muy beneficiosa para ensayar la resistencia a la compresión, así como, en otros artículos, la adición mínima de fibra tampoco influye positivamente en la resistencia, sin embargo, la adición de una mayor dosis de fibra genera un mejor comportamiento de la resistencia a la compresión.

Por lo antes expuesto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que se demuestra según las observaciones, que la resistencia a la compresión incrementa al incrementar el porcentaje de fibra de carbono reciclada, siempre y cuando se le añada una dosis adecuada.

5.2.5 Hipótesis 5: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor

Para poder analizar la influencia que tiene la fibra de carbono reciclada en la mezcla del hormigón conductor, y luego poder comprobar su resistencia a la flexión, es importante tener los resultados más favorables de los ensayos de laboratorio de los artículos investigados tal como se muestra en el Anexo 9.

Hipótesis auxiliar

H_0 : Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor

H_1 : Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, disminuye la resistencia a la flexión del hormigón conductor

- Saccani et al., 2019:
De la Figura 29 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono incrementa, teniendo así que el máximo valor en resistencia es cuando se le añade 2.5% de fibra teniendo 47 kg/cm² más que el sin adición de fibra, el cual es un 146.88% más con respecto a la resistencia a la flexión de la muestra sin la adición de fibra de carbono reciclada.
- Belli et al., 2020:
De la Figura 30 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono incrementa, teniendo así que el máximo valor en resistencia es cuando se le añade 1.5% de fibra teniendo 66 kg/cm² más que el sin adición de fibra, el cual es un 95.65% más con respecto a la resistencia a la flexión de la muestra sin la adición de fibra de carbono reciclada.
- Xiong et al., 2020:
De la Figura 31 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono incrementa, teniendo así que el máximo valor en resistencia es cuando se le añade 1.5% de fibra teniendo 9 kg/cm² más que el sin adición de fibra, el cual es un 20% más con respecto a la resistencia a la flexión de la muestra sin la adición de fibra de carbono reciclada.
- Mastali & Dalvand, 2016:
De la Figura 32 se obtiene que: La resistencia a los 28 días, con la adición de fibras de carbono incrementa, teniendo así que el máximo valor en resistencia es cuando se le añade 1.25% de fibra teniendo 25 kg/cm² más que el sin adición de fibra, el cual es un 65.79% más con respecto a la resistencia a la flexión de la muestra sin la adición de fibra de carbono reciclada.
- Según la determinación del porcentaje óptimo de fibra basado en los autores
De la Figura 33 se obtiene que: Para la resistencia a los 28 días, para los autores mencionados, nos muestran el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada para cada una de sus muestras con sus

respectivas resistencias, teniendo así porcentajes de fibra de 1.25%, 1.5% y 2.5%.

De los artículos revisados podemos observar que, la adición de fibra de carbono reciclada es muy beneficiosa para ensayar la resistencia a la flexión, y que, al incrementar el porcentaje de esta en las mezclas, se observa que la resistencia va incrementando.

Por lo antes expuesto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que se demuestra según las observaciones, que la resistencia a la flexión incrementa al incrementar el porcentaje de fibra de carbono recicladas.

5.2.6 Hipótesis 6: Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor

Para poder analizar la influencia que tiene la fibra de carbono reciclada en la mezcla del hormigón conductor, y luego poder comprobar su resistividad eléctrica, es importante tener los resultados más favorables de los ensayos de laboratorio de los artículos investigados tal como se muestra en el Anexo 10.

Hipótesis auxiliar

H_0 : Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor

H_1 : Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono, incrementa la resistividad eléctrica del hormigón conductor

- Wang et al., 2022:

De la Figura 35 se obtiene que: La resistividad eléctrica a los 28 días, con la adición de fibras de carbono disminuye, teniendo así que al añadir un porcentaje de fibra de 0.9%, este genera la última disminución, variando de $0.9 \Omega.m$ con la adición de 0.8% de fibra, hasta $0.2 \Omega.m$, es por esto que este artículo determina como porcentaje óptimo de fibra la adición de 0.9 %.

- Segura et al., 2019:

De la Figura 37 se obtiene que: La resistividad eléctrica a los 28 días, con la adición de fibras de carbono disminuye al añadir hasta 0.6% de fibra de carbono, al añadir 0.4% se presenta la mayor disminución de resistividad, variando de 10.92 Ω .m a 6.45 Ω .m, posteriormente se tiene que al añadir un porcentaje de fibra de 0.7%% la resistividad eléctrica incrementa progresivamente, según los autores este comportamiento eléctrico se relaciona con la presencia de conglomerados de fibra en la mezcla de hormigón. Es por esto que este artículo determina como porcentaje óptimo de fibra la adición de 0.4%.

- López E., 2015:

De la Figura 39 se obtiene que: La resistividad eléctrica a los 28 días, con la adición de fibras de carbono reciclada disminuye, teniendo así que al añadir un porcentaje de fibra de 0.5%, este genera la última gran disminución, variando de 8.07 Ω .m con la adición de 0.4% de fibra, hasta 4.90 Ω .m, es por esto que este artículo determina como porcentaje óptimo de fibra la adición de 0.5%.

- Según la determinación del porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada para la resistividad eléctrica y el método de 4 electrodos según los autores:

De la Figura 40 se obtiene que: Para la resistividad eléctrica a los 28 días, según los autores mencionados, nos muestran el porcentaje óptimo de fibra de carbono para cada una de sus muestras con sus respectivas resistividades eléctricas, teniendo así porcentajes de fibra de 0.4%, 0.5% y 0.9% para el hormigón con cemento portland con el método de 4 electrodos.

5.2.7 Análisis y comparación de resultados al usar los dos tipos de fibras de carbono

Al realizar el análisis de los resultados obtenidos con la adición de fibras de carbono virgen y fibra de carbono reciclada, se compararon los

resultados obtenidos en sus resistencias y resistividad eléctrica tal como se muestra en la Tabla 37, para determinar el tipo de fibra más adecuada para su uso.

Tabla 37

Comparación de resultados de resistencia y resistividad eléctrica según el tipo de fibra añadida

	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la flexión (Kg/cm ²)	Resistividad eléctrica (Ω.m)
Fibra de carbono virgen	465	117	0.19
Fibra de carbono reciclada	549	79	0.20

Fuente: Elaboración Propia

DISCUSIÓN

Con la búsqueda y revisión de los artículos que se relacionan con los objetivos e hipótesis propuestas en la presente investigación, se realizó un análisis de los resultados de todos los artículos importantes, y se determinó el efecto que tiene la adición de fibras de carbono y fibras de carbono recicladas en las propiedades mecánicas y resistividad eléctrica del hormigón conductor.

Según los resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días del hormigón con la adición de una dosis óptima de fibra de carbono expresado por los autores: Ghanem & Bowling; Ullah et al.; De Jia et al. y Maleki et al., en las Figuras 9, 11, 12, 13 y 14, se pudo constatar la ya aceptada hipótesis 1, la cual nos menciona que al adicionar un porcentaje óptimo de fibra de carbono, la resistencia a la compresión del hormigón conductor incrementa con respecto a la resistencia sin algún tipo de fibra, la cual, determinamos según la Figura 14, que para estos autores, los porcentajes de fibra de carbono óptimos varían entre un 0.5% y 1%, esto para una relación a/c entre 0.3 y 0.5. Por lo cual, observamos que el porcentaje que más se repite es el de 1%, siendo así que, el artículo de los autores Ghanem & Bowling (2019), es la que consideramos como la que tiene mejores resultados, teniendo una relación a/c de 0.42 y llegando a tener una resistencia a la compresión máxima de 465 kg/cm².

Según los resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días del hormigón con la adición de una dosis óptima de fibra de carbono expresado por los autores: Ghanem & Bowling; Maleki et al. y Bustos, en las Figuras 15, 16 y 17, se pudo constatar la ya aceptada hipótesis 2, la cual nos menciona que al adicionar un porcentaje óptimo de fibra de carbono, la resistencia a la flexión del hormigón conductor incrementa con respecto a los resultados de resistencia de una muestra sin fibra añadida, la cual, determinamos que según la Figura 19, según los autores, los porcentajes de fibra de carbono óptimos varían entre 0% y 2%, esto para una relación a/c entre 0.42 y 0.65. Por lo cual, observamos que el porcentaje de 0.5% genera la resistencia más alta, siendo así que, el artículo de los autores Maleki et al. (2018), es la que consideramos como la que presenta mejores resultados, teniendo una relación a/c de 0.47 y llegando a tener una resistencia a la flexión máxima de 117 kg/cm².

Según los resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días del hormigón con la adición de una dosis óptima de fibra de carbono y el uso de un cemento portland expresado por los autores: Wang et al. y Tian et al., en las Figuras 20 y 22, la adición de fibra de carbono virgen disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor, la cual determinamos según la Figura 24 que, para estos autores, los porcentajes de fibra de carbono óptimos son del 0.5% y 0.8%. Por lo cual, el artículo realizado por los autores Tian et al., (2021), son los que tienen mejores resultados, ya que, con la adición de un porcentaje óptimo del 0.8%, se llega a tener un valor de resistividad eléctrica de 0.19 Ω.m.

Según los resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días del hormigón con la adición de una dosis óptima de fibra de carbono expresado por los autores: Wang et al.; Belli et al.; Xiong et al. y Mastali & Dalvand, en las Figuras 24, 25, 26 y 27, se pudo constatar la ya aceptada hipótesis 4, la cual nos menciona que al adicionar un porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, la resistencia a la compresión del hormigón conductor incrementa con respecto a la resistencia de las muestras evaluadas sin adición de fibras, de la cual, determinamos según la Figura 28, que para estos autores, los porcentajes de fibra de carbono óptimos varían entre un 0% y 1.5%, esto para una relación a/c entre 0.35 y 0.5. Por lo cual, observamos que el porcentaje que más se repite es el de 0.5%, siendo así que, el artículo de los autores Xiong et al. (2020), es la que consideramos como la que presenta mejores resultados, teniendo una relación a/c de 0.4 y llegando a tener una resistencia a la compresión máxima de 546 kg/cm².

Según los resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días del hormigón con la adición de una dosis óptima de fibra de carbono y el uso de un cemento portland expresado por los autores: Saccani et al.; Belli et al.; Xiong et al. y Mastali & Dalvand, en las Figuras 29, 30, 31 y 32, se pudo constatar la ya aceptada hipótesis 5, la cual nos menciona que al adicionar un porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, la resistencia a la flexión del hormigón conductor incrementa con respecto a la resistencia sin algún tipo de fibra, la cual, determinamos según la Figura 33, que para estos autores, los porcentajes de fibra de carbono óptimos varían entre 1.25%, 1.50% y 2.50%, esto para una relación a/c entre 0.3 y 0.5. Por lo cual, observamos que el porcentaje que más se repite es el de 1.50%, siendo así que, el artículo de los autores Saccani et al., (2019), es la que consideramos que tiene los mejores resultados, teniendo una relación a/c de 0.4 y llegando a tener un valor de resistencia a la flexión máxima de 79 kg/cm².

Según los resultados de la resistividad eléctrica a los 28 días del hormigón con la adición de una dosis óptima de fibra de carbono reciclada expresado por los autores: Wang et al., Segura et al., y López, E. en las Figuras 35, 37 y 39, se pudo constatar la ya aceptada hipótesis 6, la cual nos menciona que al adicionar un porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, la resistividad eléctrica del hormigón conductor disminuye con respecto a la resistividad del hormigón son fibra añadida, la cual, determinamos según la Figura 40, que para estos autores, los porcentajes de fibra de carbono reciclada óptimos son de entre 0.4 % y 0.9 %. Por lo cual, el artículo realizado por los autores Wang et al., (2022), son los que tienen mejores resultados, ya que, con la adición de un

porcentaje óptimo de 0.9%, se llega a tener un valor de resistividad eléctrica de 0.2 Ω .m.

Al comparar los mejores resultados de resistencias y resistividad eléctrica con la adición de fibra de carbono virgen y fibra de carbono reciclada, con respecto a los resultados de resistencia a la compresión, con la adición de fibra de carbono reciclada, se obtuvo un 14.84 % mejor resistencia que con la adición de fibra de carbono virgen. Con respecto a la resistencia a la flexión, con la adición de fibra de carbono virgen se obtiene un 32.48 % mejor resistencia que con la adición de fibra de carbono reciclada. Y con respecto a la resistividad eléctrica, con la con la adición de fibra de carbono virgen se obtiene un 5 % menor resistividad eléctrica que con la adición de fibra de carbono reciclada.

CONCLUSIONES

1. De los artículos investigados y analizados se concluye que, los resultados obtenidos para resistencia a la compresión a los 28 días fueron de 465 kg/cm², adicionando 1% de fibra de carbono virgen y un valor de 546 kg/cm², adicionando 0.5% de fibra de carbono reciclada. La resistencia a la flexión a los 28 días, se obtuvo resultados de 117 kg/cm² adicionando 0.5% de fibra de carbono virgen, mientras que adicionando 1.5% de fibra de carbono reciclada, se obtuvo una resistencia de 76 kg/cm². Respecto

a la resistividad eléctrica, adicionando 0.8% de fibra de carbono virgen, se obtuvo un valor de resistividad de 0.19 Ω .m, mientras que adicionando 0.9% de fibra de carbono reciclada, se obtuvo un resultado de 0.2 Ω .m. Por lo cual, la adición de fibra de carbono en un porcentaje óptimo es un gran material en la mezcla del hormigón conductor, para poder mejorar sus propiedades mecánicas y disminuir su resistividad eléctrica, siendo así que, la fibra de carbono virgen, es la más efectiva para incrementar la resistencia a la compresión, mientras que, la fibra de carbono reciclada, es la más adecuada para incrementar la resistencia a la flexión y disminuir la resistividad eléctrica.

2. La adición de un porcentaje óptimo fibra de carbono virgen en la mezcla del hormigón conductor, incrementa su resistencia a la compresión, puesto que la presente investigación determinó que el uso de esta fibra con un porcentaje óptimo del 1% incrementó la resistencia a la compresión, ya que la resistencia a los 28 días resultó ser de 465 kg/cm², por lo cual incrementó hasta un 13.69% con respecto a la del hormigón sin la adición de la misma, lo cual cumple los requerimientos de ser mayor que la resistencia especificada ($f'c$), que según el ACI es 431 kg/cm².
3. La adición de un porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen a la mezcla de hormigón conductor, incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor, la presente investigación determinó que al añadir un porcentaje óptimo de 0.5%, la resistencia a los 28 días dio como resultado 117kg/cm², por lo cual la resistencia a la flexión aumentó un 76.79% con respecto al hormigón sin fibra añadida.
4. La adición de un porcentaje óptimo fibra de carbono virgen en la mezcla del hormigón conductor, disminuye su resistividad eléctrica, puesto que la presente investigación determinó que el uso de esta fibra en una mezcla el cual se utilizó un cemento portland y el uso de un porcentaje óptimo del 0.8% disminuyó la resistividad eléctrica, ya que la resistividad a los 28 días y con el método de 2 electrodos resulto ser de 0.19 Ω .m, por lo cual disminuyó hasta un 86% con respecto a la resistividad del hormigón conductor sin la adición de fibra de carbono.
5. La adición de un porcentaje óptimo fibra de carbono reciclada en la mezcla del hormigón conductor, incrementa su resistencia a la compresión, la presente investigación determinó que el uso de esta fibra con un porcentaje óptimo del 0.5% incrementó la resistencia a la compresión, ya que la resistencia a los 28 días resultó ser de 549kg/cm², teniendo un incrementó hasta un 2.43% con respecto a la del

hormigón sin la adición de la misma, lo cual cumple los requerimientos de ser mayor que la resistencia especificada (f^c), que según el ACI es 350 kg/cm^2 .

6. La adición de un porcentaje óptimo fibra de carbono reciclada en la mezcla del hormigón conductor, incrementa su resistencia a la flexión, puesto que la presente investigación determinó que el uso de esta fibra con un porcentaje óptimo del 1.50% incrementó la resistencia a la flexión, ya que la resistencia a los 28 días resultó ser de 79 kg/cm^2 , por lo cual incrementó hasta un 146.88% con respecto a la del hormigón sin la adición de la misma.
7. La adición de un porcentaje óptimo fibra de carbono reciclado en la mezcla del hormigón conductor, disminuye su resistividad eléctrica, puesto que la presente investigación determinó que el uso de esta fibra en una mezcla el cual se utilizó un cemento portland y el uso de un porcentaje óptimo del 0.9% disminuyó la resistividad eléctrica, ya que la resistividad a los 28 días y con el método de los 4 electrodos resultó ser de $0.2 \Omega.m$, por lo cual disminuyó hasta un 99.3% con respecto a la resistividad del hormigón conductor sin la adición de fibra de carbono reciclada.
8. Al comprar y analizar los mejores resultados obtenidos con la adición de fibra de carbono virgen y fibra de carbono reciclada, tenemos que, para la adición de fibra de carbono virgen, con un 14.84 % es más efectivo el incremento para la resistencia a la compresión, en cambio, al adicionar fibra de carbono reciclada, los resultados son mejores con un 32.48 % para la resistencia a la flexión y 5% para la resistividad eléctrica del hormigón conductor.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar un porcentaje óptimo de fibra de carbono virgen, ya que la adición de esta fibra cumple solo hasta la adición de hasta el porcentaje óptimo, ya que un uso en exceso de la fibra tiene efectos desfavorables como segregación y reducción en su resistencia.
2. Utilizar longitudes grandes de las fibras de carbono virgen en la adición de la mezcla del hormigón, ya que, mientras mayor sea la longitud de la fibra, mayor será la resistencia a la flexión del hormigón conductor.

3. Analizar el uso de ciertas adiciones en el cemento, tales como, humo de sílice o cenizas volantes, para determinar la influencia que tienen estas en los resultados de resistividad eléctrica.
4. Realizar ensayos de resistencia a la compresión a los 7 y 14 días, para así poder determinar cómo va influyendo el tiempo de curado con respecto a su resistencia.
5. El uso de aditivos superplastificantes a base de policarboxilato, se recomienda para poder reducir su relación a/c en la mezcla del hormigón, ya que la adición de fibra de carbono reciclada disminuye su trabajabilidad y teniendo una mayor relación a/c, se tendría mejores resultados en la resistencia a la flexión.
6. Realizar un análisis realizando los ensayos de 2 y 4 electrodos para determinar resultados de resistividad eléctrica del hormigón conductor, para poder determinar cuál es el más eficiente para tener una mejor disminución de la resistividad.
7. Realizar más estudios con respecto al uso de fibra de carbono en las mezclas del hormigón, ya que, en nuestro país, este método no es muy utilizado y sería una buena línea de investigación, por lo cual se recomienda evaluar la influencia que tienen estas fibras en pavimentos y/o en hormigones de ultra alta resistencia en zonas con bajas temperaturas como en la sierra del Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Saccani, S. Manzi, I. Lancellotti, L. Lipparini. (2019). Composites obtained by recycling carbon fibre/epoxy composite wastes in building materials. *Construction and Building Materials*. Volume 204. Pgs. 296-302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.216>.
- Aamar Danish, Mohammad Ali Mosaberpanah, Muhammad Usama Salim, Mugahed Amran, Roman Fediuk, Togay Ozbakkaloglu, Muhammad Fawad Rashid, (2022). Utilization of recycled carbon fiber reinforced polymer in cementitious

- composites: A critical review. *Journal of Building Engineering*. Volume 53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104583>.
- Abril Gavilanes, B. (2016). Determinación de la resistencia a compresión de hormigón preparado con policarbonato, vidrio templado y hormigón reciclado (Tesis pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23039>
- Aceros Arequipa. (2018). *Conoce los diversos tipos de cemento usados en la construcción*. Recuperado de: <https://www.construyendoseguro.com/conoce-los-diversos-tipos-de-cemento-usados-en-la-construccion/>
- Aceros Arequipa. (2020). ¿Cómo verificar la resistencia a la compresión del hormigón?. Edición N°17. Pg. 3. Recuperado de: https://www.acerosarequipa.com/construccion-de-viviendas/boletin-construyendo/edicion_17/mucho-ojo-al-reglamento-resistencia-a-la-compresion-del-hormigon.html
- Alcaide Romero, J. (2007). *Caracterización de morteros con adición o sustitución de diferentes materiales carbonosos* (Doctoral dissertation, Universitat d'Alacant-Universidad de Alicante). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10045/10131>
- Andrade, C. y Andrea, R. (2011). La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad. *Revista ALCONPAT*. Volumen 1. Numero 2. Pgs 93-101. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4276/427639585001.pdf>
- Ayacila Centeno, J. (2020). Evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón reforzado con fibra de carbono en pavimento rígido en Asia, Cañete (Tesis de grado). Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/51341>
- Bolufer, P. (2007). La fibra de carbono, un material para el siglo 21. *Interempresas.net*. Recuperado de: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/16574-La-fibra-de-carbono-un-material-para-el-siglo-21.html>
- Bricomania. (2022). Hormigón, características y usos. Recuperado de: <https://www.hogarmania.com/bricolaje/taller/materiales/hormigon-caracteristicas-usos-26838.html#hormigon>
- Browne, R.D. (1992) *Durability of Building Materials*, 1 (1982) 113.

- Bustos Garcia, A. (2018). Morteros con propiedades mejoradas de ductilidad por adición de fibras de vidrio, carbono y basalto (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: <https://oa.upm.es/54114/>
- CarboSystem. (2022). Fibra de Carbono: estructura y propiedades. Recuperado de: <https://carbosystem.com/fibra-de-carbono-2/>
- Castillo Linton, C. (2015). Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adición de nanopartículas de sílice (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo Leon. Nuevo León, México. Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/9270>
- Caycho Hidalgo, T. y Espinoza Rodriguez, D. (2019). Mezcla de hormigón con agregado grueso reciclado usando cemento portland tipo hs para cimentaciones, distrito la Molina (Tesis pregrado). Universidad Ricardo Palma. Lima-Peru. Recuperado de: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2726>
- Cemex. (2019). ¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el hormigón?. Recuperado de: [https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-hormigón-#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresión%20simple%20es%20la%20característica%20mecánica,por%20pulgada%20cuadrada%20\(psi\)](https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-hormigón-#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresión%20simple%20es%20la%20característica%20mecánica,por%20pulgada%20cuadrada%20(psi))
- Cemex. (2019). *¿Por qué se determina la resistencia a la compresión del hormigón?* Recuperado de: <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-hormigón->
- CEMEX. (2020). *Hablando de Cementos Portland*. Recuperado de: <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland>
- Chen, B. Wu, K., Yao, W. (2004) Conductivity of carbon fiber reinforced cement-based composites. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00138-5)
- Chryso. (2022). *Qué es el hormigón, tipos y usos*. España, Toledo. Recuperado de: <https://www.chryso.es/news/339/qu-es-el-hormig-n-tipos-y-usos-chryso>
- Concrete.org. (2020). *American Concrete Institute*. Recuperado de: <https://www.concrete.org>
- De Jia L., Mei Jun C., Xue L., He F. & Hu J. (2018). The Effect of the Carbon Fiber on Concrete Compressive Strength. *Advanced Materials Research*. DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.1145.106](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1145.106)

- DeHormigón.com. (2022). Hormigón con fibras. Recueprado de: <https://dehormigon.com.ar/hormigon-con-fibras/>
- Dic.ua.es. (2012). Hormigones conductores multifuncionales. España, Alicante. Recuperado de: <https://dic.ua.es/es/web/investigacion/hormigones-conductores-multifuncionales.html>
- Ernest Worrell & Markus Reuter. (2014). Handbook of Recycling: State-of-the-art for Practitioners, Analyst and Scientists. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2011-0-07046-1>
- Espinoza-Moreno, C., Rodriguez-Rodriguez, M., Pellegrini-Cervantes, M.J. *et al.* (2021). Electrical percolation and fluidity of conductive recycled mortar cement: graphite powder: recycled sand with addition of industrial waste carbon fiber. *Carbon Lett.* **31**, 707–720. <https://doi.org/10.1007/s42823-020-00188-0>.
- Faneca Llesera, G. (2020). Desarrollo de hormigones conductores con adición de fibras de carbono recicladas (Tesis Doctoral). Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/328181>
- Faneca, G., Ikumi, T., Torrents, J. M., Aguado, A., & Segura, I. (2020). Conductive concrete made from recycled carbon fibres for self-heating and de-icing applications in urban furniture. *Materiales De Construcción*, *70*(339), e223. <https://doi.org/10.3989/mc.2020.17019>
- Faten I Mussa and Ali M Al-Dahawi and Qais S Banyhussan and Muna R Baanoon & Mariam A Shalash. (2020). Carbon Fiber-Reinforced Asphalt Concrete: An Investigation of Some Electrical and Mechanical Properties. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 737. Number 1. DOI: 10.1088/1757-899x/737/1/012122
- Feim.org. (2022). ¿Qué es una norma “UNE”? Recuperado de: <http://www.feim.org/es/norma-une#:~:text=Una%20norma%20UNE%20es%20una,de%2016%20de%20julio%2C%20de>
- Fernández, M. (2003) Hormigones con fibras: tecnología y propiedades generales. *Hormigón y Acero*, No. 228-229.
- Galistar. (2022). Hormigón reforzado con fibras. Recuperado de: <https://www.galistar.es/hormigon-reforzado-fibras/>
- García Chambilla, B. (2017). Efecto de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del hormigón $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de puno (tesis pregrado). Universidad

- Nacional del Altiplano. Puno, Perú. Recuperado de:
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5431>
- Gómez, M., Sobrino, J. (2003) “Criterios de diseño para el refuerzo de estructuras con materiales compuestos con fibra de carbono.” *Revista de Ingeniería*, no 18, p. 85-99.
- Grupo Laura Otero. (2016). Hormigón que conduce la electricidad. Recuperado de:
<http://lauraotero.com/hormigon-que-conduce-la-electricidad/>
- Grzanka, R. (2014). *The greening of carbon fibre. Reinforced Plastics*, 58(3), 44–46. doi:10.1016/s0034-3617(14)70143-2
- Imcyc, (2008). *Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón. Cap 16*. Recuperado de:
<http://www.imcyc.com/ct2008/dic08/dic08/images/pdf/PROBLEMAS.pdf>
- Ingegeek.site. (2021). ¿Qué es el hormigón reforzado con fibras? | Ventajas y tipos. Recuperado de: <https://www.ingegeek.site/2021/03/08/que-es-el-hormigon-reforzado-con-fibra-ventajas-y-tipos/>
- Kitfibradecarbono. (2022). La historia de la fibra de carbono. Recuperado de:
<https://kitfibradecarbono.com/historia/>
- Lining Wang & Farhad Aslani. (2021). Mechanical properties, electrical resistivity and piezoresistivity of carbon fibre-based self-sensing. *Ceramics International*. Volume 47, Pags 7864-7879. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.11.133>.
- Llano Uribe C. (2009). Fibra de carbono, Presente y futuro de un material revolucionario. REVISTA METAL ACTUAL. Bogotá. D.C, Colombia.
<https://docplayer.es/7874620-Fibra-de-carbono-presente-y-futuro-de-un-material-revolucionario-materiales-el-mercado-mundial-de-fibra-de-carbono-alcanzara-us-12-millones-en-2011.html>
- López Gómez, F. y Rodríguez Largo, O. (2019). La difícil tarea de reciclar las fibras de carbono de coches y aviones. *The Conversation*. Recuperado de:
<https://theconversation.com/la-dificil-tarea-de-reciclar-las-fibras-de-carbono-de-coches-y-aviones-114460>
- López, E. (2015). Caracterización y desarrollo de hormigones conductores (Tesis de grado). Escola de Camins. Barcelona.
- Mallick P.K. (2008). “Fiber-reinforced composites” 3ra edición, Michigan, E.E.U.U. CRC Pres, páginas 19-34

- Mariano. (2011). Fibra de carbono. Tecnología de los plásticos. Recuperado por: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/fibra-de-carbono.html#:~:text=La%20fibra%20de%20carbono%20se,unidades%20repetitivas%20ciano%20formen%20anillos>.
- Maroñas González, P. (2019). Evaluación de propiedades eléctricas en materiales con base de cemento funcionalizados. Universidad Autónoma de Madrid. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10261/215069>
- Masías, K. (2018). Resistencia a la flexión y tracción en el hormigón usando ladrillo triturado como agregado grueso (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- Masqueingenieria.com. (2020). Hormigones Especiales (II): Hormigón reforzado con fibras. Recuperado de: <https://masqueingenieria.com/blog/hormigones-especiales-hormigon-reforzado-con-fibras/>
- Mastali M. & Dalvand A. (2016). The impact resistance and mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with recycled CFRP pieces. *Composites Part B: Engineering*. Volume 92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.01.046>.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Minagri). (2015). *Normas Técnicas Peruanas*.
- Miravete, A. 2001. Towards the carbon fibers in the building industry. *Materiales de Construcción*. 51, 263-264 (Dec. 2001), 55–69. DOI: <https://doi.org/10.3989/mc.2001.v51.i263-264.352>.
- Moncayo Theurer, M., Rodriguez, J., Alcívar, López, Soriano, Villacis (2016). Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 29-1, pp. 57-62.
- Mussa, Faten I, Al-Dahawi, Ali M, Banyhussan, Qais S, Baanoon, Muna R & Shalash, Mariam A. (2020). Carbon Fiber-Reinforced Asphalt Concrete: An Investigation of Some Electrical and Mechanical Properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Volume 737. DOI: 10.1088/1757-899x/737/1/012122
- Norma técnica peruana NTP 339.046 -2008. Hormigón (Hormigón). *Método de ensayo para determinar la densidad, rendimiento y contenido de aire del hormigón*.

- Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/determinar-la-densidad-c-airentp-339046-5-pdf-free.html>
- Norma UNE 12390-3. (2014). Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica. Norma Española. Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0052651>
- Norma UNE 83988-2. (2014). Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica. Norma Española. Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0052651>
- Norma UNE ISO 10618. (2005). Fibras de carbono. Determinación de las propiedades en tracción de hilos impregnados de resina. Norma Española. Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0032956>
- NRMCA. (2016). *CIP 16 – Resistencia a la flexión del hormigón*. Recuperado de: <https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/16pes.pdf>
- Pakdel, E., Kashi, S., Varley, R., & Wang, X. (2020). Recent progress in recycling carbon fibre reinforced composites and dry carbon fibre wastes. *Resources, Conservation and Recycling*, 105340. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105340
- Pavex. (2022). ¿Qué es el Hormigón? Precios por m3. Recuperado de: <https://pavex.es/hormigon-precios-por-m3/>
- Peyman Maleki, Behnam Iranpour & Gholamali Shafabakhsh (2017): Investigation of de-icing of roads with conductive concrete pavement containing carbon fibre-reinforced polymer (CFRP), *International Journal of Pavement Engineering*, DOI: 10.1080/10298436.2017.1326235
- Portland Cement Association, P. (1978). *Proyecto y control de mezclas de hormigón*. México. Recuperado de: https://www.academia.edu/33383752/Diseño_Y_Control_De_Mezclas_De_Hormigón_Steven_H_Kosmatka_Beatriz_Kerkhoff_and_William_C_Panarese_1ra_Edición
- Quiñonez Olaya, J. (2016). Análisis y evaluación del aporte estructural a contrapiso de hormigón armado mediante la adición de fibras de carbono y fibra de vidrio (Tesis de grado), Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/14985>

- Rivva Lopez, E. (2000). Naturaleza y materiales del hormigón. 1ra edición. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/298319772/Materiales-Para-El-Hormigón-Enrique-Rivva-Lopez>
- Rocha, J. y De Santiago, O. (2014). Factibilidad del uso de fibra de carbono reciclada como reforzante mecánico en poliuretano (Tesis de maestría). Centro de investigación en materiales avanzando, S.C. Chihuahua, México. Recuperado de: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/757>
- S. Y. Ghanem and J. Bowling. (2019). Mechanical Properties of Carbon-Fiber-Reinforced Concrete,” Advances in Civil Engineering Materials. DOI: <https://doi.org/10.1520/>
- Sanchez Garcia, J. (2013). La resistencia a la compresión del hormigón y su influencia en el módulo de elasticidad estático en el cantón Ambato. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6031>
- Sassani, Alireza & Ceylan, Halil & Kim, Sunghwan & Arabzadeh, Ali & Taylor, Peter & Gopalakrishnan, Kasthurirangan. (2018). Development of Carbon Fiber-modified Electrically Conductive Concrete for Implementation in Des Moines International Airport. Case Studies in Construction Materials. 8. 10.1016/j.cscm.2018.02.003.
- Segura I., Faneca G., Torrents J., & Aguado A. (2019). Self-sensing concrete made from recycled carbon fibres. Smart Materials and Structures. DOI: 10.1088/1361-665x/ab3d59
- Shafi Ullah, Shanhong Wan, Chen Yang, Xianyong Ma, Zejiao Dong. (2021). Self-damage sensing of electrically conductive self-compacting concrete incorporating short carbon fiber. Structural Control and Health Monitoring. DOI: <https://doi.org/10.1002/stc.2735>
- Souza, E. (2019). Hormigón reforzado con fibras para una arquitectura resistente y ligera. Archdaily. Recuperado de: <https://www.archdaily.pe/pe/919971/hormigón-reforzado-con-fibras-resistencia-y-ligereza#:~:text=La%20historia%20del%20hormigón%20se,de%20ellos%20aún%20de%20pie.>

- Tengjiao Wang *et al* 2019. Study on the Effects of Carbon Fibers and Carbon nanofibers on Electrical Conductivity of Concrete. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/267/3/032011>*
- TexDelta. (2022). Hormigón reforzado con fibras. España, Cocentaina. Recuperado de: <https://texdelta.com/blog/hormigon-reforzado-con-fibras/>
- Tian, Weichen & Qi, Beimeng & Liu, Yushi & Liu, Keqi & Wang, Wei. (2021). Early frost resistance and permeability properties of carbon fiber/cement-based composite cured by ohmic heating under ultra-low temperature. *Construction and Building Materials*. Volume 282. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122729.
- Torres Acosta, A., Moreno Valdés, A., Rodriguez Mnedo, G., Lomelí González, M., y Martínez Madrid, M. (2019). Efecto de la temperatura de prueba y la resistividad eléctrica húmeda en cilindros de hormigón. No. 543. Sanfadila, Queretaro. Recuperado de: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt543.pdf>
- Tuan, C. (2016). Conductive concrete– an electrifying idea. University of Nebraska-Lincoln. Recuperado de: <https://engineering.unl.edu/faculty/cv/V50I06P46.pdf>
- Ullah S., Chen Yang, Liping Cao, Peng Wang, Qinggang Chai, Yuexiang Li, Lizhi Wang, Zejiao Dong, Nonde Lushinga & Bingtao Zhang. (2021). Material design and performance improvement of conductive asphalt concrete incorporating carbon fiber and iron tailings. *Construction and Building Materials*. Volume 303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124446>.
- Valverde Burneo, D. (2019). Caracterización piezoresistiva de hormigón reforzado con fibras de carbono reciclado con aplicaciones autosensoriales (Tesis de maestría). Escola de Camins. Barcelona. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/170918>
- Wang T., Xu J., Bai E., Luo X., Chen H., Liu G. & Chang S. (2019). Study on the Effects of Carbon Fibers and Carbon nanofibers on Electrical Conductivity of Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Volume 267. DOI: 10.1088/1755-1315/267/3/032011
- Yan Wang, Shaohui Zhang, Daming Luo, Xianming Shi. (2019). Effect of chemically modified recycled carbon fiber composite on the mechanical properties of

cementitious mortar. *Composites Part B: Engineering*. Volume 173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.05.064>.

Yushi Liu, Weichen Tian, Mingzhi Wang, Beimeng Qi & Wei Wang. (2020). Rapid strength formation of on-site carbon fiber reinforced high-performance concrete cured by ohmic heating. *Construction and Building Materials*. Volume 244. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118344>.

Zerbino R. (2020). Hormigón Reforzado con Fibras y sus poryecciones dentro de la industria de la construcción. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/109925/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1 : Matriz de Consistencia

Adición de fibras de carbono para incrementar las propiedades mecánicas y disminuir la resistividad eléctrica de los hormigones conductores

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable	Indicadores	Método
¿De qué manera la adición de fibras de carbono incrementa las propiedades mecánicas y disminuye la resistividad eléctrica de los hormigones conductores?	Determinar el porcentaje de fibras de carbono para incrementar las propiedades mecánicas y disminuir la resistividad eléctrica de los hormigones conductores.	Al determinar el porcentaje de fibras de carbono , se incrementan las propiedades mecánicas y se disminuye la resistividad eléctrica de los hormigones conductores.	VI: Fibras de carbono	Porcentaje de fibras de carbono Porcentaje de fibras de carbono recicladas	La investigación será documental, bibliográfica y descriptiva en donde los estudios revisados utilizaron el método deductivo, orientación aplicada, enfoque cuantitativo y con una recolección de datos retrolectivo, de tipo explicativo, descriptivo y con un nivel descriptivo. El diseño experimental, longitudinal, prospectivo y estudio de cohorte.
Problema Específicos	Objetivos específicos	Hipótesis Específicas	Variables	Indicadores	
a) ¿De qué manera el porcentaje fibra de carbono incrementa la resistencia a la compresión del hormigón conductor?	a) Determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono para incrementar la resistencia a compresión del hormigón conductor.	a) Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono , incrementa la resistencia a la compresión del hormigón conductor.	VD: Propiedades mecánicas Resistividad eléctrica	Resistencia a la compresión	
b) ¿De qué manera el porcentaje de fibra de carbono incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor?	b) Determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono para incrementar la resistencia a flexión del hormigón conductor.	b) Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono , incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor.		Resistencia a la flexión	
c) ¿De qué manera el porcentaje de fibra de carbono disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor?	c) Determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono para disminuir la resistividad eléctrica del hormigón conductor.	c) Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono , disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor.		Resistividad eléctrica	
d) ¿De qué manera el porcentaje fibra de carbono reciclada incrementa la resistencia a la	d) Determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada para incrementar la	d) Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada , incrementa la			

compresión del hormigón conductor?	resistencia a compresión del hormigón conductor.	resistencia a la compresión del hormigón conductor.
e) ¿De qué manera el porcentaje de fibra de carbono reciclada incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor?	e) Determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada para incrementar la resistencia a flexión del hormigón conductor.	e) Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, incrementa la resistencia a la flexión del hormigón conductor.
f) ¿De qué manera el porcentaje de fibra de carbono reciclada disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor?	f) Determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada para disminuir la resistividad eléctrica del hormigón conductor.	f) Al determinar el porcentaje óptimo de fibra de carbono reciclada, disminuye la resistividad eléctrica del hormigón conductor.

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2: Matriz de Referencias Bibliográficas

#	TÍTULO	IDEAS PRINCIPALES	SUBTEMAS (Indicadores)	MÉTODO	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES	REVISTA	AÑO
1	Utilization of recycled carbon fiber reinforced polymer in cementitious composites: A critical review.	Analizar el efecto que tienen las fibras de carbono reciclada en las propiedades de compuestos cementosos	Resistividad eléctrica	Descriptivo	La resistividad eléctrica de los compuestos cementosos disminuye con la incorporación de rCFRP.	El porcentaje de incorporación debe incrementarse debido al aumento en la generación de residuos de PRFC mediante la investigación de técnicas de dispersión viables para distribuir uniformemente rCFRP en la matriz	Building Engineering	2022
2	Conductivity of recycling carbon fiber concrete	Uso de fibra de carbono reciclada para estudiar la influencia que tiene en su resistencia y la resistividad del hormigón	Resistencia a la compresión, resistividad eléctrica	Experimental aplicado	Con respecto a la resistencia a la compresión, si el revestimiento de la superficie no se elimina después reciclado, se utilizará directamente en el hormigón, es muy fácil de aglomerar y no puede potenciar el efecto endurecedor.	Se recomienda que, si las fibras de carbono recicladas se van a utilizar de manera eficiente en materiales a base de cemento, se deben tratar previamente para mejorar la dispersión de las fibras de carbono y evitar la aglomeración entre las fibras de carbono.	Acta Material Composite Sinica	2022
3	Electrical percolation and fluidity of conductive recycled mortar cement: graphite powder: recycled sand with addition	Utilización de diferentes porcentajes de fibra de carbono	Resistividad eléctrica	Experimental aplicado	El umbral de percolación eléctrica para CRM con contenido de GP se estimó en 0,30% de CF, por debajo del caso de ausencia de GP con 0,45% de CF. Esto se debe a que los aumentos de EC sin la presencia de GP están regidos por el contacto entre las CF y las	Recomiendan para una mezcla utilizando fibra de carbono un porcentaje de 0.45% ya que después de este porcentaje, la resistividad ya no disminuye más, por lo cual es considerado ese porcentaje como su límite.	Carbon Lett	2021

	of industrial waste carbon fiber.				rutas conductoras que forman.			
4	Comparison of the Mechanical Behavior of Concrete Containing Recycled CFRP Fibers and Polypropylene Fibers.	Uso de fibra de carbono reciclada como una alternativa de reciclaje viable	Resistencia a la compresión	Experimental aplicado	A pesar de presentar un peor comportamiento a compresión que los hormigones sin fibras añadidas, los que contienen fibras de carbono recicladas no se diferencian mucho de los hormigones con fibras de polipropileno, alcanzando resistencias superiores a 25 N/mm ² y haciéndolos así viables para su uso en la construcción de edificios.	Asegurar una mayor cantidad de fibras en las zonas de mayor deformación reduciendo su tamaño o añadiendo una mayor cantidad de fibras por m ³ permite aumentar el potencial que estas fibras pueden ofrecer.	Applied science	2021
5	Mechanical properties, electrical resistivity and piezoresistivity of carbon fibre-based self-sensing cementitious composites-	Uso de diferentes porcentajes de fibra de carbono en diferentes longitudes para determinar el contenido optimo, para poder tener resultados en resistividad y propiedades físicas y mecánicas del hormigón.	Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistividad eléctrica	Experimental aplicado	Todos los tipos de CF utilizados en este estudio no mostraron ningún efecto evidente en de la resistencia a la compresión de los materiales compuestos. Sin embargo, el uso de CF mejoró la resistencia a la flexión de los materiales compuestos, mientras que, redujo la resistividad eléctrica de los materiales compuestos en comparación con el CF no dimensionado.	Recomiendan que, a mayor porcentaje de fibra utilizado, la longitud de estas debe ser menor, solo así darán mejores resultados a diferencia de los resultados para la resistividad, que recomiendan que el porcentaje y la longitud sea directamente proporcional, por ende, a mayor porcentaje, mejores resultados se tendrán.	Ceramics International	2021
6	Effect of Test Voltage and Age on the Resistivity of Carbon Fiber Reinforced Concrete	Este artículo utiliza el método de cuatro electrodos, y el CFRC con distintos contenidos de fibra de y se	Resistividad eléctrica	Experimental aplicado	El contenido de fibra tiene una gran influencia en la resistividad de CFRC. Cuanto mayor sea el contenido de fibra, menor será la resistividad del CFRC y mejor la conductividad eléctrica.	Cuando el voltaje externo es bajo, la intensidad del campo eléctrico correspondiente también es relativamente baja. Se recomienda realizar pruebas con voltajes mayores a 15V	Earth and Environmental Science	2021

		probó la resistividad en distintos tiempos de curado.						
7	Self-damage sensing of electrically conductive self-compacting concrete incorporating short carbon fiber.	En el estudio se incorporó CF de paso corto de 6 mm de longitud en el hormigón autocompactante (SCC) para obtener un compuesto de hormigón armado autocompactante conductor e investiga el impacto del volumen de CF en la resistencia a la compresión y las propiedades eléctricas de 10 mezclas de SCC.	Resistencia a compresión, resistividad eléctrica	Experimental aplicado	Con base en los resultados experimentales, se encontró que la adición de CF mejoró abrumadoramente las propiedades electromecánicas (resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y propiedades conductoras) del hormigón, incluso con porcentajes muy bajos de CF.	Recomiendan para una mezcla utilizando fibra de carbono recicladas un porcentaje menores a 1% para obtener la mejor resistencia a la compresión, y 1.5% de fibra de carbono para la mejor resistividad obtenida.	Structural Control and Health Monitoring	2021
8	Material design and performance improvement of conductive asphalt concrete incorporating carbon fiber and iron tailings.	El estudio revela que la mezcla que incorpora 0,4 % de CF y TA funciona como una composición inteligente, ya que retiene una resistencia mecánica satisfactoria y responde a efectos menores y reversibles durante la carga mecánica.	Resistividad eléctrica	Experimental aplicado	La adición de 0.2%–0.4% CF por peso a la mezcla concluye mezclas conductoras óptimas para la evaluación crítica del desempeño. Sin embargo, el efecto combinado de CF y TNA es más sustancial que el de CF y NA en términos de mejora del rendimiento.	Las aplicaciones de hormigón asfáltico conductor materialmente optimizado pueden considerarse para el autocontrol de los daños micro y macroestructurales que ocurren dentro y más allá del régimen elástico para la carga de fatiga en función de la FCR y la deformación y autocontrol de la profundidad de la formación de surcos en función de la FCR y la deformación bajo la carga de rodadura de las ruedas.	Construction and Building Materials	2021

9	Mechanical and Piezoresistive Properties of Fibre Reinforced Concrete Pavement.	Estudiar las diferencias entre los comportamientos del hormigón armado con acero y fibras de carbono bajo tensión de tracción indirecta. Evalúe los efectos del contenido de CF12 en la resistividad eléctrica, el tiempo de polarización, las propiedades mecánicas y las capacidades de autodetección de RFCP bajo compresión.	Resistencia a compresión, resistividad eléctrica	Experimental aplicado	La medición de la resistividad eléctrica de FRCP se redujo sustancialmente después de agregar CF12 al 0,5 % y al 1,0 % en volumen. Esto también evitó que se generara el fenómeno de polarización en FRCP cuando se aplicaba corriente continua. La adición de 0,5 % de CF12 por volumen mejoró las propiedades de resistencia mecánica del FRCP mejor que los otros porcentajes investigados.	Este estudio examinó los comportamientos comparativos de la resistividad eléctrica entre los FRCP de fibra de acero con gancho macroextremo y los FRCP de fibra de carbono a microescala bajo resistencia a la compresión.	Materials Science and Engineering	2021
10	Early frost resistance and permeability properties of carbon fiber/cement-based composite cured by ohmic heating under ultra-low temperature	Los CF se eligieron como rellenos conductores para construir una red conductora dentro de las muestras. El contenido óptimo de CF se determinó experimental y numéricamente en los compuestos frescos a base de cemento.	Resistividad eléctrica	Experimental aplicado	Se han llevado a cabo análisis numéricos y experimentales para determinar la adición óptima de CF de 0,75 % en volumen. La duración del precurado también se ha determinado en base a la regularidad del desarrollo de la resistencia inicial en 12 h de precurado en OH y 2 días de precurado en RT, respectivamente.	Recomiendan que el uso de fibra de carbono en la mezcla del hormigón para aumentar la conductividad del mismo, y recomiendan el uso de un porcentaje de 0.75%.	Construction and Building Materials	2021
11	Conductive concrete made from recycled carbon	Conductividad eléctrica en hormigones	Resistividad eléctrica	Experimental aplicado	Este artículo presenta un amplio estudio experimental de la capacidad conductiva	Se recomienda realizar estudios con fibras de carbono en diferentes	Materiales de Construcción	2020

	fibres for self-heating and de-icing applications in urban furniture.	conductores aplicados a mobiliarios			del hormigón conductor para deshielo y calefactables aplicados en muebles urbanos, en laboratorio a pequeña escala a bancos en escala real.	estados.	n	
12	Commercial and recycled carbon/steel fibers for fiber-reinforced cement mortars with high electrical conductivity	Uso de fibra de carbono y fibra de carbono reciclada como refuerzos de morteros cementosos de alta conductividad	Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistividad eléctrica	Experimental aplicado	La adición de fibras mejora la resistencia a la flexión y a la rotura por tracción de los morteros, gracias al efecto puente. En cuanto al comportamiento eléctrico las impedancias de alta frecuencia muestran que la adición de F _v c disminuye la resistividad eléctrica de los morteros hasta varios órdenes de magnitud en comparación con el mortero liso.	A la luz de estos resultados, se puede afirmar que la adición de fibras conductoras no sólo mejora las propiedades eléctricas de los materiales a base de cemento, sino también su resistencia mecánica y durabilidad. Por lo cual es recomendable estudiar más a fondo el uso de estas fibras en el hormigón en aplicaciones estructurales, ya que será un tema más prometedor para futuras investigaciones. Se recomienda el uso de materiales de polímero reforzado con fibra, como de vidrio o de carbono, ya que estos tienen un peso ligero, alta rigidez, alta resistencia a la tracción, buena durabilidad y resistencia a altas temperaturas, lo cual hace que las propiedades mecánicas y físicas se vean altamente influenciadas en su comportamiento.	Cement and Concrete Composites	2020
13	Comparative effects of using recycled CFRP and GFRP fibers on fresh- and hardened-state properties of self-compacting concretes: a review.	Uso de diferentes porcentajes de CFRP y GFRP para determinar la influencia en las propiedades en estado fresco y endurecido del hormigón	Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión	Experimental aplicado	La dosis de fibra tiene un impacto mucho mayor en las propiedades del estado fresco y endurecido que la longitud de la fibra. Mientras que, la tasa máxima de mejora de las propiedades mecánicas y de impacto se logró en las muestras reforzadas con una longitud de fibra de 30 mm.		New Materials in Civil Engineering	2020
14	Study of	Estudio de la	Resistencia	Experimental	El compuesto de hormigón	Se recomienda el uso de un	Materials	2020

	Mechanical Properties of an Eco-Friendly Concrete Containing Recycled Carbon Fiber Reinforced Polymer and Recycled Aggregate	viabilidad de uso de fibras de carbono reciclado y agregado reciclado en la mezcla del hormigón para determinar su resistencia.	a la compresión, resistencia a la flexión	ental aplicado	propuesto exhibe una resistencia a la compresión similar a la del hormigón simple. La adición de fibras RCFRP puede mejorar significativamente la tenacidad a la flexión y la capacidad de carga residual del hormigón. Se usaron análisis experimentales y numéricos para determinar el nivel de adición de los CF, y se determinó que 2 % en volumen era el nivel de adición óptimo de los CF en la muestra de CF-HPC para proporcionar una resistividad estable. La resistencia a la compresión de la muestra CF-HPC-OH alcanza hasta 82,5 MPa con un período de curado de 3 días, que es mucho mayor que la de la muestra CF-HPC-RT. Las resistencias a la flexión de las muestras muestran la misma tendencia.	hormigón de agregado reciclado con adición de fibras RCFRP, ya que esto haría un hormigón más ecológico y mejorara en un buen promedio sus propiedades mecánicas		
15	Rapid strength formation of on-site carbon fiber reinforced high-performance concrete cured by ohmic heating.	Uso de fibra de carbono en una mezcla de hormigón de alto rendimiento para generar calentamiento óhmico, para así determinar sus propiedades mecánicas y eléctricas.	Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistividad eléctrica	Experimental aplicado	Se usaron análisis experimentales y numéricos para determinar el nivel de adición de los CF, y se determinó que 2 % en volumen era el nivel de adición óptimo de los CF en la muestra de CF-HPC para proporcionar una resistividad estable. La resistencia a la compresión de la muestra CF-HPC-OH alcanza hasta 82,5 MPa con un período de curado de 3 días, que es mucho mayor que la de la muestra CF-HPC-RT. Las resistencias a la flexión de las muestras muestran la misma tendencia.	Recomiendan el curado con OH ya que es un método novedoso para la realización del ensayo in situ, por lo cual el porcentaje óptimo de fibra de carbono que recomiendan usar es de 2% para así poder tener una resistividad estable.	Construction and Building Materials	2020
16	Carbon Fiber-Reinforced Asphalt Concrete: An Investigation of Some Electrical and Mechanical Properties.	Incorporación de fibras de carbono al hormigón asfáltico para volverlo un hormigón conductor y tener mejores resultados en sus propiedades mecánicas y eléctricas	Resistividad eléctrica	Experimental aplicado	De acuerdo con los estudios experimentales completados, se concluyó que la incorporación de CF dentro de las mezclas de hormigón asfáltico clasificado denso puede mejorar sus propiedades mecánicas y eléctricas. La inclusión de solo 1,5 % de FC por volumen de mezcla mejoró la	Recomiendan el uso de fibra de carbono en la mezcla de un hormigón asfáltico para poder darle mejores propiedades eléctricas, por lo cual, usan el 1.5% de fibra.	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	2020

17	Development of conductive concretes with the addition of recycled carbon fibers	Este trabajo de investigación se centra en la utilización de fibras de carbono recicladas de productos o procesos, adicionándolo en la mezcla del hormigón, con el fin de modificar sus propiedades eléctricas y transformarlo en un material aislante a otro con propiedades conductivas.	Resistividad eléctrica	Descriptivo	resistividad eléctrica en un 72 %, 20 % y más de nueve órdenes, respectivamente. Con agregados de menor tamaño y mayor proporción de pasta cementicia en las dosificaciones UHPC, respecto a las dosificaciones HC, se ha podido captar una menor resistividad de la matriz, mejor capacidad de adicionar cantidades mayores de fibra, una distribución más uniforme de estas y además se ha podido observar un fenómeno de percolación por la pasta cementicia, descrito en el apartado	Durante la realización de este estudio, las tipologías y presentación de las fibras de carbono recicladas, han aumentado y variado, por una evolución en los procesos de reciclado y origen de las fibras. Una adecuación de tamaño y tipología de las fibras adaptado al uso en matrices cementicias sería adecuado al incidir en una mejora de la dispersión de estas, y por tanto con incidencia directa en mejoras de las propiedades conductivas.	Universitat Politècnica de Catalunya	2020
18	Effect of chemically modified recycled carbon fiber composite on the mechanical properties of cementitious mortar.	Uso de fibra de carbono reciclada sin y con tratamiento para evaluar su resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión	Experimental aplicado	En comparación con el RCFCRM que incorpora el RCFC sin tratar, el mortero que incorpora el RCFC tratado con SPS mostró una ligera disminución de las resistencias a la compresión, pero un aumento de las resistencias a la tracción por división.	Recomiendan que para utilizar la fibra de carbono reciclada es mucho mejor usarla a un curado de 7 días ya que mejora la resistencia a la compresión en comparación en un curado a 28 días.	Composites Part B: Engineering	2019
19	Composites obtained by recycling carbon fibre/epoxy composite wastes in building materials.	Uso de diferentes porcentajes de fibras de carbono a diferentes tipos de mezclas de hormigón	Resistencia a la flexión	Experimental aplicado	Los residuos de CF/epoxi aumentan fuertemente la resistencia a la flexión de los de los materiales compuestos y hacen que su fractura pase de un comportamiento frágil a uno semidúctil. a un	Recomiendan no reciclar los materiales de construcción mediante tratamientos químicos o térmicos previos, es mejor utilizarlo como chatarra ya que puede mejorar el comportamiento	Construction and Building Materials	2019

20	Self-sensing concrete made from recycled carbon fibres.	Se estudia la capacidad de los compuestos de cemento de fibra reciclada como materiales inteligentes para aplicaciones de fibra corta y tipo hoja	Resistencia a compresión, resistencia a la flexión, resistividad eléctrica	Experimental aplicado	comportamiento semidúctil. Sin embargo, estos efectos dependen del tipo de matriz de matriz y de la relación superficie/volumen del refuerzo. Para contenidos de rCF por debajo del umbral de percolación, la respuesta piezorresistiva está controlada principalmente por el espesor de la pasta cementosa que rodea al rCF y, por lo tanto, se obtuvo una pequeña respuesta piezorresistiva. Cuando aumentó el rCF, el mecanismo de transferencia electrónica comenzó a controlar el comportamiento eléctrico y, por lo tanto, aumentó la respuesta piezorresistiva	mecánico Los especímenes incorporados con fibras CT12 en nuestro estudio son más propensos a presentar racimos de fibras que los incorporados con fibras C10/30, debido al mayor número de fibras por unidad de volumen de los primeros. Por eso, se recomienda evaluar diferentes métodos de la distribución de fibras en las mezclas cementicias.	Smart Materials and Structures	2019
21	Mechanical Properties of Carbon-Fiber-Reinforced Concrete	Uso de fibras de carbono en la mezcla del hormigón para determinar sus propiedades físico-mecánicas.	Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión	Experimental aplicado	La resistencia a la compresión del CRF aumenta con el incremento del contenido de fibra hasta un cierto porcentaje, a partir del cual el aumento del contenido de fibra deja de ser beneficioso. La resistencia a la flexión del FRC mejoró con el aumento del contenido de fibra.	Recomiendan que el uso de fibra de carbono en la mezcla del hormigón es adecuado para poder tener mejores resultados en sus propiedades mecánicas, pero que no siempre una mayor cantidad de fibra es mejor para tener buenos resultados.	Advances in Civil Engineering Materials	2019
22	Study on the Effects of Carbon Fibers and Carbon Nanofibers on Electrical	La resistencia y resistividad de dos compuestos se compararon desde la perspectiva del voltaje	Resistividad eléctrica	Experimental aplicado	La resistividad tanto de CFRC como de CNFRC disminuye con el aumento del contenido de fibra. Cuando el contenido de fibra	Se recomienda estudiar muestras con porcentajes de CF menor 0.2% y mayores a 0.3% ya que obtienen menor caída de carga eléctrica	Earth and Environmental Science	2019

	Conductivity of Concrete.	de prueba, la edad y el contenido de fibra. Las fibras de carbono y las nanofibras de carbono mejoran la conductividad eléctrica del hormigón. En este trabajo se presentan características mecánicas, eléctricas y piezoresistivas del hormigón reforzado con fibra de carbono reciclado, las cuales amplían el volumen funcional del hormigón hacia la autopercepción de esfuerzos externos o deformaciones.			está dentro de dos rangos de umbral, la resistividad del hormigón disminuye a la velocidad más rápida.	según los ensayos realizados.		
23	Piezoresistive characterization of reinforced concrete with recycled carbon fibers with autosenory applications		Resistencia a compresión, resistencia a la flexión, resistividad eléctrica	Experimental aplicado	Mayores longitudes de fibras de carbono producen una mejora tanto en la disminución de la resistividad eléctrica como en el incremento de la propiedad piezoresistiva, lo que resulta favorable en la capacidad autosenorial.	Proveer otro tipo de "electrodos" para tomar las medidas de resistividad, uno que no sea tan invasivo en los especímenes. Polarizar los especímenes de tal forma que la conducción iónica no influya en la medida de piezoresistividad en el tiempo.	Universitat Politècnica de Catalunya	2019
24	Development of Carbon Fiber-modified Electrically Conductive Concrete for Implementation in Des Moines International Airport.	Diferentes porcentajes de fibra de carbono en diferentes mezclas de hormigón en el uso de pavimento para determinar el óptimo y comprobar resultados en las propiedades mecánicas y eléctricas.	Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistividad eléctrica	Experimental aplicado	Se observó una diferencia significativa con respecto a la resistividad eléctrica y el asentamiento entre las muestras preparadas en laboratorio y las de campo, mostrando las muestras de campo una resistividad eléctrica casi ocho veces mayor que las muestras de laboratorio a los 90 días de edad.	Es recomendable realizarlo con muestras preparadas en el laboratorio, ya que en campo se tuvo una mayor resistividad, lo cual uno quiere generar una menor resistividad en el hormigón.	Case Studies in Construction Materials	2018
25	Influence of recycled slag aggregates on the conductivity and strain sensing	Uso de fibras de carbono en la mezcla del hormigón usando escorias de Horno de arco eléctrico como	Resistividad eléctrica	Experimental aplicado	La resistividad eléctrica de los morteros de cemento reforzado con CF fue menor si se utilizaron agregados de escoria de acero (procedentes	Recomiendan el uso de escoria de horno de arco eléctrico como agregado para poder mejorar aún más las propiedades mecánicas y	Construction and Building Materials	2018

	capacity of carbon fiber reinforced cement mortars.	agregado fino para poder mejorar sus propiedades electricas y propiedades mecanicas.			del reciclaje de escoria industrial). El umbral de percolación se alcanzó a niveles más bajos de contenido de CF si los agregados finos de piedra caliza (umbral de percolación aproximado al 1,1% en volumen) se sustituyeron por partículas de escoria (inferiores al 0,97% en volumen).	eléctricas del hormigón con fibra de carbono.		
26	The Effect of the Carbon Fiber on Concrete Compressive Strength.	Estudia la resistencia del hormigón bajo factores individuales y se analizó exhaustivamente la ley del cambio de resistencia. Se estudiaron los efectos de diferentes proporciones de arena y tiempo de curado en la resistencia a la compresión del hormigón y se llevó a cabo el análisis de ajuste.	Resistencia a compresión	Experimental aplicado	La proporción adecuada de fibra de carbono y arena puede promover la resistencia a la compresión del hormigón y tiene una buena resistencia al agrietamiento que puede mejorar los modos de falla y las características de la superficie.	Recomiendan para una mezcla utilizando fibra de carbono recicladas un porcentaje menores a 0.4% ya que después de este porcentaje, la resistencia a la compresión disminuye.	Advanced Materials Research	2018
27	Investigation of de-icing of roads with conductive concrete pavement containing carbon fibre-reinforced polymer (CFRP)	Investigaron las propiedades conductoras de compuestos de losas de hormigón con diferentes niveles de contenido de CFRP y el rendimiento de calentamiento por resistencia eléctrica de	Resistencia a compresión , resistencia a la flexión	Experimental aplicado	En muestras que contienen 1, 2 y 5% de CFRP, en comparación con el hormigón simple, la aumento en la resistencia a la flexión fue 68,10, 80,73 y 23,57%, respectivamente. La resistencia a la flexión de las muestras de hormigón que contenían un 7 % de CFRP,	Recomiendan realizar una mayor aplicación de CFRP en la fabricación de compuestos de cementación por resistencia eléctrica debido a su alta conductividad eléctrica y excelentes propiedades mecánicas.	International Journal of Pavement Engineering	2018

		<p>los materiales compuestos y también se exploró el efecto del tipo de voltaje (CC y CA) sobre el rendimiento de calentamiento por resistencia eléctrica.</p>			<p>en comparación con el hormigón simple, se redujo al 9,4 %.</p>			
28	<p>Mortars with improved properties of ductility by aggregates of glass, carbon and basalt fibers</p>	<p>El objetivo principal de este estudio es evaluar la influencia que produce la incorporación de distintos tipos de fibras (vidrio, carbono y basalto) en las propiedades físicas y mecánicas de morteros de cemento y de cal hidráulica, poniendo especial interés en el análisis de la capacidad de absorción de energía de estos materiales.</p>	<p>Resistencia a compresión, resistencia a la flexión</p>	<p>Experimental aplicado</p>	<p>Los ensayos de resistencia a impacto y tracción indirecta ponen de manifiesto el aumento de la capacidad de absorción de energía de los morteros con fibras, independientemente del tipo de conglomerante y fibra empleada, siendo los morteros con fibra de carbono los que presentan mejores resultados.</p>	<p>Ejecución de un proyecto piloto donde puedan aplicarse in situ los diferentes morteros comprobando si las condiciones de amasado, puesta en obra y respuesta a largo plazo son adecuadas.</p>	<p>Universidad Politécnica de Madrid</p>	<p>2018</p>
29	<p>Feasibility analysis- Using recylced carbon short fibres for TRC.</p>	<p>Evaluación de resistencia a la flexión, compresión y tracción para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón.</p>	<p>'Resistencia a la compresión</p>	<p>Experimental aplicado</p>	<p>Las propiedades mecánicas de los compuestos RCFRC aumentan con el aumento del contenido de fibra. La resistencia a la compresión ha disminuido por la adición de fibra.</p>	<p>Hay muchos factores que afectan las propiedades de los compuestos de CFRC. Entre ellos, la dispersión de carbono. fibras en la matriz de cemento afecta directamente las propiedades mecánicas y propiedades eléctricas. Se recomienda realizar pruebas con distinta distribución de la fibra, ya que se presentaron áreas con alta</p>	<p>CONFEREN CE PROCEEDI NGS - NANOCON 2017</p>	<p>2017</p>

30	Experience-based training of students on reinforced concretes by recycled carbon fibers.	Estudio de especímenes reforzados con fibra de carbono reciclada en porcentajes de 0.5% y 1%, y su comportamiento sometido a ensayos de flexión	Resistencia a la compresión	Experimental aplicado	A partir de los resultados experimentales, cuando se incrementaron los porcentajes en peso de las fibras de carbono recicladas en las barras de hormigón, la capacidad de compresión del hormigón disminuyó. Sin embargo, la capacidad de tracción del hormigón significativamente aumentó en comparación con los especímenes de referencia.	concentración de fibra de carbono Recomiendan para una mezcla utilizando fibra de carbono recicladas un porcentaje menores a 0.5% ya que después de este porcentaje, la resistencia a la compresión disminuye.	Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD)	2017
31	Mechanical and smart properties of carbon fiber and graphite conductive concrete for internal damage monitoring of structure.	Uso de fibras de carbono y polvo de grafitos en la mezcla del hormigón para mejorar las propiedades mecánicas y eléctricas del hormigón. El estudio tuvo como objetivo revelar el origen de estos comportamientos mediante el estudio sistemático del efecto de CF en las propiedades eléctricas y mecánicas de los geopolímero.	Resistencia a la compresión, resistividad eléctrica	Experimental aplicado	Las fibras de carbono son eficientes para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón conductor, mientras que el refuerzo se verá socavado al reemplazar parcialmente las fibras con grafito.	Recomiendan un mayor uso de fibra de carbono ya que esto mejora en una mayor proporción la resistencia a la compresión.	Construction and Building Materials	2017
32	Electrical conductivity and compressive strength of carbon fiber reinforced fly ash geopolymeric composites.	El estudio tuvo como objetivo revelar el origen de estos comportamientos mediante el estudio sistemático del efecto de CF en las propiedades eléctricas y mecánicas de los geopolímero.	Resistencia a compresión, resistividad eléctrica	Experimental aplicado	El compuesto con 0,5% CF muestra el mejor desempeño en términos de conducción eléctrica y resistencia a la compresión. El único inconveniente es una trabajabilidad reducida para mayor concentración de FC.	El geopolímero altamente conductivo con resistencia mejorada tiene potencial en muchas aplicaciones útiles, p. puesta a tierra eléctrica, rayos	Construction and Building Materials	2017
33	The impact resistance and mechanical properties of self-	El estudio indica los efectos de las fibras de carbono recicladas sobre las propiedades	Resistencia a la compresión, resistencia	Experimental aplicado	El aumento de la cantidad de r-CFRP picado mejora las propiedades mecánicas y la resistencia al impacto de las	Se recomienda el uso de materiales de polímero reforzado con fibra de carbono, ya que reducen el	Composites Part B	2016

	compacting concrete reinforced with recycled CFRP pieces.	mecánicas de un hormigón autocompactante, incluyendo también las resistencias a la compresión y a la flexión. Se reforzaron probetas de hormigón con tres niveles diferentes de fracciones volumétricas de fibras (0,25%, 0,75% y 1,25%). Este trabajo de investigación propuso realizar un análisis y evaluación donde podamos demostrar las mejoras que se obtienen al utilizar las fibras de carbono y fibras de vidrio en el hormigón armado.	a la flexión		muestras reforzadas. La resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión se correlacionaron linealmente.	peso del hormigón, aportan alta rigidez, alta resistencia a la compresión y flexión, buena durabilidad, lo cual hace que las propiedades mecánicas se vean altamente influenciadas en su comportamiento.		
34	Analysis and evaluation of the structural contribution to reinforced concrete subfloor by adding carbon fibers and fiberglass	Este trabajo de investigación propuso realizar un análisis y evaluación donde podamos demostrar las mejoras que se obtienen al utilizar las fibras de carbono y fibras de vidrio en el hormigón armado.	Resistencia a compresión, resistencia a la flexión	Experimental aplicado	Al usar la fibra de carbono como fibra refuerzo obtuvimos un incremento menor que el obtenido con la fibra de vidrio, pero, la relación costo-beneficio nos indica que debemos descartar la fibra de	La fibra de carbono para la utilización como refuerzo para contrapiso ya que es costosa y podemos valernos de fibras más económicas con índices de resistencias mayores.	Universidad de Guayaquil	2016
35	Study of prevention and cure of frost in conductive pastes and concretes through the addition of carbonaceous materials.	Este trabajo de investigación propuso el estudio de calefacción en distintos materiales en base de cemento mediante la adición de materiales carbonosos.	resistividad eléctrica	Experimental aplicado	La adición de materiales tales como polvo de grafito o fibra de carbono en polvo, en las proporciones empleadas en este estudio, no produce reducciones notables en la resistencia eléctrica. En cambio, esta disminución sí es muy apreciable en el caso de nanofibras y nanotubos de carbono agregados a pastas de cemento.	Optimización de la dosificación de materiales, especialmente de las adiciones conductoras, para lograr el mínimo consumo posible. Empleo de nanomateriales del carbono en probetas de hormigón conductor.	Universidad de Alicante	2016
36	Characterization	La tesis tuvo como	Resistencia	Experimental	Rendimiento de las fibras de	Encontrar el umbral de	Universitat	2015

and development of conductive concrete	<p>objetivo desarrollar y caracterizar hormigones con incorporación de fibra de carbono reciclada. Este objetivo implica caracterizar su comportamiento en estado fresco y su comportamiento en estado endurecido, desde el punto de vista mecánico y eléctrico.</p>	<p>a compresión, resistencia a la flexión, resistividad eléctrica</p>	ental aplicado	<p>carbono recicladas. El mecanismo del hormigón reforzado con fibras (HRF) es similar al del hormigón armado convencional, “cosiendo” las fisuras que pueden producirse dejando a la estructura fuera de servicio. La diferencia está en la sustitución de las barras de diámetro relativamente grande y orientadas según una dirección determinada por la infinidad de fibras de pequeño diámetro y aleatoriamente orientadas que presenta el HRF.</p>	<p>percolación del contenido de fibras de carbono recicladas que ofrezcan el mayor rendimiento, consiguiendo mayor capacidad conductiva con el menor contenido de fibras.</p>	Politécnica de Catalunya
--	--	---	----------------	--	---	--------------------------

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3: Matriz de relación entre subtema y objetivos

SUBTEMAS (Indicadores)	Definición / Justificación del subtema	Objetivo
Resistencia a la compresión del hormigón adicionando fibras de carbono y fibras de carbono recicladas en diferentes porcentajes	<p>La resistencia a la compresión es la característica mecánica principal del hormigón. Se define como la capacidad para soportar una carga axial por unidad de área, a diferentes porcentajes óptimos de fibras la resistencia del hormigón incrementa la incorporación de fibras de carbono o fibra de carbono reciclada a la mezcla cementicia ayudan a soportar las cargas para obtener un hormigón con mayor resistencia.</p>	<p>Determinar porcentaje óptimo de fibra de carbono o fibras de carbono recicladas para incrementar la resistencia a compresión del hormigón.</p>

Resistencia a la flexión del hormigón adicionando fibras de carbono y fibra de carbono reciclada en diferentes porcentajes

La resistencia a la flexión es la característica mecánica del hormigón. Se define como la capacidad para soportar una carga a flexión, a diferentes porcentajes óptimos de fibras la resistencia del hormigón varia; la incorporación de fibras de carbono o fibras de carbono reciclada a la mezcla cementicia ayudan a reducir las fisuras para obtener un hormigón con mayor resistencia.

Determinar porcentaje óptimo de fibra de carbono o fibras de carbono recicladas para incrementar la resistencia a flexión del hormigón.

Resistividad eléctrica del hormigón adicionando fibras de carbono y fibra de carbono reciclada en diferentes porcentajes

La resistividad eléctrica es una propiedad recíproca de la conductividad que indica su resistencia al paso de las cargas eléctricas. Se define como la resistencia al paso de los electrones, a diferentes porcentajes óptimos de fibras la resistividad del hormigón varia; la incorporación de fibras de carbono o fibras de carbono recicladas a la mezcla cementicia ayudan a reducir la resistividad incrementando así la conductividad del mismo.

Determinar porcentaje óptimo de fibra de carbono o fibras de carbono reciclada para disminuir la resistividad eléctrica del hormigón.

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 4: Matriz de relación entre los subtemas y las referencias bibliográficas

N°	Autor(es)	Título	Indicador 1: Resist. a la compresión	Indicador 2: Resist. a la flexión	Indicador 3: Resistividad eléctrica
-----------	------------------	---------------	---	--	--

1	Aamar Danish, Mohammad Ali Mosaberpanah, Muhammad Usama Salim, Mugahed Amran, Roman Fediuk, Togay Ozbakkaloglu, Muhammad Fawad Rashid	Utilization of recycled carbon fiber reinforced polymer in cementitious composites: A critical review.		0.05%, 0.2%
2	Espinoza-Moreno, C., Rodriguez- Rodriguez, M., Pellegrini- Cervantes, M.J., Barrios- Durstewitz, C., Núñez-Jaquez, R., Peinado-Guevara, H., Chinchillas- Chinchillas, M. & Fajardo-San Miguel, G.	Electrical percolation and fluidity of conductive recycled mortar cement: graphite powder: recycled sand with addition of industrial waste carbon fiber.		0.1%,0.3%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2% 2.5% 3% (3,7,28dias) (Cemento Portland)
3	Yan Wang, Shaohui Zhang, Daming Luo, Xianming Shi	Effect of chemically modified recycled carbon fiber composite on the mechanical properties of cementitious mortar.	1% (7 y 28 días)	
4	A. Sacconi, S. Manzi, I. Lancellotti & L. Lipparini	Composites obtained by recycling carbon fibre/epoxy composite wastes in building materials.		1.3%, 2.5% (Cemento Portland) (28dias)
5	Faneca, G., Ikumi, T., Torrents, J. M., Aguado, A., & Segura, I.	Conductive concrete made from recycled carbon fibres for self-heating and de-icing applications in urban furniture.		0.407%, 1.65% (Cemento Portland)

6	Prieto, M., González, M., Cobo, A. & Alonso, D	Comparison of the Mechanical Behavior of Concrete Containing Recycled CFRP Fibers and Polypropylene Fibers.	0.43%, 0.85% (Cemento Portland) (28 días)		
7	Belli A., Mobili A., Bellezze T. & Tittarelli F.	Commercial and recycled carbon/steel fibers for fiber-reinforced cement mortars with high electrical conductivity	0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% (Cemento Portland) (28días)	0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% (Cemento Portland) (28días)	0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% (Cemento Portland) (28días)
8	Yan WANG, Tongxin ZHANG, Bingbing GUO, Ditao NIU.	Conductivity of recycling carbon fiber concrete	0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, 0.5%, 0.6%, 0.7%, 0.8%, 0.9%, 1% (Cemento Portland) (28 días)		0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1%, 1.2, 1.4, 1.6% (Cemento Portland) (7, 28 y 60 días)
9	Mastali M., Abdollahnejad Z., Dalvand A., Sattarifard A. & Ilikainen M.	Comparative effects of using recycled CFRP and GFRP fibers on fresh- and hardened-state properties of self-compacting concretes: a review.	0.5%, 1.0% 1.5%, 2.0% (Cemento Portland) (28días)	0.5%, 1.0% 1.5%, 2.0% (Cemento Portland) (28días)	
10	Xiong, C., Lan, T., Li, Q., Li, H. & Long, W.	Study of Mechanical Properties of an Eco-Friendly Concrete Containing Recycled Carbon Fiber Reinforced Polymer and Recycled Aggregate	0.5%, 1%, 1.5% (Cemento Portland) (28días)	0.5%, 1%, 1.5% (Cemento Portland) (28días)	
11	Behera P., Baheti V., Koch A., Wiener J. & Militky J.	Feasibility analysis-Using recycled carbon short fibres for TRC.	0%, 0.1%, 0.3% y 0.5% (Cemento Portland) (28 días)		
12	Segura I., Faneca G., Torrents J., & Aguado A.	Self-sensing concrete made from recycled carbon fibres.	0.2,0.4,0.6,0.8,1,1.2 y 1.4%del volumen (28 días)	0.2,0.4,0.6,0.8,1,1.2 y 1.4%del volumen (28 días)	0.2,0.4,0.6,0.8,1,1.2 y 1.4% del volumen (28 días)

13	Cosgun, Cumhur & Patolla, Vamsidhar & Alzahrani, Naif & Zeineddine, Faisal & Asmatulu	Experience-based training of students on concretes reinforced by recycled carbon fibers.	0.5% y 1% (Cemento Portland)		
14	Mastali M. & Dalvand A.	The impact resistance and mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with recycled CFRP pieces.	0,25%, 0,75% y 1,25% (Cemento Portland)	0,25%, 0,75% y 1,25% (Cemento Portland)	
15	Lining Wang & Farhad Aslani.	Mechanical properties, electrical resistivity and piezoresistivity of carbon fibre-based self-sensing cementitious composites-	0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% (7 y 28 días) (Cemento Portland)	0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% (7 y 28 días) (Cemento Portland)	0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% (7 y 28 días) (Cemento Portland)
16	Sassani, Alireza & Ceylan, Halil & Kim, Sunghwan & Arabzadeh, Ali & Taylor, Peter & Gopalakrishnan, Kasthurirangan.	Development of Carbon Fiber-modified Electrically Conductive Concrete for Implementation in Des Moines International Airport.	0.75%, 1%, 1.5% (28 días) (Cemento Portland)	0.75%, 1%, 1.5% (28 días) (Cemento Portland)	0.75%, 1%, 1.5% (3, 28 y 90 días) (Cemento Portland)
17	Yushi Liu, Weichen Tian, Mingzhi Wang, Beimeng Qi, Wei Wang.	Rapid strength formation of on-site carbon fiber reinforced high-performance concrete cured by ohmic heating.	2%(3dias) (Cemento Portland)	2% (3dias) (Cemento Portland)	0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% (3dias) (Cemento Portland)
18	Mussa F., Al-Dahawi A., Banyhussan Q., Baanoon M. & Shalash M.	Carbon Fiber-Reinforced Asphalt Concrete: An Investigation of Some Electrical and Mechanical Properties.			0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% (3dias) (Cemento Portland)
19	S. Y. Ghanem and J. Bowling	Mechanical Properties of Carbon-Fiber-Reinforced Concrete	0.5%, 1%, 1.5%, 2% (28dias) (Cemento Portland)	0.5%, 1%, 1.5%, 2% (28dias) (Cemento Portland)	

20	Baeza F., Galao O., Vegas I., Cano M. & Garcés P.	Influence of recycled slag aggregates on the conductivity and strain sensing capacity of carbon fiber reinforced cement mortars.			1%,2%,3%,4% en masa (28 días) (Cemento Portland)
21	Min Chen, Peiwei Gao, Fei Geng, Lifang Zhang & Hongwei Liu.	Mechanical and smart properties of carbon fiber and graphite conductive concrete for internal damage monitoring of structure.	0.25%,0.5%,0.7%,1% (7 y 28 días) (Cemento Portland)		1% (28 días) (Cemento Portland)
22	Zhihang Wang, Jinyu Xu, Liangxue Nie, Wei Xia, Zhe Huang & Xin Meng	Effect of Test Voltage and Age on the Resistivity of Carbon Fiber Reinforced Concrete			0, 0,1 %, 0,2 %, 0,3 %, 0,5 % (1 d, 3 d, 7 d y 28 d)
23	Shafi Ullah, Shanhong Wan, Chen Yang, Xianyong Ma, Zejiao Dong.	Self-damage sensing of electrically conductive self-compacting concrete incorporating short carbon fiber.	0%,0.5%,1%,1.5% y 2% (Cemento Portland)		0%,0.5%,1%,1.5% y 2% (Cemento Portland)
24	De Jia L., Mei Jun C., Xue L., He F. & Hu J.	The Effect of the Carbon Fiber on Concrete Compressive Strength.	0.2%,0.4%,0.6%,0.8% y 1% (3,7 y 28 días) (Cemento Portland)		
25	Peyman Maleki, Behnam Iranpour & Gholamali Shafabakhsh	Investigation of de-icing of roads with conductive concrete pavement containing carbon fibre-reinforced polymer (CFRP)	0% 0.3%,0.6%,1.5% y 2% (Cemento Portland) (28días)	0% 0.3%,0.60%,1.5% y 2% (Cemento Portland) (28días)	
26	Ullah S., Chen Yang, Liping Cao, Peng Wang, Qinggang Chai, Yuexiang Li, Lizhi Wang, Zejiao Dong, Nonde Lushinga & Bingtao Zhang.	Material design and performance improvement of conductive asphalt concrete incorporating carbon fiber and iron tailings.			0.2%,0.4%,0.6%,0.8%, 1%, 1.2% y 1.4% (cemento asfáltico)

27	Kadhim A., Al-Dahawi A., & Banyhussan Q.	Mechanical and Piezoresistive Properties of Fibre Reinforced Concrete Pavement.	0.5% y 1% (Cemento Portland)		0.5% y 1% (Cemento Portland)
28	Payakaniti P., Pinitsoontorn S., Thongbai P., Amornkitbamrung V. & Chindaprasirt P.	Electrical conductivity and compressive strength of carbon fiber reinforced fly ash geopolymeric composites.	0.1,0.2,0.3,0.4,0.5% (Cenizas volantes)		0.1,0.2,0.3,0.4,0.5% (Cenizas volantes) para L/A=0.4
29	Wang T., Xu J., Bai E., Luo X., Chen H., Liu G. & Chang S.	Study on the Effects of Carbon Fibers and Carbon nanofibers on Electrical Conductivity of Concrete.			0.1%,0.2%, 0.3%,0.4% y 0.5% (Cemento Portland) (1,3,7 y 28días)
30	Tian, Weichen & Qi, Beimeng & Liu, Yushi & Liu, Keqi & Wang, Wei.	Early frost resistance and permeability properties of carbon fiber/cement-based composite cured by ohmic heating under ultra-low temperature			0,0.25,0.5,0.75,1,1.25,1% (Cemento Portland)
31	Bustos Garcia, A.	Mortars with improved properties of ductility by aggregates of glass, carbon and basalt fibers	0.33, 0.66, 1.0 y 1.33% (Cemento puzolánico CEM IV con ceniza volante; Cemento puzolánico tipo II con caliza y clinker) (28días)	0.33, 0.66, 1.0 y 1.33% (Cemento puzolánico CEM IV con ceniza volante; Cemento puzolánico tipo II con caliza y clinker) (28días)	
32	López, E.	Characterization and development of conductive concrete	0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2 y 1.4 % (Cemento Portland)	0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2 y 1.4 % (Cemento Portland)	0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2 y 1.4 % (Cemento Portland)
33	Quiñonez Olaya, J.	Analysis and evaluation of the structural contribution to reinforced concrete subfloor by adding carbon fibers and fiberglass	7% (Cemento Portland) (7,14 y 28días)	7% (Cemento Portland) (7,14 y 28días)	
34	Bañon L.	Study of prevention and cure			2% (Cemento Portland)

		of frost in conductive pastes and concretes through the addition of carbonaceous materials.			
35	Valverde Burneo, D.	Piezoresistive characterization of reinforced concrete with recycled carbon fibers with autosensory applications	0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, 1.4% (Cemento Portland) (14días)	0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, 1.4% (Cemento Portland) (14días)	0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, 1.4% (Cemento Portland)
36	Faneca Llesera, G.	Development of conductive concretes with the addition of recycled carbon fibers			Porcentajes según 3 artículos realizados

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 5: Matriz de relación fibra de carbono virgen y resistencia a la compresión

N°	Autor	Tipo de cemento	Aditivos	Tipo de fibra	Long. De fibra (mm)	Porcentaje de fibra (%)	w/c	Mezcla	Ensayo de Compresión (Kg/cm ²)				
									3d	7d	14d	28d	56d
19	S. Y. Ghanem and J. Bowling	Portland	-	Fibra de carbono virgen	13	0	0.4	M0	-	-	-	409	-
								M0.5	-	-	-	418	-
								M1	-	-	-	465	-
								M1.5	-	-	-	417	-
								M2	-	-	-	395	-
								2	-	-	-	395	-
23	Shafi Ullah, Shanhong Wan, Chen Yang, Xi anyong Ma, Zejiao Dong.	Portland	-	Fibra de carbono virgen	6	0	0.4	BC0	-	-	-	230	250
								BC0.5	-	-	-	250	270
								BC1	-	-	-	270	310
								BC1.5	-	-	-	255	265
								BC2	-	-	-	220	245
								CC0	-	-	-	270	295
								CC0.5	-	-	-	280	309
								CC1	-	-	-	320	342
								CC1.5	-	-	-	285	312
								CC2	-	-	-	240	271
24	De Jia L., Mei Jun C., Xue L., He F. & Hu J.	Portland	-	Fibra de carbono virgen	38	0	0.3	M0	141	235	-	302	-
								M0.2	205	242	-	335	-
								M0.4	180	229	-	320	-
								M0.6	238	288	-	330	-
								M0.8	262	291	-	349	-
								M1	250	279	-	360	-
25	Peyman Maleki, Behnam Iranpour & Gholamali Shafabakhsh	Portland	Rheomac sf100 (Humo de silice); Rheobuild 1000 (superplastificante)	Fibra de carbono virgen	50	0	0.4	M0	-	-	-	404	-
								M1	-	-	-	438	-
								M2	-	-	-	490	-
								M5	-	-	-	349	-
								M7	-	-	-	226	-
								2	-	-	-	226	-

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 6: Matriz de relación fibra de carbono virgen y resistencia a la flexión

N°	Autor	Tipo de cemento	Aditivos	Tipo de fibra	Long. De fibra (mm)	Porcentaje de fibra (%)	w/c	Mezcla	Ensayo de Flexión (Kg/cm ²)				
									3d	7d	14d	28d	56d
19	S. Y. Ghanem and J. Bowling	Portland	-	Fibra de carbono virgen	13	0	0.42	M0	-	-	-	56.59	-
						0.5		M0.5	-	-	-	58.43	-
						1		M1	-	-	-	59.45	-
						1.5		M1.5	-	-	-	64.04	-
						2		M2	-	-	-	65.67	-
25	Peyman Maleki, Behnam Iranpour & Gholamali Shafabakhsh	Portland	Rheomac sf100 (Humo de silice); Rheobuild 1000 (superplastificante)	Fibra de carbono virgen	50	0	0.47	M0	-	-	-	66.18	-
						0.3		M1	-	-	-	111.25	-
						0.6		M2	-	-	-	119.61	-
						1.5		M5	-	-	-	81.78	-
						2		M7	-	-	-	59.96	-
31	Bustos Garcia, A.	Portland	Glenium sky604 (Reductor de agua)	Fibra de carbono virgen	12	0	0.65	M-R	-	-	-	70	-
						0.33		M-FC-0.33	-	-	-	66	-
						0.667		M-FC-0.66	-	-	-	66	-
						1		M-FC-1	-	-	-	60	-
						1.33		M-FC-1.33	-	-	-	52	-

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7: Matriz de relación fibra de carbono virgen y la resistividad eléctrica

N°	Autor	Tipo de cemento	Aditivos	Tipo de fibra	Long. De fibra (mm)	Porcentaje de fibra (%)	Tipo de ensayo	w/c	Mezcla	Ensayo de Resistividad ($\Omega \cdot m$)			
										3d	7d	14d	28d
18	Mussa F., Al-Dahawi A., Banyhussan Q., Baanoon M. & Shalash M.	Cemento asfáltico	-	Fibra de carbono virgen	12	0	2 electrodos	-	M0	-	-	-	3.00E+09
						0.5			M0.5	-	-	-	6.00E+06
						1			M1	-	-	-	1.00E+02
						1.5			M1.5	-	-	-	1.00E+01
						2			M2	-	-	-	8.00E+00
2.5	M2.5	-	-	-	8.50E+00								
26	Ullah S., Chen Yang, Liping Cao, Peng Wang, Qinggang Chai, Yuexiang Li, Lizhi Wang, Zejiao Dong, Nonde Lushinga & Bingtao Zhang.	Cemento asfáltico	Policarboxilato	Fibra de carbono virgen	6	0	2 electrodos	-	M0	-	-	-	85.00
						0.2			M0.2	-	-	-	31.00
						0.4			M0.4	-	-	-	17.00
						0.6			M0.6	-	-	-	10.00
						0.8			M0.8	-	-	-	5.00
						1			M1	-	-	-	4.00
						1.2			M1.2	-	-	-	4.00
1.4	M1.4	-	-	-	3.00								
29	Wang T., Xu J., Bai E., Luo X., Chen H., Liu G. & Chang S.	Portland	Policarboxilato (reductor de agua)	Fibra de carbono virgen	12	0	2 electrodos	0.36	CFRC 0	124.50	58.00	-	120.00
						0.1			CFRC 0.1	114.00	53.00	-	110.00
						0.2			CFRC 0.2	111.00	42.00	-	107.00
						0.3			CFRC 0.3	98.00	34.00	-	95.00
						0.5			CFRC 0.5	93.00	29.00	-	90.00
30	Tian, Weichen & Qi, Beimeng & Liu, Yushi & Liu, Keqi & Wang, Wei.	Portland	Policarboxilato (reductor de agua)	Fibra de carbono virgen	4	0	2 electrodos	0.35	M0	-	-	-	1.39
						0.25			M0.25	-	-	-	0.62
						0.5			M0.5	-	-	-	0.54
						0.75			M0.75	-	-	-	0.20
						1			M1	-	-	-	0.18
1.25	M1.25	-	-	-	0.14								

1.5 M1.5 - - - 0.10

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 8: Matriz de relación fibra de carbono reciclada y resistencia a la compresión

N°	Autor	Tipo de cemento	Aditivos	Tipo de fibra	Long. De fibra (mm)	Porcentaje de fibra (%)	w/c	Mezcla	Ensayo de Compresión (Kg/cm ²)			
									3d	7d	14d	28d
3	Yan Wang, Shaohui Zhang, Daming Luo, Xianming Shi	Portland	-	Fibra de carbono reciclada	12	0	0.5	I	-	370	-	490
						1		II	-	380	-	440
7	Belli A., Mobili A., Bellezze T. & Tittarelli F.	Portland	Policarboxilato	Fibra de carbono reciclada	6	0	0.5	REF	-	-	-	480
						0.05		0.05RCF	-	-	-	590
						0.1		0.1RCF	-	-	-	520
						0.2		0.2RCF	-	-	-	520
						0.4		0.4RCF	-	-	-	535
						0.8		0.8RCF	-	-	-	500
						1.2		1.2RCF	-	-	-	456
1.6	1.6RCF	-	-	-	452							
10	Xiong, C., Lan, T., Li, Q., Li, H. & Long, W.	Portland	-	Fibra de carbono reciclada		0	0.4	RA0RF0	-	-	-	536
						0.5		RA0RF5	-	-	-	549
						1		RA0RF10	-	-	-	500
						1.5		RA0RF15	-	-	-	491
14	Mastali M. & Dalvand A.	Portland	agente reductor de agua (Mape110)	Fibra de carbono reciclada	20	0	0.35	M0	-	-	-	400
						0.25		CFRC0.5	-	-	-	524
						0.75		CFRC0.75	-	-	-	588
						1.25		CFRC1.25	-	-	-	660

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 9: Matriz de relación fibra de carbono reciclada y resistencia a la flexión

N°	Autor	Tipo de cemento	Aditivos	Tipo de fibra	Long. De fibra (mm)	Porcentaje de fibra (%)	w/c	Mezcla	Ensayo de Flexión (Kg/cm ²)		
									7d	14d	28d
4	A. Saccani, S. Manzi, I. Lancellotti & L. Lipparini	Portland	-	Fibra de carbono reciclada	5-8	0	0.4	R-CFC0			32
						1.3		R-CFC1.3			60
						2.5		R-CFC2.5			79
7	Belli A., Mobili A., Bellezze T. & Tittarelli F.	Portland	Policarboxilato	Fibra de carbono reciclada	6	0	0.5	REF			69
						0.05		0.05RCF			76
						0.1		0.1RCF			75
						0.2		0.2RCF			89
						0.4		0.4RCF			98
						0.8		0.8RCF			101
						1.2		1.2RCF			121
1.6	1.6RCF	139									
10	Xiong, C., Lan, T., Li, Q., Li, H. & Long, W.	Portland	-	Fibra de carbono reciclada		0	0.4	RA0RF0			45
						0.5		RA0RF5			49
						1		RA0RF10			54
						1.5		RA0RF15			54
14	Mastali M. & Dalvand A.	Portland	agente reductor de agua (Mape110)	Fibra de carbono reciclada	20	0	0.35	M0			38
						0.25		CFRC0.5			49
						0.75		CFRC0.75			57
						1.25		CFRC1.25			63

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 10: Matriz de relación fibra de carbono reciclada y la resistividad eléctrica

N°	Autor	Tipo de cemento	Aditivos	Tipo de fibra	Tipo de ensayo	Long. De fibra (mm)	Porcentaje de fibra (%)	w/c	Mezcla	Ensayo de Resistividad (Ω .m)		
										7d	14d	28d
8	Yan WANG, Tongxin ZHANG, Bingbin GUO, Ditao NIU.	Portland	Policarboxilato	Fibra de carbono reciclada	4 electrodos	20	0	0.253	M0	-	-	28.5
							0.1		M0.1	-	-	14.5
							0.2		M0.2	-	-	14
							0.3		M0.3	-	-	11
							0.4		M0.4	-	-	2.8
							0.5		M0.5	-	-	0.7
							0.6		M0.6	-	-	1.5
							0.7		M0.7	-	-	2
							0.8		M0.8	-	-	0.9
							0.9		M0.9	-	-	0.2
							1		M1	-	-	0.5
12	Segura I., Faneca G., Torrents J., & Aguado A.	Portland	superplastificante de policarboxilato (Glenio ACE425); suspensión de nanosilice(Meyco MS685)	Fibra de carbono reciclada	4 electrodos	20	0	0.14	C10/30	-	-	66.67
							0.2		C10/30-0.2	-	-	15.39
							0.4		C10/30-0.4	-	-	6.45
							0.5		C10/30-0.5	-	-	5.26
							0.6		C10/30-0.6	-	-	5.35
							0.7		C10/30-0.7	-	-	6.49
							0.8		C10/30-0.8	-	-	6.85
							1		C10/30-1	-	-	8.85
							1.2		C10/30-1.2	-	-	9.52
							1.4		C10/30-1.4	-	-	14.29

						0		C10/30	-	-	200	
						0.2		C10/30-0.2	-	-	15.873	
						0.4		C10/30-0.4	-	-	8.065	
						0.5		C10/30-0.5	-	-	4.902	
32	López, E.	Portland	Powerflow 1120 (superplastific ante); Meyco ms 685 (nanosilice amorfa para mejorar cohesión)	Fibra de carbono reciclada	4 electrodos	6/60	0.6	0.14	C10/30-0.6	-	-	5.435
							0.7		C10/30-0.7	-	-	5.650
							0.8		C10/30-0.8	-	-	6.410
							1		C10/30-1	-	-	9.009
							1.2		C10/30-1.2	-	-	9.804
							1.4		C10/30-1.4	-	-	13.514

Fuente: Elaboración Propia