



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Adición de polvo de grafito para mejorar las propiedades
físico-mecánicas del hormigón

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

AUTORES:

Jesus Tolentino, Juan Carlos
ORCID: 0000-0001-6961-7509

Villacrez Huaman, Jamile Alexandra
ORCID: 0000-0001-8466-1436

ASESORA:

Chavarría Reyes, Liliana Janet
ORCID: 0000-0002-1759-2132

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Jesus Tolentino, Juan Carlos

DNI: 76352171

Villacrez Huaman, Jamile Alexandra

DNI: 70036661

Datos de asesor

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Córdova, Oscar

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-5142-3789

JURADO 2

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 3

Torres Chung, César 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 mis padres por haberme forjado en la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes, entre los cuales se incluye este. A mis abuelas por siempre apoyarme e impulsarme a salir adelante.

Jesus Tolentino, Juan Carlos

A mi mamá y hermana por brindarme su apoyo, motivación y cariño a lo largo de todo mi desarrollo personal y profesional.

Villacrez Huaman, Jamile Alexandra

AGRADECIMIENTO

A nuestra asesora Liliana Janet Chavarría Reyes y metodólogo Carlos Magno Chavarry Vallejo por apoyarnos y guiarnos en la culminación de la presente tesis y compartir con nosotros parte de su conocimiento. A la Universidad Ricardo Palma, nuestra alma máter.

Jesus Tolentino, Juan y Villacrez Huaman, Jamile

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
INTRODUCCIÓN	iv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.1. Problema e importancia	1
1.1.2 Árbol del problema (Causas – Problema – Consecuencias)	2
1.2. Formulación de la investigación	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos	2
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.....	3
1.4.1 Geográfica.....	3
1.4.2 Temporal	3
1.4.3 Temática.....	3
1.4.4 Muestral	4
1.5. Justificación	4
1.5.1 Conveniencia.....	4
1.5.2 Relevancia Social	4
1.5.3 Aplicaciones prácticas.....	4
1.5.4 Utilidad metodológica.....	4
1.5.5 Valor teórico	5
1.6. Importancia	5
1.6.1 Nuevos conocimientos	5
1.6.2 Aporte.....	5
1.7. Limitaciones.....	5
1.7.1 Falta de estudios previos de investigación	5
1.7.2 Metodológicos o prácticos	5
1.7.3 Medidas para la recolección de datos	6
1.7.4 Obstáculos de la investigación.....	6
1.8. Alcance	6

1.9.	Viabilidad del estudio	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		7
2.1.	Marco histórico	7
2.2.	Investigaciones relacionados con el tema	8
2.2.1.	Investigaciones internacionales.....	8
2.2.2.	Investigaciones nacionales	10
2.2.3.	Artículos relacionados con el tema	13
2.3.	Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	16
2.3.1.	Fundamentación teórica	16
2.3.2.	Aditivos en base de grafeno	17
2.3.3.	Propiedades del concreto	18
2.3.4.	American Society for Testing and Materials (ASTM).....	20
2.3.5.	American Concrete Institute (ACI).....	20
2.3.6.	Norma E060	21
2.4.	Definición de términos básicos.....	21
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS		23
3.1.	Hipótesis	23
3.1.1	Hipótesis General	23
3.1.2	Hipótesis Específicas	23
3.2.	Sistema de variables.....	23
3.2.1.	Definición conceptual y operacional.....	23
3.2.2.	Operacionalización de variables	25
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		26
4.1.	Método de la investigación	26
4.2.	Tipo de la investigación	26
4.3.	Nivel de la investigación.....	26
4.4.	Diseño de la investigación	26
4.5.	Población y muestra.....	26
4.5.1.	Población.....	26
4.5.2.	Muestra.....	27
4.6.	Técnicas e instrumentación de recolección de datos	27
4.6.1.	Instrumentos de la investigación.....	27
4.6.2.	Métodos y técnicas	28
4.7.	Descripción de procedimientos de análisis	28

4.7.1. Exploración de datos	28
4.7.2. Evaluación de confiabilidad y validez del material	29
4.7.3. Preparación de los resultados para presentarlos.....	29
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA	
INVESTIGACIÓN.....	30
5.1. Resultados de la Investigación.....	30
5.2. Análisis e Interpretación de los resultados	49
5.3. Contrastación de Hipótesis	58
DISCUSIÓN	65
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de Resistencia a la compresión	11
Tabla 2. Ensayo de consistencia y porcentaje de variación con respecto al concreto patrón.....	11
Tabla 3. Operacionalización de Variables	25
Tabla 4. Muestra de la investigación	27
Tabla 5. Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días.....	31
Tabla 6. Resultados resistencia a la compresión.....	32
Tabla 7. Proporción del diseño de mezcla para 1m ³	33
Tabla 8. Valores de resistencia a la compresión	33
Tabla 9. Resultados de resistencia a la compresión.....	34
Tabla 10. Resultados de resistencia a la compresión.....	36
Tabla 11. Resultados de asentamiento para diferentes porcentajes de polvo de grafito.	37
Tabla 12. Resultados de asentamiento	38
Tabla 13. Resultados de asentamiento	39
Tabla 14. Resultados de asentamiento	40
Tabla 15. Resultados de resistencia a la flexión del hormigón.....	41
Tabla 16. Resultados de resistencia a la flexión del hormigón.....	42
Tabla 17. Resultados de resistencia a la flexión del hormigón.....	43
Tabla 18. Resultados de resistividad eléctrica	44
Tabla 19. Resultados de resistividad eléctrica	45
Tabla 20. Resultados de resistividad eléctrica	46
Tabla 21. Resultados de resistividad eléctrica	47
Tabla 22. Resultados de resistividad eléctrica	48
Tabla 23. Resumen de resultados para resistencia a la compresión con adición de polvo de grafito	51
Tabla 24. Resumen de resultados para asentamiento con adición de polvo de grafito...	53
Tabla 25. Resumen de resultados de resistencia a la flexión	55
Tabla 26. Resumen de resultados de resistividad del hormigón.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol del problema.....	2
Figura 2. Aditivos en base de grafeno	18
Figura 3. Variación de la Resistencia a la compresión	31
Figura 4. Resumen de resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días	32
Figura 5. Resultados Resistencia a la compresión	33
Figura 6. Resultados de Resistencia a la compresión	35
Figura 7. Resultados de Resistencia a la compresión	36
Figura 8. Resultados de asentamiento.....	37
Figura 9. Resultados de asentamiento.....	38
Figura 10. Resultados de asentamiento.....	39
Figura 11. Resultados de asentamiento.....	40
Figura 12. Resultados de resistencia a la flexión del hormigón	41
Figura 13. Resultados de resistencia a la flexión del hormigón	42
Figura 14. Resultados de resistencia a la flexión del hormigón	43
Figura 15. Resultados de resistividad eléctrica.....	44
Figura 16. Resultados de resistividad eléctrica.....	45
Figura 17. Resultados de Resistividad eléctrica	46
Figura 18. Resultados de Resistividad eléctrica	47
Figura 19. Resultados de resistividad eléctrica.....	48
Figura 20. Resumen de resultados para resistencia a la compresión adicionando polvo de grafito	59
Figura 21. Resumen de resultados para trabajabilidad adicionando polvo de grafito	60
Figura 22. Resumen de resultados de resistencia a la flexión	62
Figura 23. Recopilación de resultados de resistividad eléctrica del hormigón.....	64

RESUMEN

El presente trabajo de investigación “Adición de polvo de grafito para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón” hizo referencia a distintos ensayos de control de calidad del hormigón recolectados de diversas investigaciones nacionales e internacionales con el objetivo de analizar el polvo de grafito para contribuir en las propiedades físico-mecánicas del hormigón, los cuales aportaron datos experimentales e información teórica sobre dosis óptimas y mejoras en las propiedades del hormigón.

La presente investigación es de carácter documental, bibliográfica y descriptiva debido a que el marco teórico estará basado en la recolección de investigaciones anteriores para así finalmente obtener una cantidad de información que describa el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas del hormigón adicionado con polvo de grafito. Los resultados mostraron una mejora en las propiedades mecánicas del hormigón en bajas concentraciones de polvo de grafito y una disminución del asentamiento y la resistividad eléctrica del hormigón. Con lo cual se concluyó que el asentamiento disminuye y la trabajabilidad no mejora respecto al concreto patrón al incrementar cualquier porcentaje de polvo de grafito, esto debido a que el polvo de grafito absorbe cierta cantidad de agua, además de esto la resistencia a la flexión aumenta si la relación a/c es baja y no se usan aditivos superplastificantes, ya que, al incrementar el porcentaje de agua a la mezcla, se obtendrá un descenso en la resistencia a la compresión. Finalmente, la resistividad eléctrica disminuye por la adición de polvo de grafito en cualquiera de los porcentajes utilizados.

Palabras clave: Polvo de grafito, resistencia a la compresión, asentamiento, resistencia a la flexión, resistividad eléctrica.

ABSTRACT

The present research work "Adding graphite powder to improve the physical-mechanical properties of concrete" made reference to different quality control tests of concrete collected from various national and international investigations with the aim of analyzing graphite powder to contribute in the physical-mechanical properties of concrete, which provided experimental data and theoretical information on the optimal doses and improvements in the properties of the concrete.

The present investigation is documentary, bibliographical and descriptive in nature because the theoretical framework will be based on the collection of previous investigations in order to finally obtain a quantity of information that describes the behavior of the physical-mechanical properties of the concrete added with graphite powder. The results showed an improvement in the mechanical properties of the concrete at low concentrations of graphite powder and a decrease in the slump and electrical resistivity of the concrete. With which it was concluded that the settlement decreases and the workability does not improve with respect to the standard concrete when increasing any percentage of graphite powder, this is because the graphite powder absorbs a certain amount of water, in addition to this the resistance to bending increases. if the w/c ratio is low and superplasticizer additives are not used, since, by increasing the percentage of water in the mixture, a decrease in compressive strength will be obtained. Finally, the electrical resistivity decreases by adding graphite powder in any of the percentages used.

Keywords: Graphite powder, compressive strength, slump, flexural strength, electrical resistivity.

INTRODUCCIÓN

Desde hace décadas el concreto es una parte fundamental para las construcciones, por ello se busca cada vez más poder mejorar las propiedades de este ya sea adicionando algún aditivo u otro material que ayude al concreto a mejorar su comportamiento.

La presente tesis busca ampliar el conocimiento de la adición del polvo de grafito en mezclas de hormigón, logrando así la utilización en proyectos de construcción, debido a que se desarrolla una opción diferente a la convencional, optimizando materiales, costo, tiempo e introduciendo las nuevas tecnologías aportando mejoras en la industria de la construcción.

El principal objetivo es analizar el polvo de grafito para contribuir en las propiedades físico-mecánicas del hormigón, para ello se determina los siguientes objetivos específicos de la investigación:

- a. Determinar los porcentajes de polvo de grafito para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón.
- b. Determinar los porcentajes de polvo de grafito para mejorar el asentamiento del hormigón.
- c. Determinar los porcentajes de polvo de grafito para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón.
- d. Determinar los porcentajes de polvo de grafito para mejorar la resistividad eléctrica del hormigón.

El presente trabajo de investigación consta de VI capítulos los cuales se dividen:

El capítulo I contiene la descripción de la realidad problemática, la formulación de los problemas de la investigación y los objetivos; además se describen la delimitación, justificación, importancia, limitaciones, alcance y viabilidad del estudio.

El capítulo II contiene el marco histórico, artículos relacionados con el tema, la estructura teórica y científica que sustenta el estudio y la definición de términos básicos.

El capítulo III contiene el sistema de hipótesis general y específicas, además del sistema de variables de la investigación.

El capítulo IV presenta el método, tipo, nivel y diseño del trabajo de investigación, se define la población y la muestra; y además se definen las técnicas e instrumentación de recolección de datos y el procedimiento de análisis.

El capítulo V contiene la presentación y análisis de resultados de la investigación y la contratación de las hipótesis que han sido planteadas.

Finalmente, se tiene la discusión, conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

1.1.1. Problema e importancia

Las fallas en el hormigón son a día de hoy muy comunes, estos problemas pueden presentarse cuando menos se esperan. Las causas de estas fallas pueden ser muchas y la mayoría de estas se deben principalmente al diseño de mezcla del hormigón.

Por ejemplo, en el caso de pavimentos rígidos donde lo principal a considerar es la capa superficial expuesta, se puede presentar lo siguiente:

La pérdida de la resistencia a la compresión del hormigón, causada principalmente por realizar un mal diseño de la mezcla de concreto viéndose afectado en su durabilidad, este mal diseño es causado por el exceso de carga vehicular que reciben los pavimentos, ya que hoy en día transitan gran cantidad de vehículos pesados por el aumento de construcción de edificaciones que se realizan.

El agrietamiento de las losas de hormigón, el cual se debe al secado prematuro del hormigón causado por realizar una mala práctica en el curado del hormigón, si la mezcla de hormigón pierde parte necesaria de agua para que produzca la reacción química del endurecimiento, ésta no llegará a la resistencia para la cual fue diseñada.

Debido a esto se pretende realizar una mezcla de hormigón con adición de polvos de grafito con el cual se mejoren las propiedades físico- mecánicas del hormigón.

1.1.2. Árbol del problema (Causas – Problema – Consecuencias)

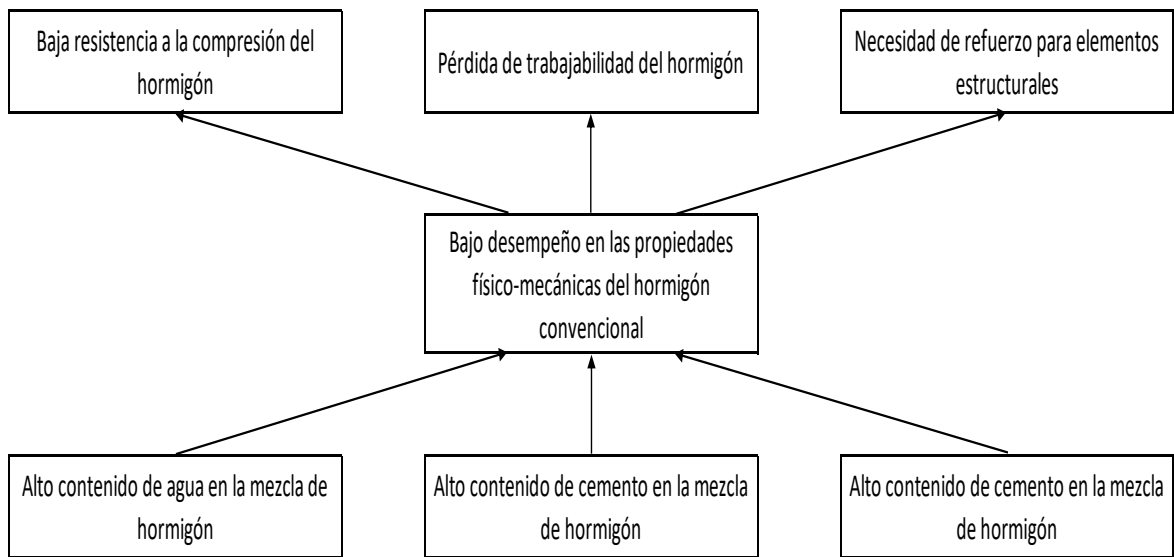


Figura 1. Árbol del problema

Fuente. Elaboración propia

1.2. Formulación de la investigación

1.2.1. Problema general

¿De qué manera el polvo de grafito contribuye en las propiedades mecánicas del hormigón?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida los porcentajes de polvo de grafito contribuye en la resistencia a la compresión del hormigón?
- ¿En qué medida los porcentajes de polvo de grafito contribuye en el asentamiento del hormigón?
- ¿En qué medida los porcentajes de polvo de grafito contribuye en la resistencia a la flexión del hormigón?
- ¿En qué medida los porcentajes de polvo de grafito contribuye en la resistividad eléctrica del hormigón?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Analizar el polvo de grafito para contribuir en las propiedades físico-mecánicas del hormigón.

1.3.2. Objetivos específicos

a. Determinar los porcentajes de polvo de grafito para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón.

b. Determinar los porcentajes de polvo de grafito para mejorar el asentamiento del hormigón.

c. Determinar los porcentajes de polvo de grafito para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón.

d. Determinar los porcentajes de polvo de grafito para mejorar la resistividad eléctrica del hormigón.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Geográfica

El presente proyecto se desarrollará en el departamento de Lima-Perú.

1.4.2. Temporal

El proyecto de investigación se desarrollará durante los meses de mayo del 2022 al mes de diciembre del 2022.

1.4.3. Temática

- Campo: Hormigón armado.
- Área académica: Ingeniería Civil.
- Línea de investigación: Tecnología del concreto.
- Sub línea de investigación: Construcción.

1.4.4 Muestral

Definiendo la unidad de análisis, se pasó a delimitar la población y comparar la información observada y analizada en distintos proyectos de investigación como tesis y artículos científicos con respecto al tema estudiado.

1.5. Justificación

1.5.1 Conveniencia

Esta tesis será de mucha importancia para la construcción ya que los estudios realizados a los polvos de grafito añadidos al diseño de mezcla de hormigón para pavimentos rígidos presentaran mejoras en sus propiedades físicas y mecánicas.

1.5.2 Relevancia Social

La investigación es importante para la sociedad ya que al mejorar las propiedades físicas y mecánicas de hormigón añadiendo polvos de grafito en comparación al hormigón convencional aumentará la resistencia, por lo tanto, se logrará obtener pavimentos más resistentes y durables, protegiendo los intereses de los constructores, clientes y usuarios.

1.5.3 Aplicaciones prácticas

Esta investigación implica los cambios en las propiedades del hormigón mediante el uso de polvos de grafito en el diseño de mezcla para pavimentos rígidos.

1.5.4 Utilidad metodológica

La presente tesis de investigación empezó a partir de una recolección de datos tanto de tesis como de artículos científicos nacionales e internacionales, realizando un comparativo entre la información obtenida con el fin de analizarla y obtener un resultado para cada uno de los objetivos principales.

1.5.5 Valor teórico

Se adquirió la información mediante bibliotecas virtuales y repositorios de diferentes universidades nacionales e internacionales, así como también se utilizaron las normas y fichas técnicas de hormigón.

1.6. Importancia

1.6.1 Nuevos conocimientos

Se ha buscado obtener nuevos aportes respecto a cómo afecta el uso de polvos de grafito a las propiedades mecánicas del hormigón en un pavimento rígido.

1.6.2 Aporte

Obtener los porcentajes óptimos de polvos de grafito como aditivo en el diseño de mezcla de concreto de un pavimento rígido para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

1.7. Limitaciones

1.7.1 Falta de estudios previos de investigación

Los polvos de grafito son un material poco investigado científicamente en nuestro país, por ello conlleva a que la información obtenida sea muy diversa y no tan específica o exacta. Sin embargo, las investigaciones internacionales y naciones realizadas nos brindan diferentes factores respecto a su uso en el hormigón.

1.7.2 Metodológicos o prácticos

Debido a las diferentes normas y bibliografías utilizadas para esta investigación nos permitirá realizar un análisis mediante tablas de datos y obtener una interpretación de resultados respecto a los diversos efectos en las propiedades mecánicas del hormigón.

1.7.3 Medidas para la recolección de datos

Las investigaciones realizadas respecto a cómo afectan los polvos de grafito a las propiedades mecánicas del hormigón es muy limitada y diversa ya que al realizar los ensayos de laboratorio se toman diferentes porcentajes de polvos de grafito lo que conlleva a que la información recaudada no sea confiable o limite el alcance de la investigación.

1.7.4 Obstáculos de la investigación

Debido a la pandemia (Covid19) que se presentó en el año 2020 hasta este año, pero en menor magnitud, el estado propuso restricciones en el país lo cual implica que tenemos el uso del laboratorio de tecnología del concreto muy limitado, con restricciones de aforo y no libremente como hubiera ocurrido en un año sin pandemia.

1.8. Alcance

En esta investigación se realizó un análisis de cómo afecta los diferentes porcentajes de adición de polvos de grafito al hormigón para el diseño de un pavimento rígido a través de ensayos de laboratorio.

1.9. Viabilidad del estudio

La presente investigación es de tipo descriptiva, se documentaron una gran cantidad de investigaciones realizadas en los últimos 5 años y se analizaron los resultados de las distintas tesis y artículos con el fin de cumplir los objetivos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

Desde hace décadas el concreto es una parte fundamental para las construcciones, por ello se busca cada vez más poder mejorar las propiedades de este ya sea adicionando algún aditivo u otro material que ayude al concreto a mejorar su comportamiento. Es importante mencionar que el grafeno ya se había obtenido, pero no era relacionado con el concreto, sin embargo, en el 2017 se describe por primera vez la estructura de bandas del entonces llamado monocapa de grafito mediante un estudio teórico que fue presentado en la revista *Physical Review*.

En el año 2004, se pudo analizar de manera experimental las propiedades del grafeno de una cubierta delgada de pocos átomos de espesor, en ese mismo año se logró crear un grafeno estable con condiciones normales tanto para humedad como para temperatura.

Después del estudio del grafeno y sus propiedades, en la actualidad este material se ha convertido en algo muy interesante para los investigadores ya que se busca poder aprovechar las propiedades que este contiene para así poder mejorar el concreto en su durabilidad, permeabilidad, trabajabilidad y resistencia. Algunos mencionan que el grafeno es más fuerte que el acero ya que aumenta la resistencia del concreto solo utilizando laminas muy delgadas.

En el 2017, en la Universidad de Illinois unos investigadores hallaron una manera de poder obtener grafeno de una forma sencilla y a un costo muy reducido, este estudio consistió en utilizar agua carbonatada y descomponer el grafeno químicamente, esto permitía que el material pueda estar disponible en una cantidad mayor y utilizarla en proyectos de investigación de forma académica.

2.2. Investigaciones relacionados con el tema

2.2.1. Investigaciones internacionales

Perez De la Cruz , Sanchez Cruz , & Torres Arrebillaga, (2021) con el uso de polvo de grafito para poder mejorar la resistencia a la compresión, la trabajabilidad y la conductividad del hormigón se investigó el impacto del grafito como material suplementario en el diseño de mezcla del concreto, esta investigación se basó en la realización de tres mezclas de concreto con diferentes porcentajes de polvos de grafito y una mezcla base en el laboratorio, las mediciones para estos ensayos se realizaron a los 1,2,7 y 28 días del curado del concreto.

Las conclusiones del ensayo fueron las siguientes:

Concreto $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ sin polvo de grafito con porcentaje de 60.74% de un esperado por norma de 70% de la resistencia proyectada esperada.

Concreto $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ al 5% de polvo de grafito con porcentaje de 55.83 % de un esperado por norma de 70% de la resistencia proyectada esperada.

Concreto $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ al 10% de polvo de grafito con porcentaje de 58.85% de un esperado por norma de 70% de la resistencia proyectada esperada.

Flores Nicolas, (2020) en la presente investigación se estudió el uso del material de carbono en su forma alotrópica de grafito, como adición en el concreto reforzado, evaluando su efecto en las propiedades físicas y electroquímicas. Se elaboraron 4 diferentes calidades de concreto reforzado, con porcentaje de grafito 2.5 %, 7.5% y 15 % como sustitución parcial del cemento, para su evaluación en la resistencia a la compresión y su resistencia a la corrosión del acero de refuerzo. Se realizaron las pruebas físicas de los materiales de agregado fino y agregado grueso para el diseño de mezcla como: peso volumétrico seco y suelto, peso volumétrico seco compacto, granulometría del agregado, densidad y absorción. Al concreto recién mezclado se realizaron las pruebas físicas como: revenimiento, temperatura, masa unitaria, contenido de aire. En las pruebas de resistencia a compresión ($f'c$) los especímenes se curaron a 28 días y se ensayaron durante 7, 14 y 28 días.

Los resultados indican la resistencia mecánica a la compresión (f'_c) promedio, de las 4 calidades de diseño de concreto. El concreto patrón M1-0, se diseñó para una resistencia a la compresión de 250 kg/cm²; en el ensayo experimental a compresión se observó que a los 7 días el espécimen 1, obtuvo una resistencia inicial de 187 kg/cm². Después de 28 días de curado adquirió una resistencia máxima promedio de 258 kg/cm² superando el valor de diseño teórico. El segundo diseño M2 con 2.5% de polvo de grafito, se observa un incremento a los 7 días de curado con valores de 235 kg/cm² y 248 kg/cm². Este diseño presenta el mayor incremento inicial comparado con las 3 calidades de diseño; superando a la muestra control. Durante los 28 días de curado, alcanzó una resistencia promedio de 271 kg/cm². El diseño M3-7.5 y M4-15 con adición de polvo de grafito, se observó en el curado inicial a los 7 días una pequeña variación de f'_c con valores de 200 kg/cm² y 190 kg/cm²; alcanzando su máximo valor promedio a los 28 días de 265 kg/cm² y 244 kg/cm². El efecto del porcentaje de grafito aumenta su resistencia f'_c inicial a los 7 días, todos los especímenes superan los valores de diseño teórico. Al final del curado máximo a los 28 días se pudo observar que el diseño M2- 2.5 mejora la resistencia a la compresión, seguido del diseño M3-7.5. Finalmente, al añadir el 15 % de grafito a la pasta afecta en su resistencia mecánica como se aprecia en los resultados; con valores inferiores al diseño teórico. Este comportamiento se asocia con diversos factores como; fisuras o en su caso al añadir gran cantidad de polvo, aumenta la absorción y la hidratación del concreto se ve afectada.

Se concluyó que:

La adición del grafito aumentó la absorción de agua para la producción del concreto, afectando la relación agua/cemento; mientras que el revenimiento fue disminuyendo conforme fue aumentando el nivel de reemplazo de polvo de grafito.

La muestra M2 y M3 con 2.5 % y 7.5 % de reemplazo de polvo de grafito, disminuyó la porosidad de la pasta de concreto; indicando menor

permeabilidad del material, con valores de 19.30% y 20.80 %, con respecto al valor de 22.00 % de la muestra control.

Se visualizó una estructura compacta y con menor porosidad, comparado con la muestra control. Demostrando mayor adherencia y cohesión del cemento con las partículas de carbono y agregado.

La muestra M2 y M3 con 2.5 % y 7.5 % de contenido de polvo de grafito, adquirió un valor de F_c de 271.5 kg/cm² y 266.8 kg/cm² después de 28 días de curado; superando el valor de resistencia de diseño en comparación con la muestra control. Demostrando un buen comportamiento mecánico de la partícula de polvo de grafito sobre la matriz del concreto.

2.2.2. Investigaciones nacionales

Alvarado & Roque, (2020) la presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de la adición de polvos de grafito en las propiedades mecánicas del concreto. Para esto se diseñó un concreto patrón con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y se le adicionó polvo de grafito al 2%, 2.5% y 3% del peso del cemento, para finalmente comparar las propiedades mecánicas de los 4 diseños de mezcla.

Se centró en cómo optimiza la adición de polvos de grafito en la resistencia a la compresión y a la flexión de los diseños de mezcla.

Finalmente se concluye que a medida que aumenta la cantidad de polvo de grafito, el slump disminuye, esto indica que el concreto se vuelve más trabajable a medida que aumenta la concentración de grafito en la mezcla.

Asimismo, a medida que fue aumentando la incorporación del polvo de grafito, su resistencia a la compresión aumenta. Se obtuvo como resultado final que el concreto patrón a los 28 días tuvo una resistencia a la compresión promedio de 290 kg/cm², mientras que el concreto con polvo de grafito al 3% del peso del cemento obtuvo un resultado de 302 kg/cm² de resistencia a la compresión a los 28 días, así como también se observa que a medida que se aumenta la adición de polvo de grafito la resistencia a la flexión de las vigas ensayadas aumenta, se obtuvo como resultado un valor promedio al esfuerzo de flexión de kg/cm² en el concreto patrón,

mientras que para el concreto con adición de polvos de grafito al 3 % del peso del cemento se obtiene un valor de 52 kg/cm².

Ccopa, (2017) esta investigación tuvo como objetivo principal el evaluar la influencia de una adición nanotecnológica como el grafeno en las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido, se recopiló y analizó información con respecto al tema y se verificó si esta adición tuvo efectos positivos con el fin de encontrar una alternativa importante en el desarrollo de la tecnología del concreto.

Tabla 1
Resultados de Resistencia a la compresión

N° Probeta	Edad (días)	Resistencia f'c (kg/cm ²)	Diseño f'c (kg/cm ²)	% Resistencia.
1	28	212	210	101%
2	28	217	210	103%
3	28	214	210	102%
4	28	215	210	102%
5	28	218	210	104%

Fuente. Ccopa, (2017)

Se realizaron ensayos para observar las variaciones de sus propiedades entre un concreto patrón (sin grafeno adicionado), diseñado para llegar a una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² a los 28 días; y concreto con porcentajes del 0.5%, 1% y 1.5% del peso del cemento utilizado en el diseño.

Tabla 2
Ensayo de consistencia y porcentaje de variación con respecto al concreto patrón

Tipo de concreto	Asentamiento (pulgadas)
Concreto patrón	4.4
Grafeno 0.5%	5.2
Grafeno 1%	5.3
Grafeno 1.5%	5.3

Fuente. Ccopa, (2017)

Se pudo decir que el asentamiento fue aumentando a medida que el porcentaje de grafeno añadido aumenta, llegando a alcanzar un asentamiento de 5.3” los diseños de mezcla con adición del 1% y 1.5% de grafeno.

A medida que aumenta el porcentaje de adición de grafeno, mejora la trabajabilidad del concreto, con un nivel de significancia del 1%.

Se concluye finalmente que el concreto con adición de grafeno al 1.5% obtuvo una mayor resistencia a la compresión a los 28 días.

Montañez Adama & Zavala Villarroel, (2020) en la presente investigación, se evaluó las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en el cual se usó grafeno con porcentajes de 0.50% y 1.00%. Para iniciar la investigación determinaron las propiedades de los agregados finos y gruesos, después procedieron a realizar el diseño de mezcla de nuestro concreto patrón, se trabajó con un concreto patrón para el cual se realizaron los ensayos de estado fresco como el ensayo del cono de Abrams para el cual se obtuvo un asentamiento de 3” ,con la adición de 0.50% de Grafeno aumento el asentamiento a 4” y con la adición de 1.00% de Grafeno el asentamiento se obtuvo 3”, se ensayaron 27 probetas las cuales fueron sometidas al ensayo de resistencia a compresión y se obtuvo que para el concreto patrón a los 28 días de diseño el esfuerzo a compresión fue de 208.8 kg/cm^2 , con la adición de 0.50% de grafeno a los 28 días de diseño obtuvo un esfuerzo a compresión de 265.1 kg/cm^2 y con la adición de 1.00% de grafeno a los 28 días de diseño se obtuvo un esfuerzo a compresión de 246.46 kg/cm^2 . Finalmente se llegó a la conclusión que al adicionar grafeno en el concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mejora la resistencia a la compresión en un 27% respecto al concreto patrón.

Lujano Panca & Torres Aldazabal, (2021) Esta investigación tuvo como objetivo principal determinar los efectos del porcentaje de grafeno de las propiedades mecánicas del hormigón $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$, esta investigación fue de tipo experimental, se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y el análisis de slump para poder identificar la trabajabilidad del concreto. Se fabrico un concreto patrón y

4 proporciones con distintos porcentajes de grafeno 0.09%, 0.13%, 0.15% y 0.19% en relación del peso de cemento. Para el desarrollo de la investigación, se obtuvieron los materiales de agregados gruesos y finos de la cantera de Santa Clara del distrito de Ate. En donde se realizaron los análisis de granulometría de acuerdo a las normas NPT y ASTM. El diseño de mezcla se realizó mediante el método ACI 211, las cuales se fabricaron 9 especímenes de concreto patrón y 9 especímenes por cada porcentaje de concreto con adición de grafeno para los porcentajes indicados anteriormente, realizando un total de 45 especímenes para el ensayo de resistencia a compresión y 45 especímenes resistencia a tracción. En ese sentido los especímenes fueron ensayados a la fuerza a compresión y tracción con edades de 7, 14 y 28 días de curado. También, se sometió al concreto fresco al ensayo de cono de Abrams y como resultado se obtuvo una mejoría a la consistencia del concreto. Por último, se realizaron los ensayos de resistencia a tracción con una mejoría de concreto con grafeno de 0.19% con resultado de $f'c = 43.93 \text{ kg/cm}^2$ con aumento de 11% de resistencia y la resistencia a compresión de 0.19% de grafeno y el resultado se obtuvo $f'c = 248 \text{ kg/cm}^2$, la cual aumento un 17 % de resistencia a los 28 días de edad, con respecto al concreto patrón. Esta tesis tuvo como conclusiones que el porcentaje que mejor tiene consistencia al concreto es la de 0.15% y 0.19% en peso de cemento. Eso quiere decir que tiene mejor fluidez y trabajabilidad en dichos porcentajes y con respecto al ensayo de resistencia a la compresión se obtuvo que la mejor dosificación es la de 0.19% en peso de cemento.

2.2.3. Artículos relacionados con el tema

Sen, Zhuo, Jing, Yong, & Xianming, (2019) nos dice que el óxido de grafeno, un material derivado del grafeno ha tenido una buena aceptación en cuanto a su uso en el concreto debido a su buena dispensabilidad en agua, alta relación de aspecto y excelentes propiedades mecánicas, como por ejemplo mejorar el módulo de Young, mejorar las propiedades de transporte y mejorar la resistencia a la congelación y descongelación del hormigón. Estas mejoras del concreto se pueden atribuir a la aceleración

de la hidratación del cemento y al aumento de la producción de hidrato de silicato de calcio, en esta investigación se realizó un total de cuatro mezclas de concreto diferente, el óxido de grafeno (OG) se mezcló con hormigón de cemento portland ordinario (OPC) para cuatro diferentes dosificaciones las cuales fueron 0 – 0,01- 0.05 y 0,1 % en peso de cemento. Los resultados de los ensayos realizados para verificar la compresión en las mezclas de concreto que no contienen GO en proporciones de 0.01, 0.05 y 0.1 % puede aumentar la resistencia a la compresión a los 28 días ya que presento un cambio de 54.2 MPa a 57.9 MPa, 56.6 MPa y 84.5 MPa teniendo así una mejora de 6.8%, 4.5 % y 55.8% respectivamente, para la dosis que no superaba el 0.05% tuvo un aumento similar que oscilo entre el 7% y 30%.

Wengui , et al., (2018) En este estudio se analizaron las propiedades mecánicas de la pasta de cemento frente a los efectos del oxido de grafeno , se investigó experimentalmente como la tasa de hidratación del cemento iba aumentando con el contenido de GO , por otro lado el desarrollo de la resistividad eléctrica de la pasta de cemento fue monitoreado utilizando un dispositivo de resistividad eléctrica sin contacto siendo el resultado de este proceso que la resistividad eléctrica de la pasta de cemento con oxido de grafeno era mayor que una pasta de cemento simple.

Para este ensayo se prepararon diferentes cantidades de pasta de cemento con oxido de grafeno siendo las proporciones 0.02,0.04,0.06 y 0.08% en peso de cemento para estudiar el efecto del contenido de GO sobre el concreto , para las pruebas mecánicas , las muestras fueron fundidas , compactadas y colocadas en una sala de almacenamiento durante 28 días para medir la resistencia a la compresión y flexión , la medición de la resistencia a la compresión se realizó con unas muestras cilíndricas de 25 mm de diámetro y 5 mm de altura.

Se pudo concluir del ensayo que a diferencia de la pasta de cemento simple , la pasta de cemento con oxido de grafeno mostro mayores fuerzas de compresión y flexión , pero estas mejoras sobre todo en el ensayo a flexión empezaron a decaer cuando el óxido de grafeno se incrementó en un

porcentaje mayor que 0.04 % , esto indico que el elemento utilizado podía densificar las pastas de cemento con menos porosidad lo que es consecuente a los resultados de una hidratación acelerada y un aumento de fuerza.

Uruchurtu Cahavarin, Flores Nicolas, & Flores Nicolas,(2021) En esta investigación se evaluó el concreto reforzado con y sin adición de polvo de grafito, las muestras se evaluaron por un periodo de 168 días. Para este trabajo no se cambiaron los pesos de los agregados finos y gruesos, además tampoco utilizaron otro aditivo en la mezcla de concreto, para las muestras M3 y M4 se tuvo que proporcionar mayor cantidad de agua ya que la pasta no era muy trabajable, pero aun así se mantuvo el rango del asentamiento de la mezcla

Para poder analizar los resultados de la resistencia a la compresión de la muestra, se analizó de acuerdo con la norma ASTM C-39, con la cual indicaba ensayar muestras cilíndricas con 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, se tomó resultados a los 7, 14 y 28 días de curado para observar el incremento de la resistencia a la compresión. La muestra patrón se realizó con una resistencia teórica de 250 kg/cm^2 y obtuvo una resistencia experimental de 258 kg/cm^2 , finalmente se logra observar en la tabla 16 que la muestra M2 tiene un aumento de resistencia a los 7 días de curado, lo cual a los 28 días de curado obtiene un aumento de 4.6% mientras que la muestra M4 no obtuvo el mismo resultado ya que presento un bajo valor de 244 kg/cm^2 debido al aumento de agua en la mezcla.

Wenru, Xia, Penchong , Xu, & Yinlan, (2021) en el presente artículo se realizó ensayos de resistencia a la compresión uniaxial y de flexión en tres puntos, para observar las propiedades mecánicas. Para esto se prepararon dos tamaños de espécimen, la primera muestra era cúbica de $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ para los ensayos a compresión y la segunda fue una viga de hormigón de $400 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ para los ensayos a flexión.

Al diseño de mezcla de hormigón se le añadió un superplastificante de ácido poli carboxílico con una reducción de agua del 30%, debido a que la

adición del polvo de grafito puede dar lugar a una mala trabajabilidad del hormigón fresco.

Se utilizó además agregados finos de arena de río, con un módulo de finura de 2.8 y agregados gruesos de piedra triturada, con un tamaño de grano de 5 a 25 mm. En el presente artículo el contenido de polvo de grafito utilizado fue de 3% y 9%. Se consideró parte del agregado fino.

La resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días que contuvo cantidades variables de polvo de grafito. Se pudo notar que la resistencia a la compresión tiene una relación inversa con el contenido de polvo de grafito. Se puede observar que disminuyó en un 10.7% cuando el contenido de polvo de grafito aumenta del 0 al 3% de porcentaje en peso del cemento; y disminuyó en un 30.17% cuando el contenido de polvo de grafito aumenta al 9% de porcentaje en peso del cemento.

Los investigadores concluyeron que la disminución de la resistencia a la compresión fue provocada por una disminución de la integridad del hormigón, así como una reducción de su módulo de elasticidad, lo cual indicó que el polvo de grafito provocó defectos iniciales evidentes en el hormigón.

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Fundamentación teórica

A razón de evaluar la reducción de la resistencia a la compresión del concreto en probetas con dimensiones de 4"x8" debido a una excesiva y falta de compactación; así como la temperatura a la cual deberán estar expuestas, se tomará como referencia lo dictado en la siguiente norma:

La Norma Técnica Peruana [N.T.P.] 339.033 (2009), establece la compactación normada de probetas cilíndricas, para un asentamiento mayor/igual a 25 mm el uso de una barra compactadora; además, para un diámetro de 100 mm indica un número de 25 golpes por capa, siendo el número de capas igual a 2. (p.10).

La Norma Técnica Peruana [N.T.P.] 339.033 (2009), determina un curado inicial, en un período de hasta 48 h, en un rango de temperatura de

almacenamiento de especímenes de concreto entre 16°C a 27°C y en un ambiente que prevenga la pérdida de humedad. Seguido de un curado final en pozas de agua saturada con hidróxido de calcio a una temperatura de $23^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$. (p.13).

La Norma Técnica Peruana [N.T.P.] 339.033 (2009), establece la colocación de especímenes de concreto sobre una superficie nivelada dentro de 20mm/m. (p.13).

2.3.2. Aditivos en base de grafeno

ConcretOnline, (2022) expone que, en el sector de la construcción, el grafeno es utilizado como un material de uso estructural, pues actúa como malla molecular que da soporte a diversas estructuras de grandes edificaciones. El grafeno es un nanomaterial de carbono más fuerte que el acero y más duro que el diamante, además de que cuenta con la capacidad para soportar grandes cargas. Por ello, los hormigones que lo contienen son más resistentes a la tracción, compresión y desgaste. Resultan ser hormigones de alta flexibilidad y ductilidad que van a poder retrasar la aparición de grietas y fisuras lo que es óptimo para resistir frente a sismos y otros desastres naturales, las construcciones realizadas con este tipo de aditivos pueden aumentar su vida útil hasta 50 años más que las actuales. Yecla, (2022) nos dice que se ha registrado en los últimos meses un aumento en la demanda de aditivos con grafeno para hormigones de altos requerimientos destinados especialmente al sector del prefabricado. La escasez de materias primas en el mercado, su incremento de precio y la búsqueda de soluciones más eficientes y ecológicas ha llevado al sector a interesarse en estos aditivos.

La empresa Española Smart Additives cuenta con 7 series de aditivos a base de grafito que actualmente son probadas en el mundo con mucho éxito, algunas de ellas son:

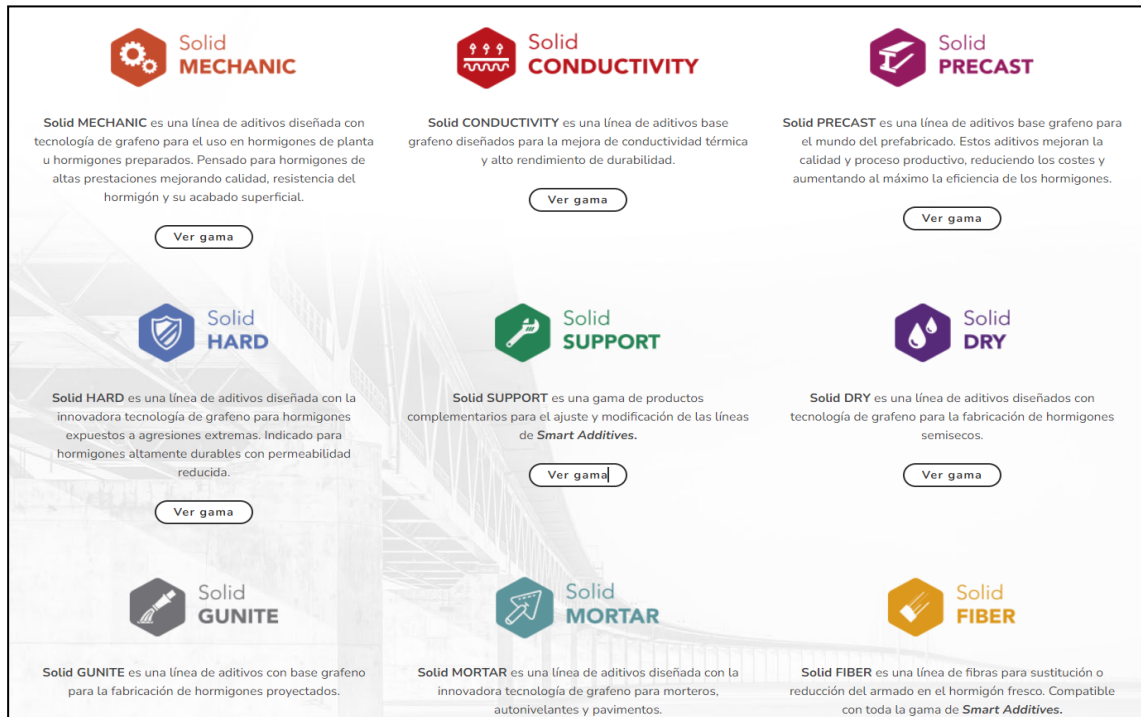


Figura 2. Aditivos en base de grafeno

Fuente. ConcretOnline, (2022)

2.3.3. Propiedades del concreto

En estado Fresco

Terreros Rojas & Carvajal Corredor, (2016) nos dice que el concreto posee diferentes propiedades:

Trabajabilidad o manejabilidad: La capacidad que el concreto tiene para ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación alguna, está representado por la facilidad a la compactación, como también el mantenerse como una masa estable, deformarse continuamente sin romperse y fluir o llenar espacios vacíos alrededor de los elementos que absorbe. Dentro de los factores que optimizan en la manejabilidad del concreto está el contenido de agua de mezclado, el contenido de aire, propiedades de los agregados, relación pasta/agregado y las condiciones climáticas.

Segregación: La tendencia de separación de los materiales que constituyen el concreto puede presentarse por una mezcla demasiado seca y por una mezcla muy húmeda.

Exudación o sangrado: El agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de una mezcla de concreto recién colocado, esto obedece a que los constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan durante el proceso de fraguado.

Contenido de aire: Se encuentra presente en cualquier tipo de hormigón, localizados en los poros no saturables de los agregados y produciendo burbujas entre los componentes del hormigón, pues es retenido durante el mezclado.

Contenido de agua: El principal factor que afecta la manejabilidad es el contenido de agua de la mezcla, el cual se expresa en kilogramo o litro. (p. 28).

En estado Endurecido

Un concreto en estado endurecido presenta las principales propiedades:

Resistencia a la compresión: La gran mayoría de estructuras de concreto son diseñadas bajo la suposición de que este resiste únicamente esfuerzos de compresión, por consiguiente, para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión es el 26 criterio de calidad y de allí que los esfuerzos de trabajo estén prescritos por los códigos en términos de porcentajes de la resistencia a la compresión.

Resistencia a la tracción: Por su naturaleza, el concreto es bastante débil a esfuerzos de tracción, esta propiedad conduce generalmente a que no se tenga en cuenta en el diseño de estructuras normales. La tracción tiene que ver con el agrietamiento del concreto, a causa de la contracción inducida por el fraguado o por los cambios de la temperatura, ya que estos factores generan esfuerzos internos de tracción.

Resistencia a la flexión: Los elementos sometidos a flexión tienen una zona sometida a compresión y otra región en que predominan los esfuerzos de tracción. Este factor es importante en estructuras de concreto simple, como las losas de pavimentos. Resistencia a cortante: La resistencia del concreto a esfuerzos cortantes es baja, sin embargo, generalmente es tenida en cuenta por los códigos de diseño estructural. Este tipo de esfuerzos es importante en el diseño de vigas y zapatas, en donde se presentan en valores superiores a la resistencia del concreto.

2.3.4. American Society for Testing and Materials (ASTM)

AEC, (2019). Se fundó en 1898, ASTM International (American Society for Testing and Materials) es una de las organizaciones internacionales más grandes del mundo. En ASTM se reúnen de todos los países del mundo, para crear normas de consenso voluntarias.

Las normas de ASTM se elaboran usando un procedimiento que sigue los principios del Convenio de barreras técnicas al comercio de la Organización Mundial del Comercio. El proceso de elaboración de normas ASTM es abierto y transparente; lo que autoriza que tanto individuos como gobiernos participen directamente, y como iguales, en esta decisión global consensuada.

Las normas de ASTM International son utilizadas para proyectos de investigación por todo el mundo. Son unos de los componentes integrales de las estrategias comerciales competitivas en la actualidad.

2.3.5. American Concrete Institute (ACI)

Romero Quintero & Hernández Rico, (2015) es utilizado cuando cumple el agregado las condiciones granulométricas ASTM C33, y este consiste en hallar el volumen de agregado grueso por m^3 de concreto. que da el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto. Ya habiendo determinado el volumen de los agregados gruesos por m^3 de agregado grueso, y se obtiene dividiendo la masa unitaria compacta

(MUC) y la densidad aparente de la grava (dg). Logrando así el valor de volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto y el volumen de partículas de agregado grueso por metro cúbico, resulta el volumen total de agregado grueso que posee la mezcla para un m³ y de la ecuación de volumen de partículas de los agregados gruesos.

2.3.6. Norma E060

Carcausto Laura, (2018) Norma Peruana que tiene como especificaciones que se debe tener en consideración a la hora de elaborar estructuras de concreto armado. De acuerdo con los ensayos se deben realizar con el NTP que corresponda respecto a los agregados, solo pueden ser utilizados los que cumplan con el NTP donde el tamaño máximo nominal TMN no debe ser mayor por lo que con la granulometría deberá lograr tener mayor densidad y una adecuada trabajabilidad. Indica que para exposición a ciclos de Congelamiento se tienen concretos de peso normal y tienen que contar con aditivos incorporadores de aire en estas condiciones deben cumplir con la relación máxima a/c.

2.4. Definición de términos básicos

Agregado Fino: “Agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz 9,5 mm (3/8”)”. Ministerio de Vivienda,(2009).

Agregado Grueso: “Agregado retenido en el tamiz 4,75 mm (N.º 4), proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas”. Ministerio de Vivienda, (2009).

Cemento Portland: “Producto obtenido por la pulverización del Clinker portland con la adición eventual de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos que no excedan del 1% en peso del total siempre que la norma correspondiente establezca que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionados deberán ser pulverizados juntamente con el Clinker”. Ministerio de Vivienda, (2009).

Aditivos: Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla

inmediatamente antes o durante el mezclado. Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones: Aditivos incorporadores de aire, Aditivos reductores de agua, Plastificantes, Aditivos aceleradores, Aditivos retardadores, Aditivos de control de la hidratación, Inhibidores de corrosión, etc. Ministerio de Vivienda, (2009).

Concreto: “Es una mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento Hidráulico con agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos”. Ministerio de Vivienda, (2009).

Curado: “Proceso que consiste en controlar las condiciones ambientales (especialmente temperatura y humedad) durante el fraguado y/o endurecimiento del cemento, mortero u concreto” Ministerio de Vivienda, (2009).

Desmoldante: “Revestimiento ligero de aceite mineral o material no reactivo” Ministerio de Vivienda, (2009).

Especímenes cilíndricos: “Los especímenes para determinar la resistencia a la compresión o a la tracción por compresión diametral, deben ser cilindros vaciados y fraguados en posición vertical. Para ensayos de aceptación para la resistencia especificada a la compresión, los cilindros deben ser de 150 mm x 300 mm o 100 mm x 200 mm”. Ministerio de Vivienda, (2009).

Resistencia a la compresión (f'_c): Es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta. Ministerio de Vivienda, (2009).

Resistencia a la flexión: “Es el máximo esfuerzo que puede soportar un material bajo fuerzas aplicadas en tres puntos generando una carga de arqueamiento. Dicha resistencia se determina con los ensayos de la prueba de flexión para especímenes de sección circular o rectangular”. Ministerio de Vivienda, (2009).

Trabajabilidad: Es la facilidad del concreto para mezclarse, transportarse, colocarse y compactarse con poca pérdida de homogeneidad. La trazabilidad se categoriza en función del asentamiento del cono de Abrams o de la medición de la dispersión diametral en la mesa de flujo. Ministerio de Vivienda, (2009).

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1 Hipótesis General

La adición de polvo de grafito contribuye en las propiedades mecánicas del hormigón para pavimentos rígidos.

3.1.2 Hipótesis Específicas

- a. Al determinar los porcentajes del polvo de grafito se incrementa la resistencia a la compresión del hormigón para pavimentos rígidos.
- b. Al determinar los porcentajes de polvo de grafito mejora el asentamiento del hormigón para pavimentos rígidos.
- c. Al determinar los porcentajes de polvo de grafito se incrementa la resistencia a la flexión del hormigón para pavimentos rígidos.
- d. Al determinar los porcentajes de polvo de grafito mejora la resistividad eléctrica del hormigón para pavimentos rígidos.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Definición conceptual y operacional

a. Definición conceptual

Propiedades mecánicas del hormigón:

Trabajabilidad: Es aquella propiedad del mortero o del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado

No existe prueba alguna hasta el momento que permita cuantificar esta propiedad generalmente se le aprecia en los ensayos de consistencia. Camac Ramos, (2018).

Resistencia a la compresión: es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).

El ensayo universalmente conocido para determinar la resistencia a la compresión es el ensayo sobre probetas cilíndricas elaboradas en moldes especiales que tienen 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. Las normas

NTC 550 y 673 son las que rigen los procedimientos de elaboración de los cilindros y ensayo de resistencia a la compresión respectivamente Osorio, (2022).

Resistencia a la flexión: La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. Peña Díaz & Lopez Mejia, (2019).

Resistividad del hormigón: La resistividad se determina midiendo la resistencia eléctrica y aplicando factores geométricos apropiados. Medir la resistencia es más difícil de lo que parece, principalmente porque el hormigón es un material poroso y, según el grado de saturación, sus propiedades eléctricas cambian de aislante (hormigón seco) a conductor (hormigón saturado). La otra razón que contribuye a la complejidad de las mediciones son las propiedades de capacitancia del hormigón cuando está húmedo cotecno, (2022).

Polvos de grafito: El grafito es un elemento natural que se encuentran en el medio ambiente, se puede obtener de manera artificial a partir del carbono puro.

El polvo de grafito posee propiedades como: absorción de agua, densidad aparente, resistencia a la flexión y a la compresión.

b. Definición operacional

Para la medición de nuestras variables usaremos la NTP de concreto 399.600 que se aplicará a los conocimientos recolectados de las diversas fuentes de investigación.

Se procederá a comparar y analizar las diversas fuentes de investigación para determinar la dosificación adecuada para un hormigón con adición de polvo de grafito para pavimentos rígidos.

3.2.2. Operacionalización de variables

Tabla 3
Operacionalización de Variables

Variables	Indicadores	Índices	Instrumentos
Variable dependiente: Propiedades físico-mecánicas del hormigón	Resistencia a la compresión del hormigón	Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión en los diferentes artículos encontrados	Tesis, fuentes documentales, libros, fichas técnicas e internet
	Asentamiento del hormigón	Resultado de la medición del asiento o descenso de la mezcla luego del desmoldado en los ensayos de los artículos encontrados	Tesis, fuentes documentales, libros, fichas técnicas e internet
	Resistencia a la flexión del hormigón	Resultado del ensayo de resistencia a la flexión en los diferentes artículos encontrados	
	Resistividad del hormigón	Resultados de los valores de Resistividad del hormigón	
Variable Independiente: Polvos de grafito	Porcentajes de polvos de grafito	Determinar el óptimo porcentaje de polvo de grafito	
	Relación agua/cemento	Determinar el diseño de mezcla de concreto, para obtener un metro cubico de concreto y los volúmenes correspondientes para los ensayos necesarios	Tesis, fuentes documentales, libros, fichas técnicas e internet

Fuente. Elaboración Propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación fue de carácter documental, bibliográfica y descriptiva debido a que el marco teórico de nuestra investigación estuvo basado en la recolección de investigaciones anteriores para así finalmente obtener una cantidad de información que describió el comportamiento del concreto adicionado con polvo de grafito.

4.1. Método de la investigación

La metodología de la investigación fue de tipo cuantitativa ya que nuestras variables fueron medibles, estas mediciones fueron analizadas y se extraerán una serie de conclusiones.

4.2. Tipo de la investigación

El tipo de investigación fue descriptivo porque especifica las propiedades mecánicas del hormigón al incorporarse distintos agregados reutilizados, además de esto se cuenta con un tipo de estudio correlacional ya que se busca una relación entre la cantidad de adición con las propiedades mecánicas del concreto.

4.3. Nivel de la investigación

Esta tesis fue de un nivel descriptivo ya que realizaremos un análisis estadístico de los ensayos realizados en investigaciones anteriores las cuales se evaluarán de acuerdo a nuestras variables para finalmente llegar a una conclusión de los resultados obtenidos.

4.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue de tipo descriptivo, transversal y retrospectivo debido principalmente al aislamiento social actual en el que vivimos. Se tiene como propósito describir nuestras variables y analizarlas en un intervalo de tiempo, se trabajó con artículos e investigaciones recientes.

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

Investigaciones recopiladas en los últimos 5 años.

4.5.2. Muestra

Resultados de ensayos de compresión, resistencia a la flexión, asentamiento y resistividad eléctrica realizados en los especímenes de muestra de los artículos y tesis utilizadas en esta investigación:

Tabla 4
Muestra de la investigación

Autores	Resistencia a la compresión	Asentamiento	Resistencia a la flexión	Resistividad eléctrica
Alvarado y Roque	1	1	1	-
Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh	1	1	-	1
Amr S., y otros	1	1	-	1
Khaleel, Al Wahaibi, Abed, Dawood, & Fayyadh	1	-	1	-
Hongbo Liu, Kun Liu, Zhu Lan, & Dashuang Zhang	1	-	-	1

Fuente. Elaboración propia

4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

4.6.1. Instrumentos de la investigación

Los principales instrumentos para esta investigación son:

- (SCIELO) (Biblioteca Científica Electrónica en línea) modelo para la publicación electrónica cooperativa de revistas científicas en Internet.
- (DIALNET, n.d.) es una de las mayores bases de datos de contenidos científicos en lenguas iberoamericanas y cuenta con diversos recursos documentales.
- (WORLDWIDESCIENCE, n.d.) es una puerta a la ciencia global compuesta de bases de datos y portales científicos nacionales e internacionales.

- (scholar, n.d.) proporciona una forma sencilla de buscar bibliografía académica. Puedes buscar a través de muchas disciplinas y fuentes: artículos, tesis, libros, resúmenes y opiniones.
- (ACADEMIA.EDU, n.d.) es una plataforma para que los académicos puedan compartir sus trabajos de investigación. La misión de la compañía es acelerar la investigación del mundo.
- (PROQUEST, n.d.) es una compañía que publica en formatos electrónicos y microfilm y suministra servicios de información para universidades, escuelas, empresas públicas, corporaciones y bibliotecas públicas en todo el mundo, fundamentalmente bases de datos bibliográficas.
- (SCOPUS, n.d.)s es una base de datos bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas.

4.6.2. Métodos y técnicas

La técnica para la recolección de datos fue de análisis documental, utilizando como instrumentos para esta recolección: las fuentes documentales, libros y/o manuales especializados, artículos científicos, revistas científicas y tesis.

La representación de información será en forma de gráficos, figuras, cuadros o resúmenes.

4.7. Descripción de procedimientos de análisis

4.7.1. Exploración de datos

En esta etapa se inicia el análisis. Esta fase analítica se compone:

- formulamos la pregunta de investigación que se pretende contestar: ¿Cómo optimiza el polvo de grafito en las propiedades mecánicas del hormigón?

- se visualizó el alcance descriptivo y correlacional

- definimos las variables:

V. I.: Polvos de grafito y como V. D.: Propiedades físico- mecánicas del hormigón.

- después de esto se realiza la recolección de datos mediante los buscadores mencionados anteriormente.

4.7.2. Evaluación de confiabilidad y validez del material

Para la evaluación de la confiabilidad de los datos recolectados se consideraron solamente las tesis y artículos científicos de una antigüedad máxima de 5 años.

4.7.3. Preparación de los resultados para presentarlos

Después de la recolección de datos realizadas y la verificación de validez en su momento, se procedió a sustraer lo de mayor relevancia para nuestra investigación y se pasó a resumir estos documentos, además de adjuntar las tablas y gráficos que guardaban relación con nuestro problema general.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Resultados de la Investigación

Desde el desarrollo del concreto, se ha buscado como mejorar sus propiedades, una de las más importantes es la resistencia a la compresión, ya que esto beneficia a las grandes estructuras debido a que de ello dependerá que se cumpla con los criterios establecidos y las cargas que puedan soportar.

El desarrollo de materiales representó un verdadero avance en la tecnología del concreto, y entre ellos, los derivados del grafito surgieron como los componentes con mayores cualidades. Sin embargo, aunque numerosos investigadores ya han revelado la influencia beneficiosa de este y sus derivados en las propiedades mecánicas y físicas del hormigón, los estudios similares sobre las propiedades mencionadas siguen siendo limitados. A continuación, se presentan los resultados de la revisión de la literatura reciente en relación a esta importante área de estudio.

Determinar los porcentajes de polvo de grafito para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón.

Artículo 1: Determinación de la variación de resistencia a la compresión al sustituir 5% y 10% de cemento de polvo de grafito en un concreto $f'_c=200$. Perez De la Cruz , Sanchez Cruz , & Torres Arrevillaga , (2021)

- Contenido de la mezcla: la mezcla de concreto se preparó de manera usual con arena, cemento y agua. La relación agua-cemento fue de 0,5.
- Método de ensayo: La medida de la resistencia a la compresión (f'_c) se realizó en probetas de cemento a los 1, 7 y 28 días.
- Resultados:

Tabla 5
Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días

Resistencia a la compresión del concreto (kg/ cm ²)			
% de grafito	E1	E2	E3
0	124	115	124
5	119	114	102
10	117	115	121

Fuente. Perez ,J; Sanchez ,L & Torres,M (2021)

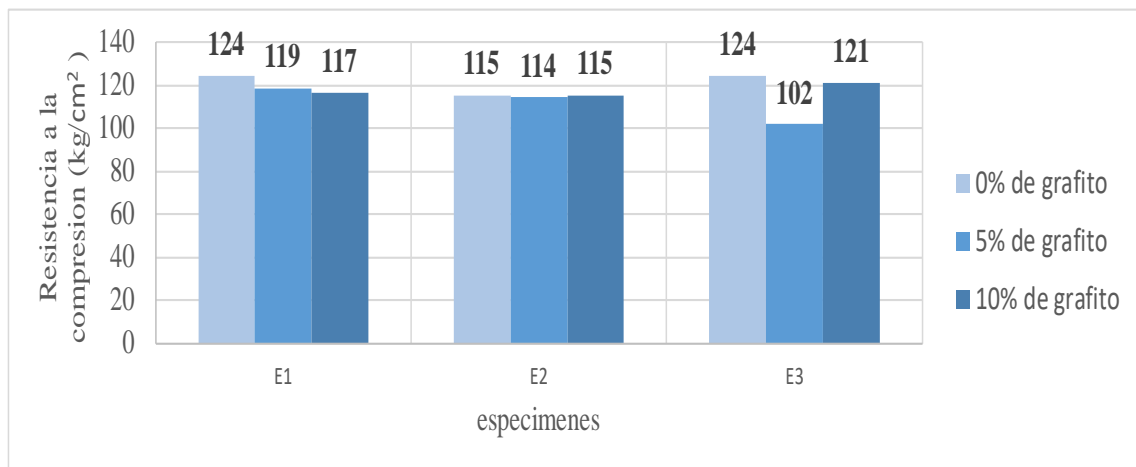


Figura 3. Variación de la Resistencia a la compresión

Fuente. Perez, J.; Sanchez ,L. & Torres, M. (2021)

Artículo 2: Uso de polvo de grafito como aditivo en el concreto $f'c$ 210 kg/ cm² a fin de mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Alvarado & Roque, (2020)

- Contenido de la mezcla: la mezcla de concreto se preparó de manera usual con arena, cemento y agua. La relación agua-cemento fue de 0,57.
- Método de ensayo: La medida de la resistencia a la compresión ($f'c$) se realizó en probetas a los 7,14 y 28 días.
- Resultados:

Tabla 6
Resultados resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión del concreto (kg/ cm ²)			
% de grafito	7	14	28
0.0	201	257	290
2.0	203	261	293
2.5	205	266	298
3.0	211	274	302

Fuente. Alvarado,J & Roque,B, (2020)

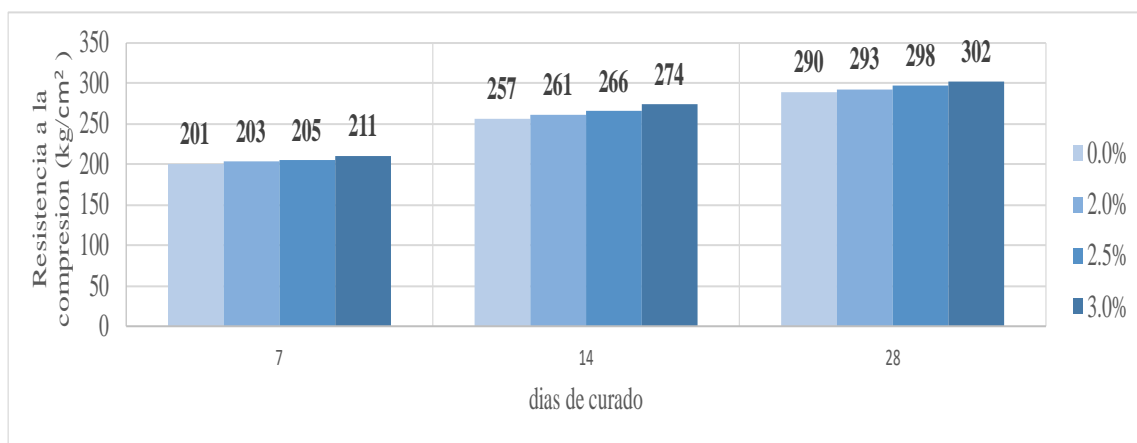


Figura 4. Resumen de resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días

Fuente. Alvarado,J & Roque,B, (2020)

Artículo 10: Efecto de la corrosión del concreto reforzado con adición de polvo de grafito y su evaluación en sus propiedades fisicoelectroquímicas. Uruchurtu Cahavarín, Flores Nicolás, & Flores Nicolás, (2021)

- Contenido de la mezcla: La mezcla de concreto se preparó de manera usual con arena, cemento y agua. Se utilizó diferente relación a/c: 0.59,0.61,0.69,0.81.
- Método de ensayo: La medida de la resistencia a la compresión (f'_c) se realizó en probetas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura de acuerdo a la norma ASTM C-39 para el ensayo a compresión, se tomó resultados a los 7,14 y 28 días.
- Resultados:

Tabla 7
Proporción del diseño de mezcla para 1m³

Material	M1-0%	M2-2.5%	M3-7.5%	M4-15%
Cemento (kg)	366	357	339	311
Agua (l)	218	218	235	251
a/c	0.59	0.61	0.69	0.81
Arena (kg)	817	817	817	817
Grava (kg)	903	903	903	903
GP (kg)	0	9	27	55

Fuente. Uruchurtu, J; Flores, A & Flores, M, (2021)

Tabla 8
Valores de resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión del concreto (kg/ cm ²)			
Muestras	7	14	28
M1-0	182	236	258
M2-2.5	242	267	272
M3-7.5	200	242	267
M4-15	189	222	244

Fuente. Uruchurtu, J; Flores, A & Flores, M, (2021)

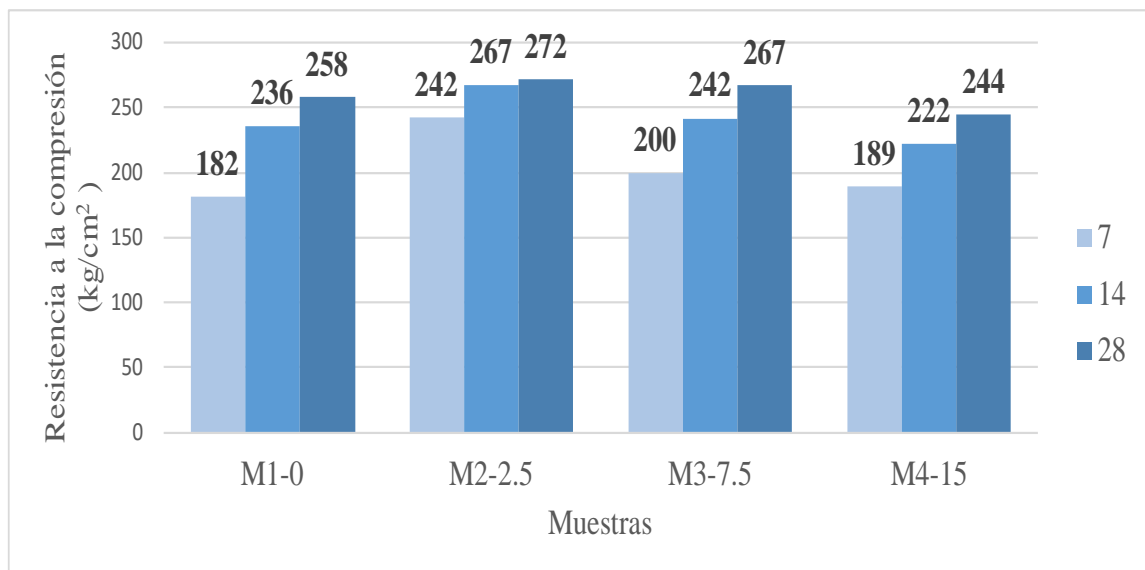


Figura 5. Resultados Resistencia a la compresión

Fuente. Uruchurtu, J; Flores, A & Flores, M, (2021)

Artículo 15: Estudio de propiedades mecánicas y térmicas del concreto de cemento modificado con grafito Shaopeng, Peng, Bo, Ling, & Fei, (2014).

- Contenido de la mezcla: Se utilizó cemento Portland fabricado por Huaxin Cement Co., Ltd. en la ciudad de Huangshi. También se utilizaron agregados producidos en la planta Huasheng Gravel, Hubei. El polvo de grafito utilizado en este estudio fue proporcionado por Xingtai Mining Co., Ltd. en la provincia de Hebei. Las nuevas mezclas de hormigón se prepararon con una relación agua-cemento de 0,53 y el contenido de cemento se mantuvo constante en 393 kg/cm³. Las proporciones de las mezclas de concreto se diseñaron con base en el método de volumen absoluto. Se reemplazó el polvo de grafito por el agregado fino en 5%, 10% y 15%.
- Método de ensayo: La medida de la resistencia a la compresión ($f'c$) se realizó en muestras cúbicas de dimensión 100x100x100 mm a los 3, 7 y 28 días, a una temperatura de 22±1°C y una humedad relativa de 60%.
- Resultados:

Tabla 9
Resultados de resistencia a la compresión.

% polvo de grafito	Resistencia a la compresión (Mpa)			Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días
Patrón	23	35	40	235	357	408
5	10	14.9	17	102	152	173
10	5.2	7	10.1	53	71	103
15	3	3.5	4.5	31	36	46

Fuente. Shaopeng, Peng, Bo, Ling, & Fei, (2014)

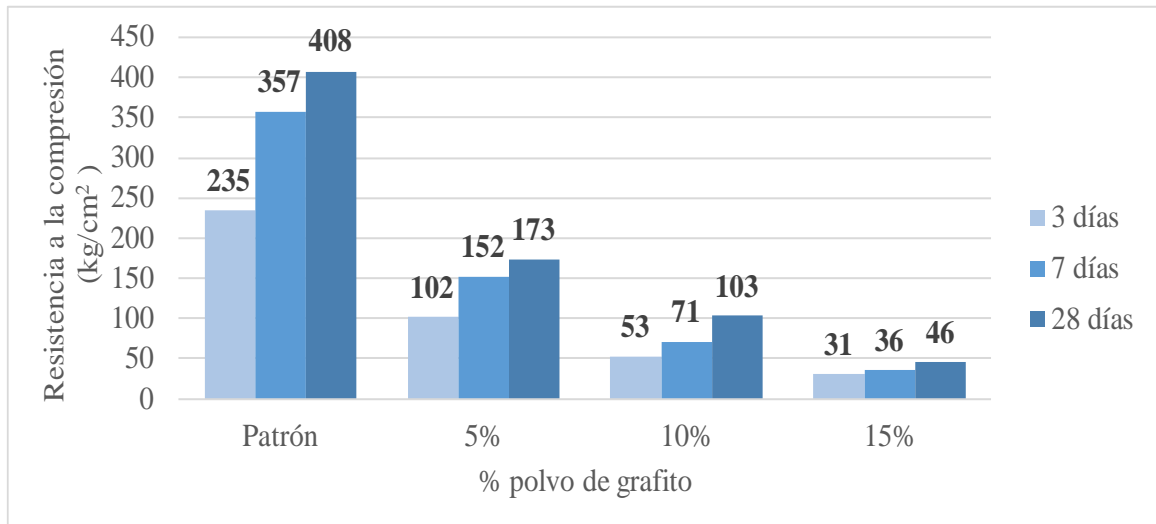


Figura 6. Resultados de Resistencia a la compresión

Fuente. Shaopeng, Peng, Bo, Ling, & Fei, (2014)

En la Figura 6 podemos observar los valores de resistencia a la compresión ($f'c$) ensayados a los 3, 7 y 28 días de curado, con porcentajes de adición de polvo de grafito de 5%, 10%, 15% y un concreto patrón (0% de adición de polvo de grafito).

Artículo 16: Uso de polvo de grafito para mejorar la conductividad, la resistencia a la compresión y la trabajabilidad del concreto. Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020).

- Contenido de la mezcla: El grafito usado en este artículo fue de un tamaño menor a 20 μm , sintético. El cemento utilizado fue Portland y los agregados Quikrete. Para la mezcla de control se utilizó un diseño de mezcla de concreto estándar recomendado por la Portland Cement Association (PCA). Se agregó grafito a la mezcla de concreto como material cementante complementario, en porcentajes de 0.5%, 1% y 2.5% del peso total del cemento.
- Método de ensayo: La medida de la resistencia a la compresión ($f'c$) se realizó en muestras cilíndricas de 100 mm de diámetro y 200 mm de largo siguiendo la norma ASTM (C31/C31M 2015; C172/C172M 2015). Se produjeron cuatro cilindros para cada diseño de mezcla. Los ensayos fueron realizados a los 7 y 28 días de curado del concreto.
- Resultados:

Tabla 10
Resultados de resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión				
% polvo de grafito	7 días (PSI)	28 días (PSI)	7 días (kg/cm ²)	28 días (kg/cm ²)
Control	5355	7274	376	511
0.50	6540	8223	460	578
1.00	6690	8357	470	588
2.50	5832	8846	410	622

Fuente. (Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, 2020)

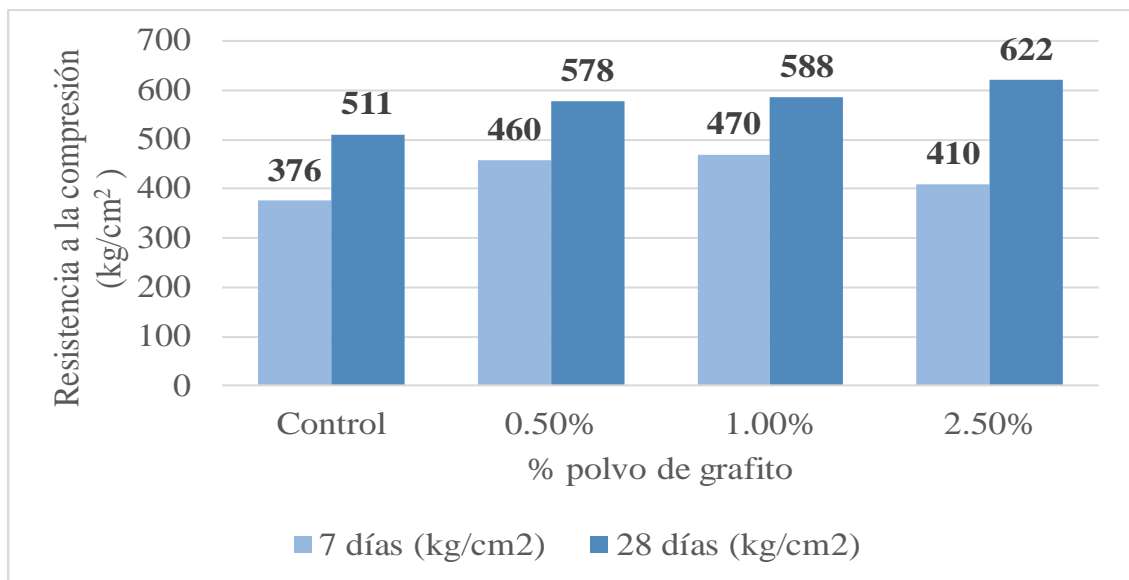


Figura 7. Resultados de Resistencia a la compresión

Fuente. Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020)

En la Figura 7 podemos observar los valores de resistencia a la compresión (f'_c) ensayados a los 7 y 28 días de curado, con porcentajes de adición de polvo de grafito de 0.50%, 1.00%, 2.50% y un concreto patrón (0% de adición de polvo de grafito).

Determinar los porcentajes de polvo de grafito para mejorar el asentamiento del hormigón.

Artículo 2: Uso de polvo de grafito como aditivo en el concreto $f'c$ 210 kg/ cm² a fin de mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Alvarado & Roque,(2020)

- Tipo de grafito: Polvo de grafito en porcentajes del peso del cemento. Se emplearon en porcentajes de 0%,2%,2.5% y 3 %.
- Contenido de la mezcla: Diseño de mezcla convencional: agua, cemento, agregados. Con una relación agua/cemento de 0.57
- Resultados: Se observa que a medida que se aumentó el porcentaje en la incorporación de polvo de grafito, el asentamiento (Slump) disminuyó variadamente. El rango permitido para el concreto patrón es de 6” a 8”, por lo que se encontró dentro del rango permitido.

Tabla 11
Resultados de asentamiento para diferentes porcentajes de polvo de grafito

Asentamiento	Slump (pulgadas)
Mezcla	
0.0	8
2.0	5
2.5	4.5
3.0	3.5

Fuente. Alvarado & Roque, (2020)

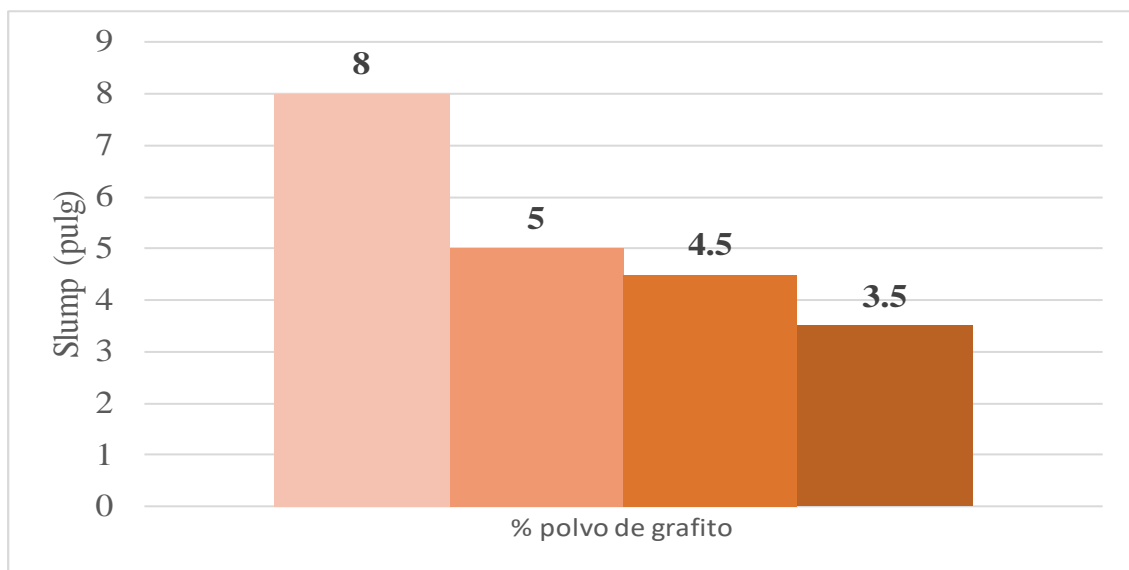


Figura 8. Resultados de asentamiento

Fuente. Alvarado & Roque, (2020)

Artículo 6: Evaluación en la corrosión y protección del acero de refuerzo embebidas de concreto en presencia de grafito y su efecto en las propiedades mecánicas-electroquímicas Flores Nicolas, (2020)

- Tipo de grafito: Polvo de grafito en porcentajes del peso del cemento. Se emplearon en porcentajes de 0%,2.5% ,7.5% y15 %
- Contenido de la mezcla: Diseño de mezcla convencional: agua, cemento, agregados. Con diferente relación agua/cemento
- Resultados:

Tabla 12
Resultados de asentamiento

% de grafito	Asentamiento	
	Slump (cm)	Slump (pulgadas)
0	14	5.5
2.50	12	4.7
7.50	12	4.7
15	12	4.7

Fuente. Flores Nicolas, (2020)

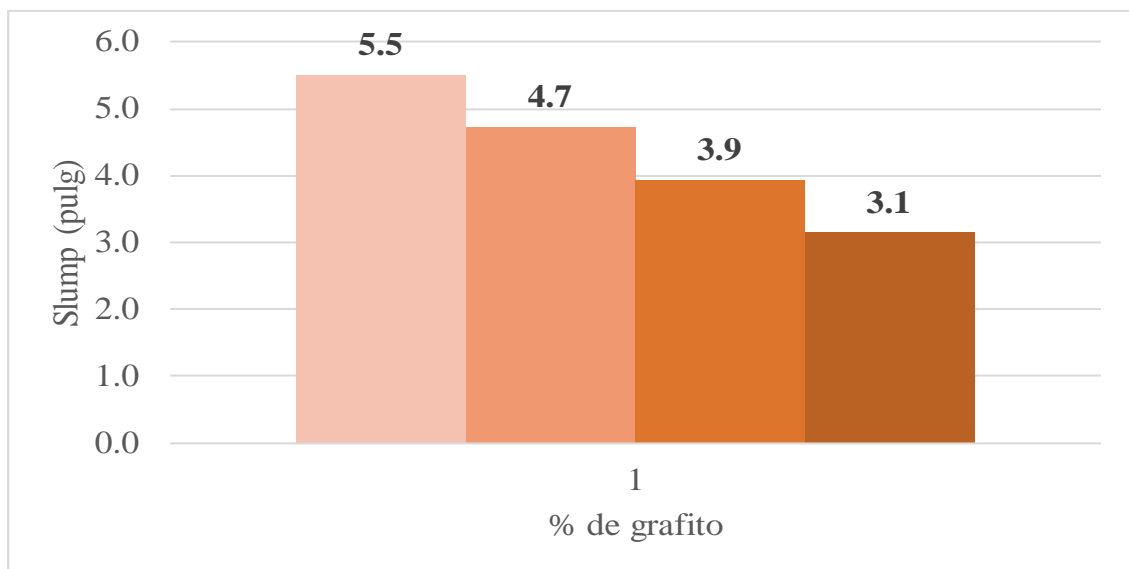


Figura 9. Resultados de asentamiento

Fuente. Flores Nicolas, (2020)

Artículo 12: Hormigón eléctricamente conductivo multifuncional utilizando diferentes rellenos . Amr S., et al., (2018)

- Tipo de grafito: Polvo de grafito en porcentajes del peso del cemento. Se emplearon en porcentajes de 0%, 1%, 3%, 5 % y 7%.
- Contenido de la mezcla: Diseño de mezcla convencional: agua, cemento, agregados con una relación a/c de 0.57.
- Resultados: Las medidas obtenidas de slump son: Patrón=3.5"; 1%=3.5"; 3%=3.1"; 5%=2.8" y 7%= 2.4". Se observan reducciones significativas en el slump, se concluyó que para esta mezcla se debe hacer uso de aditivos de trabajabilidad.

Tabla 13
Resultados de asentamiento

Muestras	Slump	
	mm	pulgadas
0	90	3.5
1	90	3.5
3	80	3.1
5	70	2.8
7	60	2.4

Fuente. Amr S., et al., (2018)

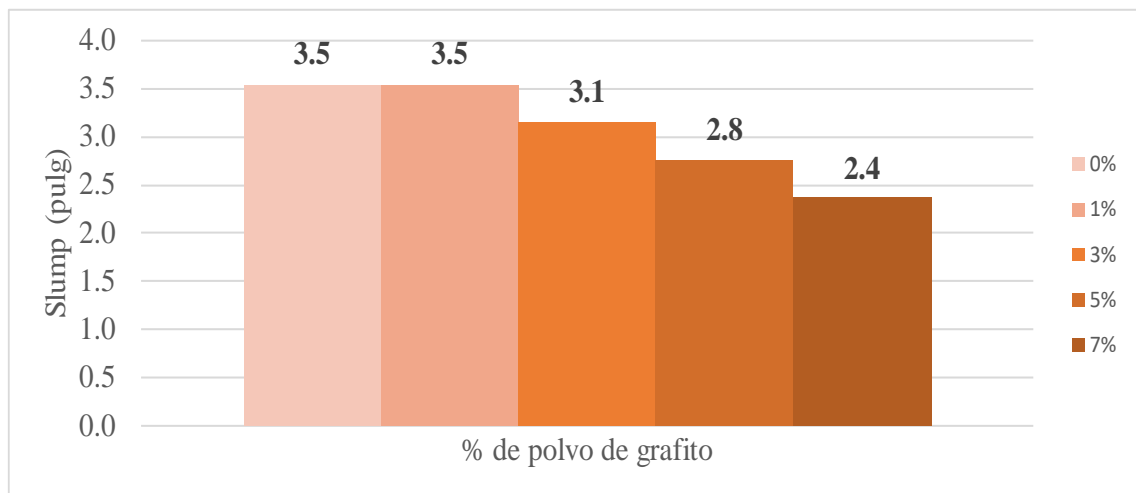


Figura 10. Resultados de asentamiento

Fuente. Amr S., et al., (2018)

Artículo 16: Uso de polvo de grafito para mejorar la conductividad, la resistencia a la compresión y la trabajabilidad del concreto . Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020)

- Tipo de grafito: Polvo de grafito en porcentajes del peso del cemento. Se emplearon en porcentajes de 0%,0.5% ,1% y2.5 %
- Contenido de la mezcla: Diseño de mezcla convencional: agua, cemento, agregados. Con diferente relación agua/cemento.
- Resultados: La trabajabilidad del diseño de la mezcla disminuye drásticamente con la introducción del grafito, con grandes cambios (de 7,5” a 1,5”) cuando solo se introduce 0,5% de grafito en la mezcla. Por lo tanto, es posible que se requieran aditivos como superplastificantes en diseños de mezcla de grafito para producir una mezcla viable.

Tabla 14
Resultados de asentamiento

Asentamiento del concreto (pulg)		
% polvo de grafito	pulgadas	centímetros
Control	7.5	19
0.50	1.5	4
1.00	1.5	4
2.50	1.25	3

Fuente. Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020)

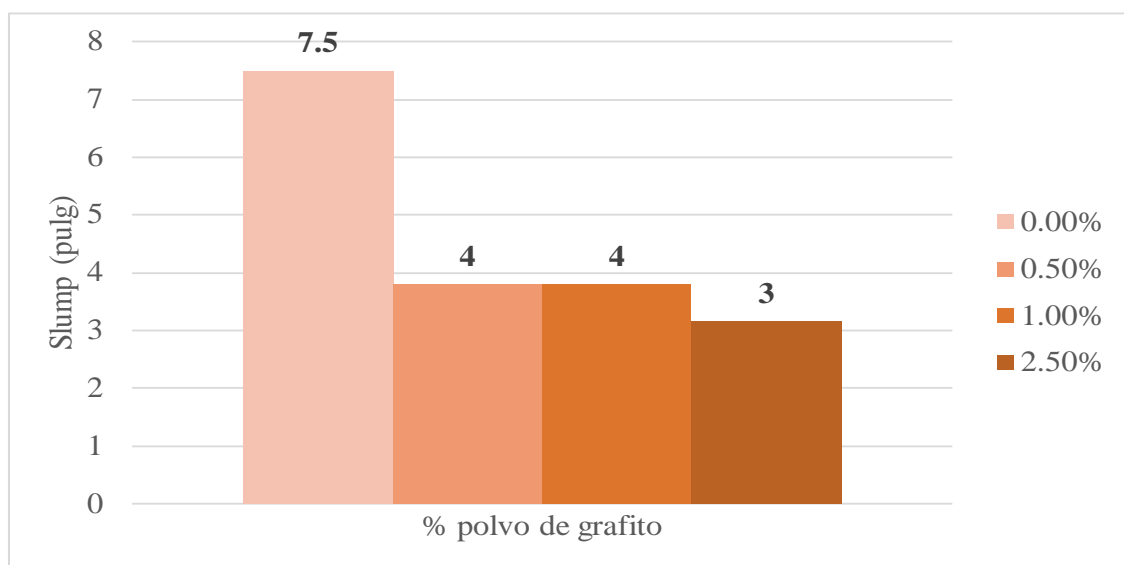


Figura 11. Resultados de asentamiento

Fuente. Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020)

Determinar los porcentajes de polvo de grafito para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón.

Artículo 2: Uso de polvo de grafito como aditivo en el concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ a fin de mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Alvarado & Roque, (2020).

- Tipo de grafito: Polvo de grafito en porcentajes del peso del cemento. Se emplearon en porcentajes de 2%, 2.5% y 3%.
- Contenido de la mezcla: Diseño de mezcla convencional: agua, cemento, agregados.
- Resultados:

Tabla 15
Resultados de resistencia a la flexión del hormigón

% de grafito	28 días (kg/cm^2)
0.0	43
2.0	44
2.5	46
3.0	51

Fuente. Alvarado & Roque, (2020)

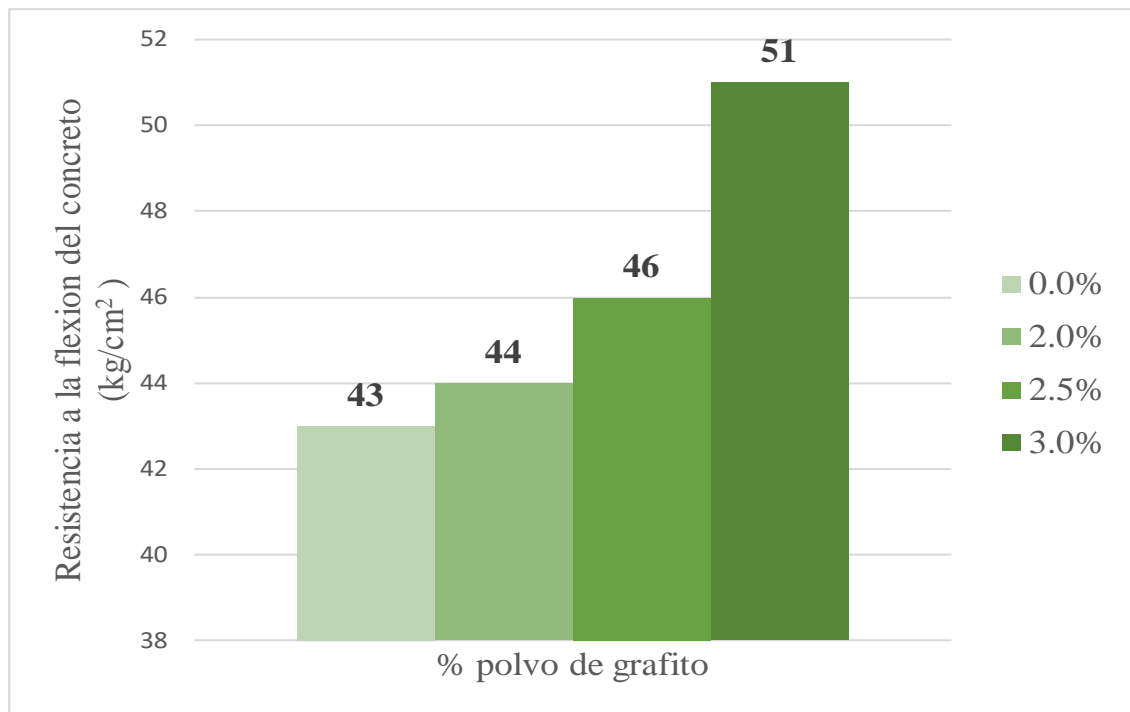


Figura 12. Resultados de resistencia a la flexión del hormigón

Fuente. Alvarado & Roque, (2020)

Artículo 20: Electrically conductive concrete. Aboutaleb, et al., 2018).

- Tipo de grafito: Polvo de grafito en porcentajes del peso del cemento. Se emplearon en porcentajes de 2.5%, 5% y 15%.
- Contenido de la mezcla: Diseño de mezcla convencional: agua, cemento, agregados.
- Método de ensayo: Se probaron vigas de 750x150x150 mm para encontrar la resistencia a la flexión después de 28 días. Para cada mezcla, dos haces fueron probados bajo carga de punto central.
- Resultados:

Tabla 16
Resultados de resistencia a la flexión del hormigón

% polvo de grafito	28 días (MPa)	28 días (kg/cm ²)
0	8.8	90
2.5	7.4	75
5	6.0	61
15	3.0	31

Fuente. Aboutaleb, et al., (2018)

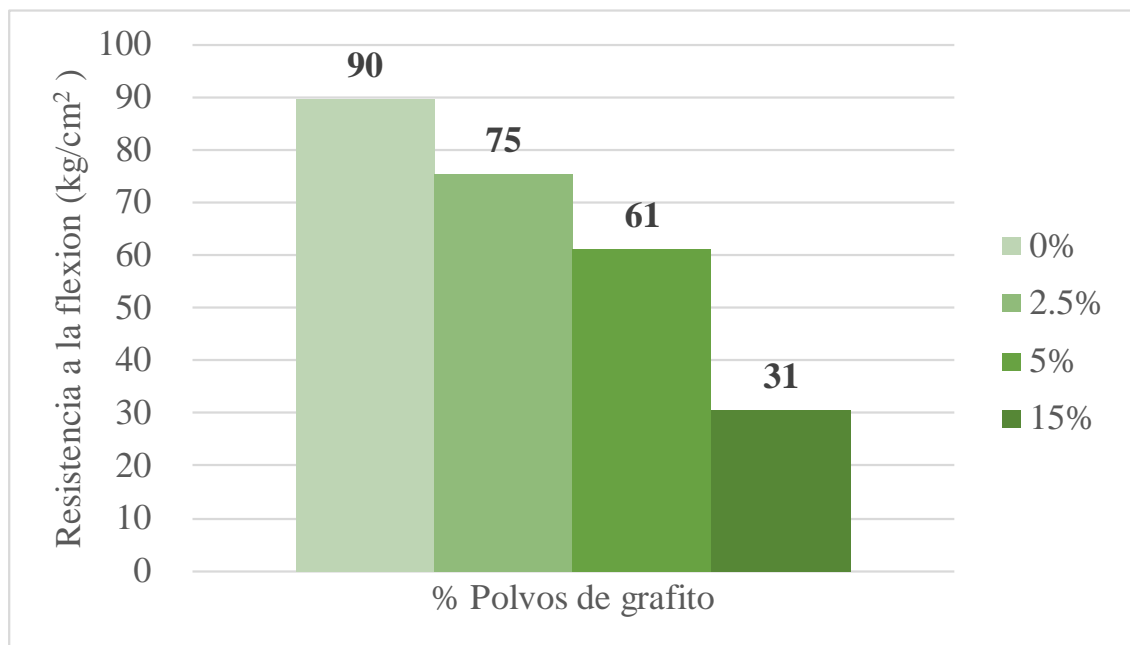


Figura 13. Resultados de resistencia a la flexión del hormigón

Fuente. Aboutaleb, et al., (2018)

Artículo 21: Performance of carbon fibre concrete subjected to fire . Khaleel, Al Wahaibi, Abed, Dawood, & Fayyadh, (2021).

- Tipo de grafito: Polvo de grafito en porcentajes del peso del cemento. Se emplearon en porcentajes de 5%, 10% y 15%.
- Contenido de la mezcla: Diseño de mezcla con contenido de fibra de carbono en porcentajes de 0.15%, 0.30% y 0.45% del volumen total y su densidad fue de 1760 kg/cm².
- Resultados:

Tabla 17
Resultados de resistencia a la flexión del hormigón

% polvo de grafito	28 días (MPa)	28 días (kg/cm ²)
0	11.4	116
1.0	12.3	125
2	12.2	124

Fuente. Khaleel, Al Wahaibi, Abed, Dawood, & Fayyadh, (2021)

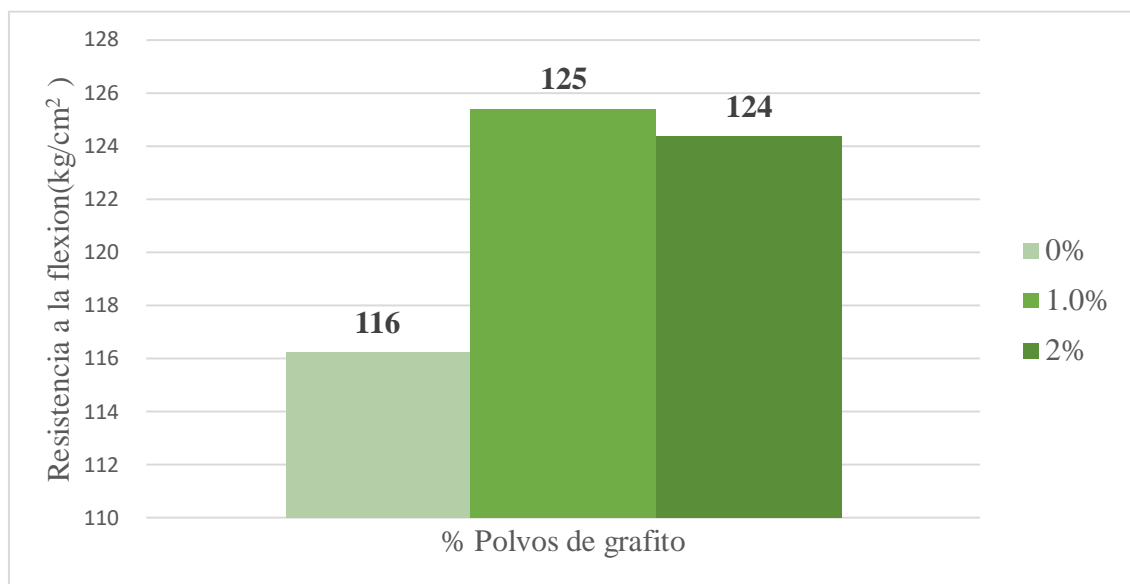


Figura 14. Resultados de resistencia a la flexión del hormigón

Fuente. Khaleel, Al Wahaibi, Abed, Dawood, & Fayyadh, (2021)

Determinar los porcentajes de polvo de grafito para mejorar la resistividad eléctrica del hormigón.

Artículo 13: Características mecánicas y eléctricas del concreto con relaves de grafito .
Hongbo Liu, Kun Liu, Zhu Lan, & Dashuang Zhang , (2018).

- Tipo de grafito: Grafito en porcentajes del peso total de la mezcla del concreto. Se emplearon en porcentajes de 5%, 10% y 15%.
- Contenido de la mezcla: Diseño de mezcla con contenido de fibra de carbono en porcentajes de 0.15%, 0.30% y 0.45% del volumen total y su densidad fue de 1760 kg/cm².
- Resultados:

Tabla 18
Resultados de resistividad eléctrica

% de grafito	Resistividad
0	636.80
5	478.00
10	372.40
15	322.80

Fuente. Hongbo Liu, Kun Liu, Zhu Lan, & Dashuang Zhang , (2018)

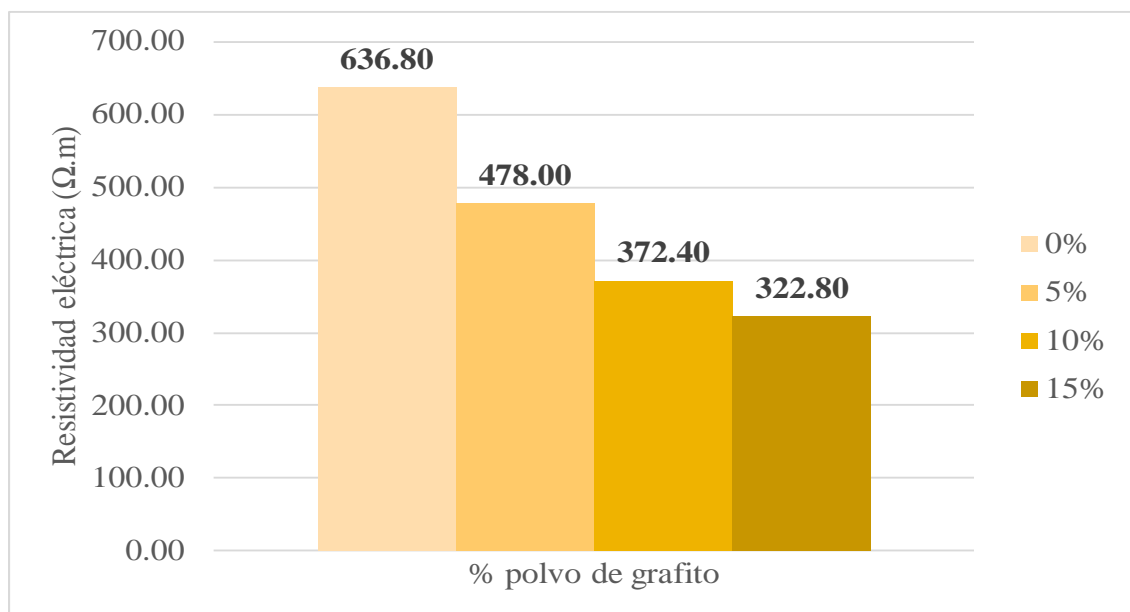


Figura 15. Resultados de resistividad eléctrica

Fuente. Hongbo Liu, Kun Liu, Zhu Lan, & Dashuang Zhang ,(2018)

Artículo 14: Mejora de las propiedades eléctricas y mecánicas del concreto asfáltico modificado con polvo de grafito .Zadri, Glaoui, & Abdelkhalek, (2022).

- Tipo de grafito: Polvo de grafito en porcentajes del peso del cemento. Se emplearon en porcentajes del 5%, 12%, 17%, 20%, 23% y 26%.
- Contenido de la mezcla: Diseño de mezcla convencional: agua, cemento, agregados.
- Resultados:

Tabla 19
Resultados de resistividad eléctrica

% Polvo de grafito	Resistividad Eléctrica ($\Omega.m$)
0	11.40
5	11.20
12	10.90
17	10.90
20	10.80
23	9.70
26	7.30

Fuente. Zadri, Glaoui, & Abdelkhalek, (2022).

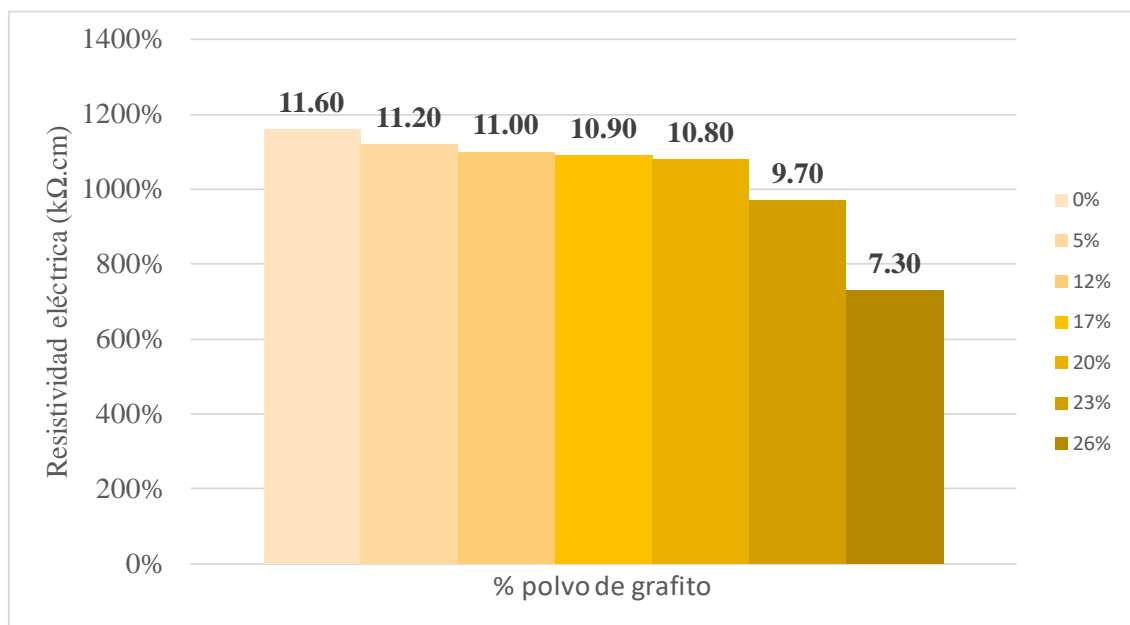


Figura 16. Resultados de resistividad eléctrica

Fuente. Zadri, Glaoui, & Abdelkhalek, (2022)

Artículo 12: Hormigón eléctricamente conductivo multifuncional utilizando diferentes rellenos . Amr S., et al., (2018).

- Tipo de grafito: Polvo de grafito en porcentajes del peso del cemento. Se emplearon en porcentajes de 0%, 1%, 3%, 5 % y 7%.
- Contenido de la mezcla: Diseño de mezcla convencional: agua, cemento, agregados con una relación a/c de 0.57.
- Resultados:

Tabla 20
Resultados de resistividad eléctrica

% Polvo de grafito	Conductividad eléctrica ($1/\Omega.cm$)	Resistividad ($\Omega.m$)
0	0.8	12.50
1	0.95	10.53
3	1.10	9.09
5	1.30	7.69
7	2.00	5.00

Fuente. Amr S., et al., (2018)

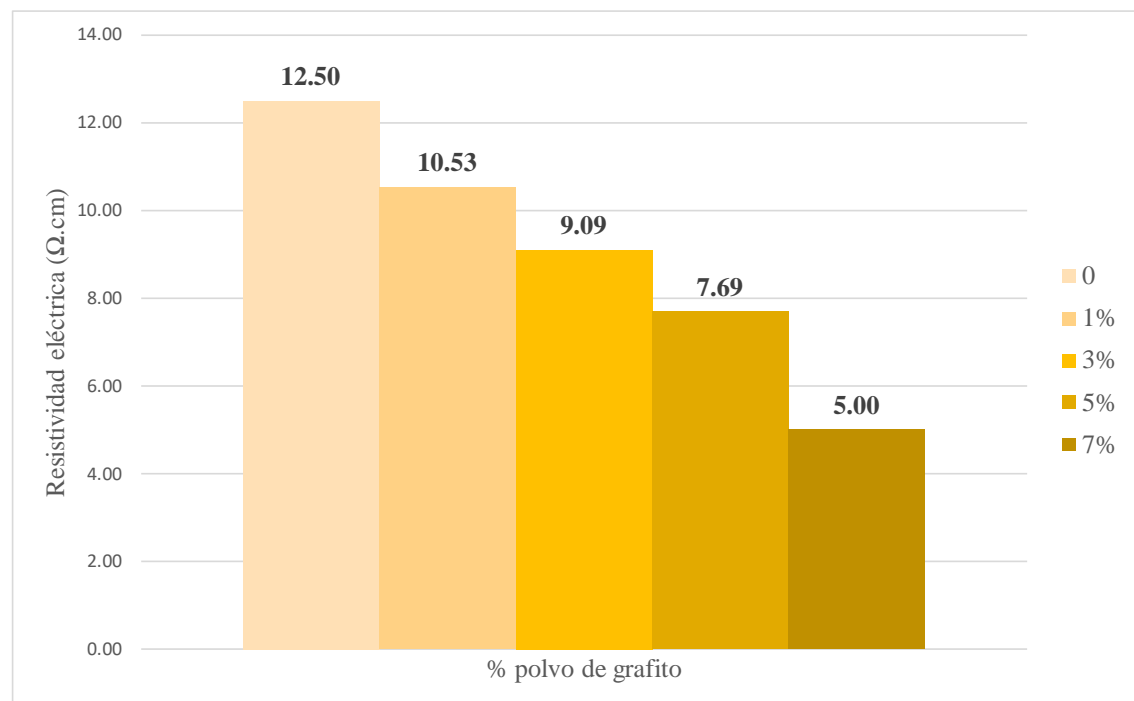


Figura 17. Resultados de Resistividad eléctrica

Fuente. Amr S., et al., (2018)

Artículo 16: Uso de polvo de grafito para mejorar la conductividad, la resistencia a la compresión y la trabajabilidad del concreto .Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020)

- Tipo de grafito: Polvo de grafito en porcentajes del peso del cemento. Se emplearon en porcentajes de 0%,0.5% ,1% y2.5 %
- Contenido de la mezcla: Diseño de mezcla convencional: agua, cemento, agregados. Con diferente relación agua/cemento.
- Resultados:

Tabla 21
Resultados de resistividad eléctrica

% Polvo de grafito	Conductividad eléctrica ($1/\Omega.cm$) x10-3	Resistividad
0	0.003	3333.33
0.5	0.0035	2857.14
1	0.006	1666.67
2.5	0.008	1250.00

Fuente. Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020)

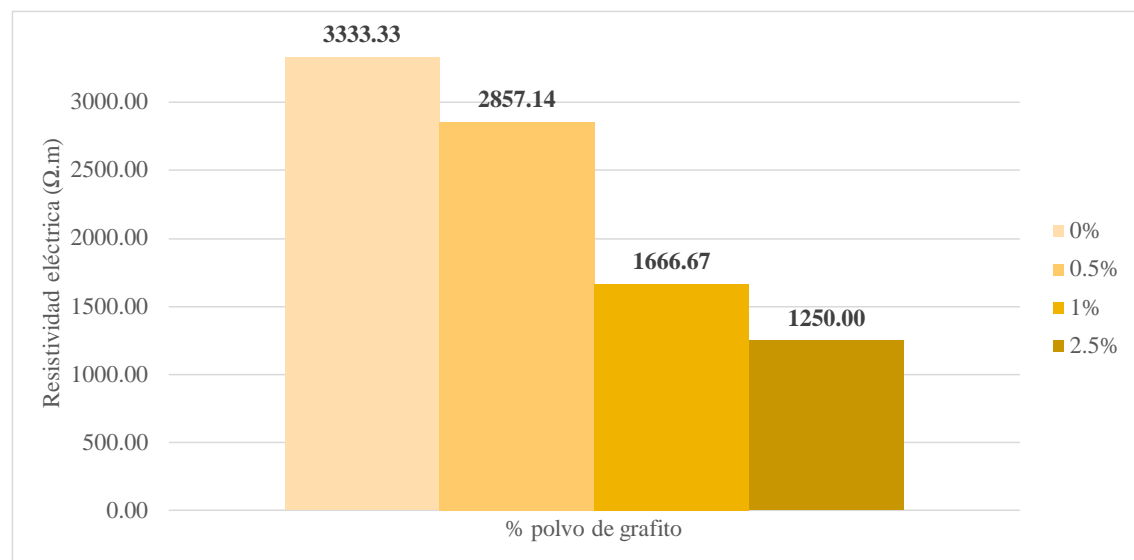


Figura 18. Resultados de Resistividad eléctrica

Fuente. Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh,(2020)

Artículo 20: Electrically conductive concrete.Aboutaleb, et al., (2018).

- Tipo de grafito: Polvo de grafito en porcentajes del peso del cemento. Se emplearon en porcentajes de 5% y 15%
- Contenido de la mezcla: Diseño de mezcla convencional: agua, cemento, agregados. Con relación agua/cemento de 0.50.
- Resultados:

Tabla 22
Resultados de resistividad eléctrica

% Polvo de grafito	Conductividad eléctrica ($1/\Omega.cm$) $\times 10^{-3}$	Resistividad eléctrica
0	0.065	153.85
5	0.113	88.50
15	0.205	48.78

Fuente. Aboutaleb, et al., (2018)

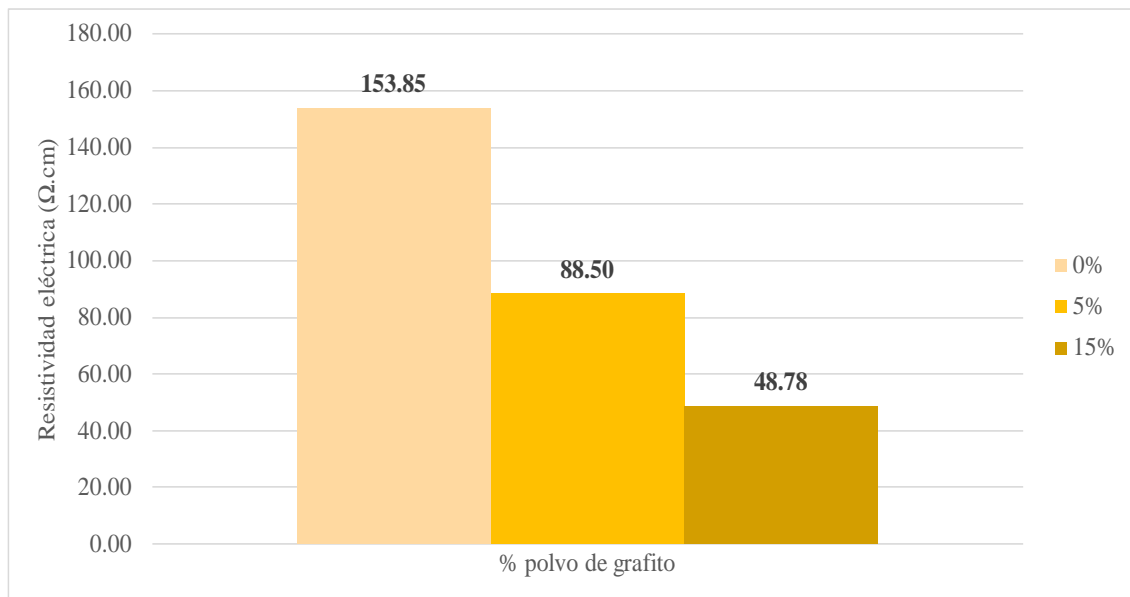


Figura 19. Resultados de resistividad eléctrica

Fuente. Aboutaleb, et al., (2018)

5.2 Análisis e Interpretación de los resultados

Determinar los porcentajes de polvo de grafito para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón.

Artículo 1: Determinación de la variación de resistencia a la compresión al sustituir 5% y 10% de cemento de polvo de grafito en un concreto $f'c=200$. Perez De la Cruz , Sanchez Cruz , & Torres Arrevillaga , (2021).

En la Tabla 5 se pudo observar los resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días de curado , donde se noto que los porcentajes utilizados en el diseño de mezcla no beneficiaron a las propiedades mecánicas , para el porcentaje de 5% de grafito se obtuvo una resistencia promedio de 111.67 kg/cm^2 , con un porcentaje de 10% de grafito se obtuvo una resistencia promedio de 117.70 kg/cm^2 , siendo la resistencia patrón de 121.47 kg/cm^2 .

Artículo 2: Uso de polvo de grafito como aditivo en el concreto $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$ a fin de mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Alvarado & Roque, (2020).

En la Figura 4 se puede observar el resumen de los resultados para resistencia a la compresión de los elementos ensayados y luego de 28 días de curado , al agregar 0 % , 2 % , 2.5 % , y 3% de polvo de grafito al concreto patrón, se evidenció que el concreto incrementó su resistencia a la compresión en un 103.55 % , 104.65 % , 106.15 % , y 107.85% respectivamente , se concluye que el porcentaje óptimo de adición de polvos de grafito fue 3% ya que cumple con los lineamientos dados.

Artículo 10: Efecto de la corrosión del concreto reforzado con adición de polvo de grafito y su evaluación en sus propiedades fisicoquímicas. Uruchurtu Cahavarin, Flores Nicolas, & Flores Nicolas, (2021).

En la Figura 5 se observa que el porcentaje óptimo de polvo de grafito fue de 2.5% obteniéndose un valor de resistencia a la compresión a los 28 días de 272 kg/cm^2 ya que al aumentar el porcentaje a 7.5% y 15% los valores de resistencia a la compresión disminuían obteniendo como resultado 267 y 244 kg/cm^2 respectivamente.

Artículo 15: Estudio de propiedades mecánicas y térmicas del concreto de cemento modificado con grafito. Shaopeng, Peng, Bo, Ling, & Fei, (2014).

En la Figura 6 se pudo observar que la resistencia a la compresión disminuye con la adición de grafito. Se notó que después de agregar 15% de polvo de grafito la resistencia a la compresión disminuyó en casi un 90%, se concluye que esto es debido a la lubricación del grafito, mientras mayor sea la concentración de grafito, el grafito se pone en contacto entre sí, lo que conduce a una reducción en gran medida de la fuerza de unión en el interior del concreto bajo fuerzas externas.

Artículo 16: Uso de polvo de grafito para mejorar la conductividad, la resistencia a la compresión y la trabajabilidad del concreto. Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh,(2020).

En la Figura 7 se pudo observar que la resistencia a la compresión aumentó en un 15% hasta llegar al 1% de polvo de grafito, sin embargo, cuando el porcentaje de polvo de grafito supera el 1% de adición (2.5% de polvo de grafito) ocurre una disminución en la resistencia a la compresión. Se sugirió que el concreto con adición del 1% (del peso del cemento) de polvo de grafito brinda la resistencia a la compresión óptima.

Tabla 23

Resumen de resultados para resistencia a la compresión con adición de polvo de grafito (kg/cm²)

% de grafito	Perez De la Cruz , Sanchez Cruz , & Torres Arrevillaga , (2021)	Alvarado & Roque, (2020),	Uruchurtu Cahavarin , Flores Nicolas, & Flores Nicolas, (2021)	Shaopeng, Peng, Bo, Ling, & Fei, (2014)	Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh,(2020)
0.0	121	290	258	408	511
0.5	-	-	-	-	578
1.0	-	-	-	-	588
2.0	-	293	-	-	-
2.5	-	298	272	-	622
3.0	-	302	-	-	-
5.0	112	-	-	173	-
7.0	-	-	-	-	-
7.5	-	-	267	-	-
10.0	118	-	-	103	-
15.0	-	-	244	46	-

Fuente. Elaboración propia

Determinar los porcentajes de polvo de grafito para mejorar el asentamiento del hormigón.

Artículo 2: Uso de polvo de grafito como aditivo en el concreto $f'c$ 210 kg/cm² a fin de mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Alvarado & Roque, (2020).

Se observa parcialmente que al utilizar 2 % de polvo de grafito, la prueba de asentamiento Slump disminuyó a 5"; mientras que con la adición de 2.5 %, la prueba de asentamiento disminuyó a 4 ½"; y, finalmente, con la adición del 3% de polvo de grafito, el asentamiento disminuyó a 3 ½", todo esto se observa en los resultados brindados en la Tabla 11 y Figura 8 , se concluye que a medida que se aumentó el porcentaje en la incorporación de polvo de grafito, el asentamiento (Slump) disminuyó variadamente. El rango permitido para el concreto patrón es de 6" a 8", por lo que se encontró dentro del rango permitido.

Artículo 6: Evaluación en la corrosión y protección del acero de refuerzo embebidas de concreto en presencia de grafito y su instituto de investigación en ciencias básicas y aplicadas aplicadas efecto en las propiedades mecánicas electroquímicas. Flores Nicolas, (2020).

El revenimiento teórico, se diseñó para 12 cm \pm 2 cm, con este parámetro y de acuerdo a la norma ASTM C 143, la mezcla tiene mejor consistencia y manejabilidad. En las mezclas con adición de grafito M2-2.5%, M3-7.5% y M4-15% se puede observar que el revenimiento fue disminuyendo al agregar más porcentaje de polvo, en comparación a la muestra control M1-0%. En la fabricación del concreto se requirió mayor cantidad de agua para mantener el rango de diseño del revenimiento. De esta forma se aseguró una mayor consistencia y manejabilidad; la adición de más cantidad de agua a la mezcla modificó la relación agua/cemento, de no realizar estos cambios, el slump hubiera disminuido considerablemente como se puede observar en la Figura 9.

Artículo 12: Hormigón eléctricamente conductivo multifuncional utilizando diferentes rellenos. Amr S., et al., (2018)

En la Tabla 13 se observa que el polvo de grafito redujo el asentamiento. Esto podría atribuirse al área de superficie muy alta de los polvos de grafito en comparación con la del agregado fino reemplazado. A medida que aumentaba el nivel de reemplazo,

aumentaba el efecto del polvo de grafito usado en el revenimiento. El polvo de grafito tuvo un ligero efecto a un nivel de reemplazo del 1 %, mientras que a niveles de reemplazo más altos se observó una reducción significativa y fue casi lineal con el aumento en el nivel de reemplazo. Por lo tanto, las mezclas con polvo de grafito necesitaron de ajustes para mantener la misma trabajabilidad. Los aditivos de trabajabilidad deben usarse para mezclas que incluyen polvo de grafito.

Artículo 16: Uso de polvo de grafito para mejorar la conductividad, la resistencia a la compresión y la trabajabilidad del concreto. Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020)

En la Figura 11 se observa que la trabajabilidad del diseño de la mezcla disminuye drásticamente con la introducción del grafito, con grandes cambios (de 7,5” a 1,5”) cuando solo se introduce 0,5% de grafito en la mezcla. Por lo tanto, es posible que se requieran aditivos como superplastificantes en diseños de mezcla de grafito para producir una mezcla viable.

Tabla 24
Resumen de resultados para asentamiento con adición de polvo de grafito (pulgadas)

% Grafito	Alvarado & Roque, (2020)	Flores Nicolas, (2020)	Amr S., et al., (2018)	Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020)
0.0	8	5.5	3.5	7.5
0.5	-	-	-	1.5
1.0	-	-	3.5	1.5
2.0	5	-	-	-
2.5	4.5	4.7	-	1.25
3.0	3.5	-	3.1	-
5.0	-	-	2.8	-
7.0	-	-	2.4	-
7.5	-	4.7	-	-
15.0	-	4.7	-	-

Fuente. Elaboración propia

Determinar los porcentajes de polvo de grafito para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón.

Artículo 2: Uso de polvo de grafito como aditivo en el concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ a fin de mejorar las propiedades mecánicas del concreto .Alvarado & Roque, (2020).

En la Figura 12 se logra observar que, a los 28 días de curado, al agregar 2 %, 2.5 %, y 3% de polvo de grafito a la mezcla de hormigón, se pudo evidenciar que el hormigón alcanzó resistencias a la flexión de 44 kg/cm^2 , 46 kg/cm^2 y 51 kg/cm^2 respectivamente, los cuales son mayores a la resistencia a la flexión del concreto patrón que fue de 43 kg/cm^2 .

Artículo 20: Electrically conductive concrete .Aboutaleb, y otros, (2018).

En la Figura 13 se puede observar que a medida que aumenta la concentración de polvo de grafito en la mezcla de hormigón, la resistencia a la flexión disminuye significativamente. La resistencia a la flexión del concreto patrón fue de 90 kg/cm^2 , mientras que al adicionar el 2.5%, 5% y 15% de polvo de grafito se obtuvieron valores de 75 kg/cm^2 , 61 kg/cm^2 y 31 kg/cm^2 respectivamente. Se llegó a la conclusión de que el alto porcentaje de absorción de agua del polvo de grafito fue la principal causa de la disminución de la resistencia a la flexión.

Artículo 21: Performance of carbon fibre concrete subjected to fire. Khaleel, Al Wahaibi, Abed, Dawood, & Fayyadh, (2021).

En la Figura 14 se logra observar que los resultados de la resistencia a la flexión fueron similares entre sí, con 1% y 2 % de fibra de carbono. Se concluye que la mejora del mecanismo de resistencia a la flexión puede deberse a que la fibra de carbono une las muestras y evita que se rompan, en la investigación se explica que bajo tensión de tracción, la fibra de carbono transfiere la tensión a sus extremos, por lo que la concentración de tensión en las zonas de grietas (en medio de la luz) es menor, lo que permite que la muestra soporte la carga aplicada. A su vez se llegó a la conclusión de que la orientación de la fibra de carbono juega un papel decisivo en la resistencia a la flexión del hormigón, especialmente cuando va en posición paralela a donde se concentran las tensiones.

Tabla 25

Resumen de resultados de resistencia a la flexión (kg/cm²)

% de grafito	Alvarado & Roque, (2020)	Aboutaleb, et al., (2018)	Khaleel, Al Wahaibi, Abed, Dawood, & Fayyadh, (2021)
0.0	43	90	116
1.0	-	-	125
2.0	44	-	124
2.5	46	-	-
3.0	51	-	-
5.0	-	61	-
15.0	-	31	-

Fuente. Elaboración propia

Determinar los porcentajes de polvo de grafito para mejorar la resistividad eléctrica del hormigón.

Artículo 13: Características mecánicas y eléctricas del concreto con relaves de grafito. Hongbo Liu, Kun Liu, Zhu Lan, & Dashuang Zhang , (2018).

En la Figura 15 se puede observar los resultados de los ensayos de resistividad y se llegó a la conclusión de que el aumento de relaves de grafito disminuyó la resistividad eléctrica de las muestras. Además se explicó que el concreto con relaves de grafito se puede utilizar para descongelar o derretir nieve.

Artículo 14: Mejora de las propiedades eléctricas y mecánicas del concreto asfáltico modificado con polvo de grafito. Zadri, Glaoui, & Abdelkhalek, (2022).

En la Tabla 19 se puede observar los resultados de los ensayos de resistividad eléctrica del hormigón , lo cual en esta investigación se pudo mostrar que al añadir porcentajes de polvo de grafito mejora la conductividad , quedando demostrado que el grafito es efectivo para esta propiedad , en la Figura 16 se puede observar que a medida que aumenta los porcentajes de grafito , los valores de resistividad disminuyen.

Artículo 12: Hormigón eléctricamente conductivo multifuncional utilizando diferentes rellenos. Amr S., et al., (2018).

Se puede observar en la Tabla 20 que el polvo de grafito mostro una mejora considerable en la conductividad eléctrica de la mezcla de concreto , la conductividad aumento tres veces su valor cuando se uso un porcentaje de 7% de polvo de grafito, en la Figura 17 se observa que por consecuencia los valores de resistividad disminuyen en esta investigación.

Artículo 16: Uso de polvo de grafito para mejorar la conductividad, la resistencia a la compresión y la trabajabilidad del concreto. Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020)

En la Tabla 21 se muestran los valores para el aumento de conductividad , en este artículo se tomó en cuenta que se podía usar la conductividad del hormigón para aumentar la temperatura de este , así se podría derretir el hielo en lugares fríos y así hacer carreteras más seguras , en la Figura 18 se puede observar debido a ello los valores de resistividad

que van en descenso ya que el hormigón es altamente conductor, se mostró también que el porcentaje óptimo de grafito era el 1% respecto a la conductividad de éste.

Artículo 20: Electrically conductive concrete.Aboutaleb, y otros,(2018).

En la Figura 19 se puede observar que los ensayos de resistividad para el hormigón con polvo de grafito arrojaron resultados de conductividad eléctrica más altos que el concreto patrón, este fenómeno es explicado como una pérdida del electrolito (agua) del hormigón y la sustitución de éste por aire.

Tabla 26
Resumen de resultados de resistividad del hormigón ($\Omega.m$)

% De grafito	Hongbo Liu, Kun Liu, Zhu Lan, & Dashuang Zhang , (2018)	Zadri, Glaoui, & Abdelkhalek , (2022)	Aboutaleb , et al., (2018)	Amr S., et al., (2018)	Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020)
0.0	636.8	11.6	155	12.5	3333.33
0.5	-	-	-	-	2857.14
1.0	-	-	-	10.53	1667.67
2.5	-	-	-	-	1250
3.0	-	-	88.89	9.09	-
5.0	478	11.4	-	7.69	-
7.0	-	-	-	5	-
12.0	-	11	48.89	-	-
15.0	-	-	-	-	-
17.0	-	10.9	-	-	-
20.0	322.8	10.8	-	-	-
23	-	9.7	-	-	-
26	-	7.3	-	-	-

Fuente. Elaboración propia

5.3 Contratación de Hipótesis

HIPÓTESIS 1: Al determinar los porcentajes del polvo de grafito se incrementa la resistencia a la compresión del hormigón.

La Tabla 22 muestra los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón de acuerdo con la adición de polvo de grafito en porcentajes en peso y volumen tanto del cemento como del agregado fino. En la Figura 20 se muestra un gráfico donde la barra de color celeste indica el valor de la resistencia a la compresión del concreto patrón (mezcla de hormigón sin adición de polvo de grafito), para los diferentes artículos revisados.

Según Perez De la Cruz , Sanchez Cruz , & Torres Arrevillaga , (2021), el valor de la resistencia a la compresión del hormigón disminuyó al adicionar un 5% de polvo de grafito a la mezcla de hormigón.

Según Alvarado & Roque, (2020), el valor de la resistencia a la compresión del hormigón aumentó al adicionar entre 2% - 3% de polvo de grafito a la mezcla de hormigón.

Según Uruchurtu Cahavarin, Flores Nicolas, & Flores Nicolas, (2021), el valor de la resistencia a la compresión del hormigón aumentó al adicionar un 2.5% de polvo de grafito a la mezcla de hormigón y disminuye al adicionar 7.5% de polvo de grafito.

Según Shaopeng, Peng, Bo, Ling, & Fei, (2014), el valor de la resistencia a la compresión del hormigón disminuyó al adicionar un 5% de polvo de grafito a la mezcla de hormigón.

Según Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh,(2020), el valor de la resistencia a la compresión del hormigón aumentó al adicionar entre 0.5% - 2.5% de polvo de grafito a la mezcla de hormigón.

De acuerdo con la bibliografía revisada, la resistencia a la compresión del hormigón aumenta entre los valores de 0.5% y 2.5% de polvo de grafito, lo que permite aceptar la hipótesis 1. Por lo tanto, se puede afirmar que al adicionar polvos de grafito en porcentajes no mayores al 2.5% mejora la resistencia a la compresión del hormigón.

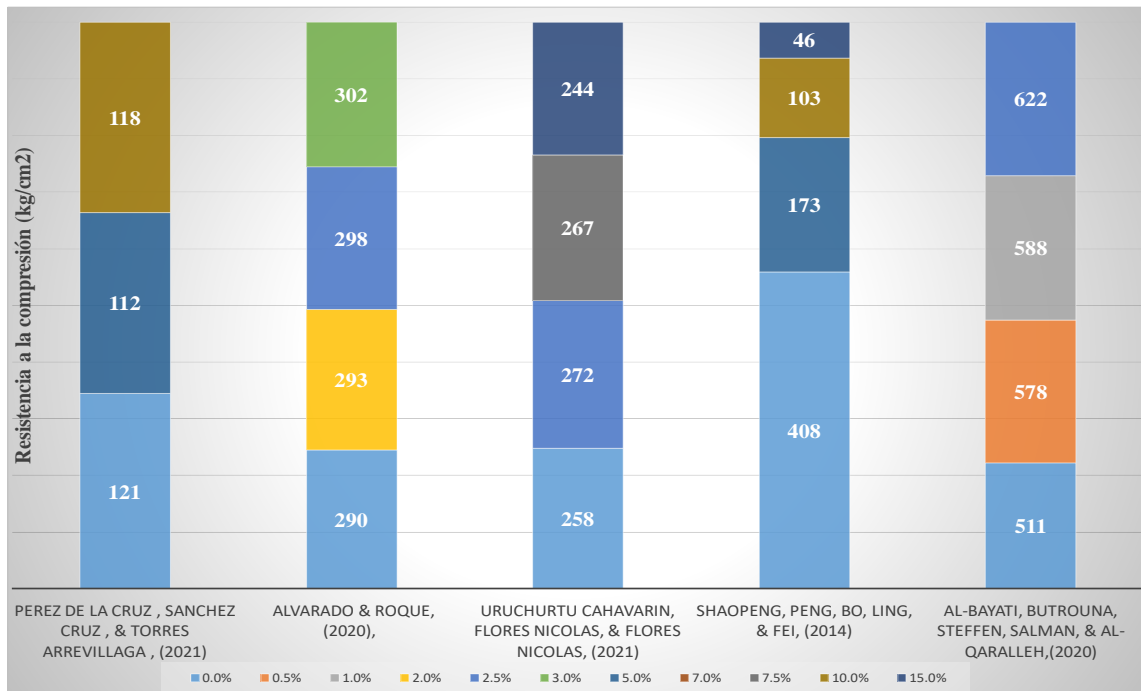


Figura 20. Resumen de resultados para resistencia a la compresión adicionando polvo de grafito

Fuente. Elaboración propia

HIPÓTESIS 2: Al determinar los porcentajes del polvo de grafito mejora el asentamiento del hormigón.

La Tabla 23 muestra los resultados de asentamiento del hormigón de acuerdo a la adición de polvo de grafito en porcentajes en peso y volumen tanto del cemento como del agregado fino. En la Figura 21 se muestra un gráfico donde la barra de color celeste indica el valor del asentamiento del concreto patrón (mezcla de hormigón sin adición de polvo de grafito), para los diferentes artículos revisados.

Según Alvarado & Roque, (2020) el valor del asentamiento del hormigón disminuyó al adicionar un 2% de polvo de grafito a la mezcla y continúa disminuyendo a medida que aumenta la concentración de polvo de grafito en la mezcla de hormigón.

Según Flores Nicolas, (2020), el valor del asentamiento del hormigón disminuyó al adicionar un 2.5% de polvo de grafito a la mezcla y este valor se logró mantener al

adicionarse un 7.5% y 15% de polvo de grafito aumentándose la cantidad de agua en la mezcla de hormigón.

Según Amr S., y otros, (2018), el valor del asentamiento del hormigón se mantuvo al adicionar un 1% de polvo de grafito en la mezcla de hormigón y luego disminuyó al adicionarse 3% de polvo de grafito, para luego continuar disminuyendo al adicionarse 5% y 7% de polvo de grafito.

Según Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020), el valor del asentamiento del hormigón disminuyó al adicionar un 0.5% de polvo de grafito a la mezcla de hormigón y continuó disminuyendo al adicionarse un 2.5% de polvo de grafito.

De acuerdo con la bibliografía revisada, el asentamiento del hormigón disminuye al adicionarse el mínimo porcentaje de polvo de grafito, lo que permite rechazar la hipótesis 2.

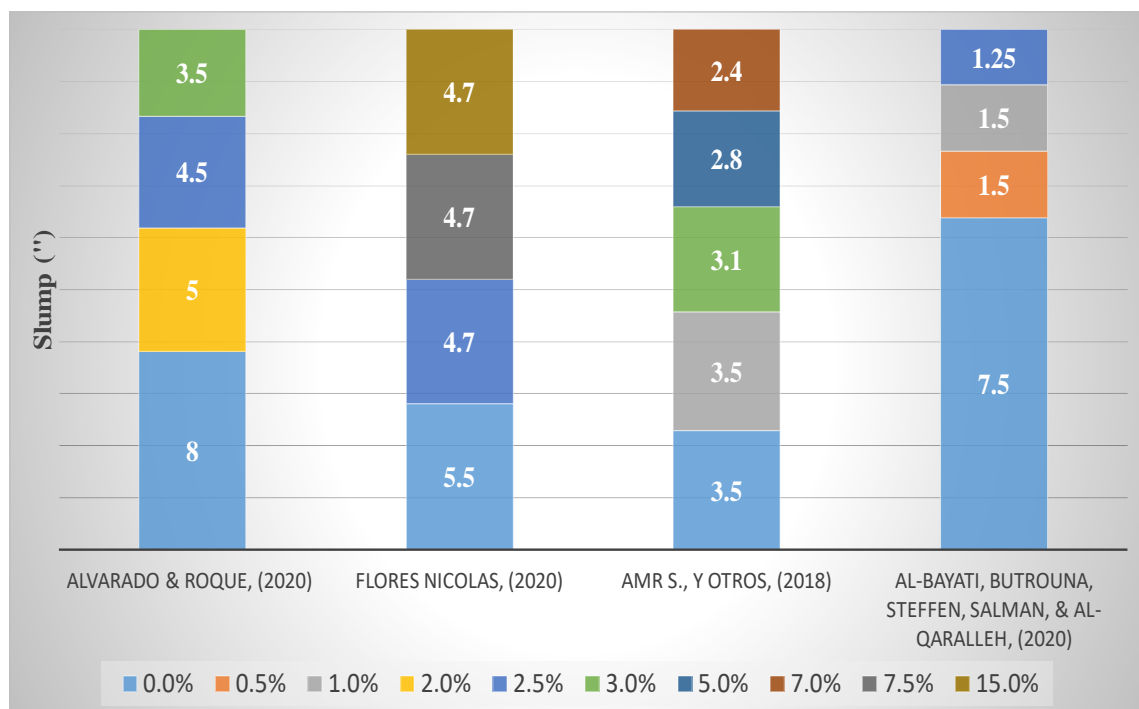


Figura 21. Resumen de resultados para trabajabilidad adicionando polvo de grafito

Fuente. Elaboración propia

HIPÓTESIS 3: Al determinar los porcentajes del polvo de grafito se incrementa la resistencia a la flexión del hormigón.

Según Alvarado & Roque, (2020), en el ensayo de resistencia a la flexión al adicionar polvo de grafito al 2%, 2.5% y 3% se observa que se obtiene un resultado óptimo ya que la resistencia incrementa en su valor positivamente.

Según Aboutaleb, et al., (2018), el valor de la resistencia a la flexión disminuye al adicionar un 5% de polvo de grafito debido a que se usó un superplastificante en el diseño de mezcla.

Según Khaleel, Al Wahaibi, Abed, Dawood, & Fayyadh, (2021) en este ensayo el valor de la resistencia a la flexión incrementa su valor desde la resistencia patrón al utilizar un porcentaje de 1% de polvo de grafito, pero tiende a disminuir ligeramente al adicionar un 2% debido a la presencia del aditivo superplastificante.

De acuerdo con la bibliografía revisada, la resistencia a la flexión del hormigón incrementa al adicionarse un porcentaje no mayor a 1% de polvo de grafito, lo que permite aceptar la hipótesis 3.

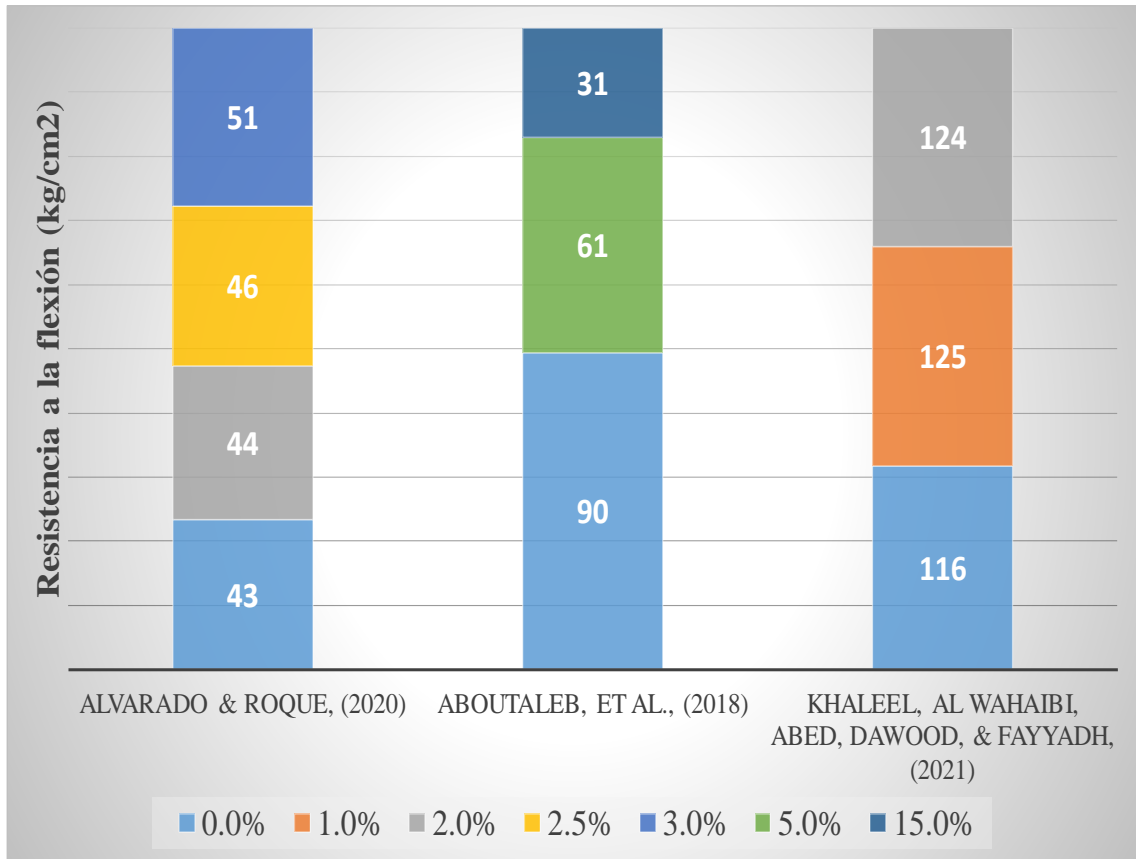


Figura 22. Resumen de resultados de resistencia a la flexión

Fuente. Elaboración propia

HIPÓTESIS 4: Al determinar los porcentajes del polvo de grafito mejora la resistividad del hormigón

La Tabla 25 muestra los resultados de resistividad eléctrica del hormigón de acuerdo a la adición de polvo de grafito en porcentajes en peso y volumen tanto del cemento como del agregado fino. En la Figura 23 se muestra un gráfico donde la barra de color naranja indica el valor de la resistividad eléctrica del concreto patrón (mezcla de hormigón sin adición de polvo de grafito), para los diferentes artículos revisados.

Según Hongbo Liu, Kun Liu, Zhu Lan, & Dashuang Zhang , (2018), el valor de la resistividad eléctrica del hormigón disminuyó al adicionar un 5% de polvo de grafito a la mezcla y continúa disminuyendo al adicionar un 20% de polvo de grafito en la mezcla de hormigón.

Según Zadri, Glaoui, & Abdelkhalek, (2022), el valor de la resistividad eléctrica del hormigón disminuyó al adicionar un 5% de polvo de grafito a la mezcla y continúa disminuyendo a medida que la cantidad de polvo de grafito aumenta en la mezcla de hormigón.

Según Aboutaleb, y otros, (2018), el valor de la resistividad eléctrica del hormigón disminuyó al adicionar un 3% de polvo de grafito en la mezcla de hormigón y continuó disminuyendo al adicionar un 12% de polvo de grafito.

Según Amr S., y otros, (2018), el valor de la resistividad eléctrica del hormigón disminuyó al adicionar un 1% de polvo de grafito a la mezcla de hormigón y continuó disminuyendo al adicionarse un 3%, 5% y 7% de polvo de grafito.

Según Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020), el valor de la resistividad eléctrica del hormigón disminuyó al adicionar un 0.5% de polvo de grafito a la mezcla de hormigón y continuó disminuyendo hasta adicionarse un 2.5% de polvo de grafito.

De acuerdo con la bibliografía revisada, la resistividad eléctrica del hormigón disminuye al adicionar polvo de grafito, lo que permite rechazar la hipótesis 4.

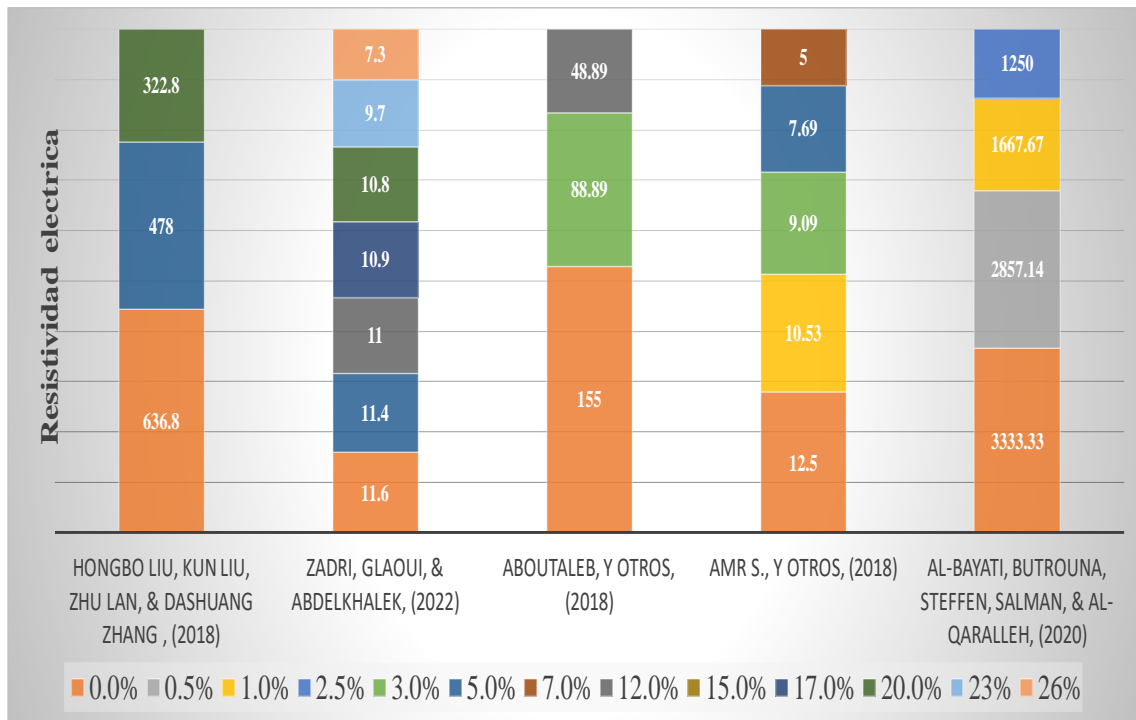


Figura 23. Recopilación de resultados de resistividad eléctrica del hormigón.

Fuente. Elaboración propia

DISCUSIÓN

El efecto de la adición del polvo de grafito en la mezcla de hormigón, incrementa ligeramente en su resistencia a la compresión (Figura 22) en bajos porcentajes de adición de polvo de grafito. En la bibliografía revisada, para los autores Alvarado & Roque, (2020), Uruchurtu Cahavarin, Flores Nicolas, & Flores Nicolas, (2021) , se puede aceptar la hipótesis 1 , con la cual se obtuvo un porcentaje óptimo de 0.5% a 2.5% de polvo de grafito.

Según los diferentes resultados obtenidos en los artículos revisados que tienen como autores a Alvarado & Roque, (2020), Flores Nicolas, (2020), Amr S., et al., (2018), Shaopeng, Peng, Bo, Ling, & Fei, (2014), rechazaron la hipótesis 2 , en la cual se demuestra que con todos los porcentajes de polvo de grafito añadidos en las mezclas de concreto, se obtenía un resultado desfavorable ya que disminuían el asentamiento del hormigón.

Según los diferentes valores indicados en los artículos revisados, se obtuvo como resultado la contrastación de la hipótesis 3, según Alvarado & Roque, (2020) ,al adicionar 3% de polvo de grafito mejora la resistencia a la flexión utilizando una relación a/c de 0.57, para el autor Aboutaleb, et al., (2018) se obtiene una disminución en la resistencia a la flexión ya que en el ensayo realizado se utiliza un aditivo superplastificante lo que indicara una mayor cantidad de agua en la mezcla y disminuirá la resistencia a la flexión de esta, para el autor Amr S., et al., (2018), se obtiene un incremento en la resistencia a la flexión al adicionar hasta 1% de polvo de grafito y un ligero descenso al incrementar un 2% esto es debido a que en el diseño de esta mezcla se usa un aditivo superplastificante donde la relación a/c se incrementará por tanto la resistencia va disminuir .

Según los diferentes resultados obtenidos en la bibliografía revisada para los autores Amr S., et al., (2018), Hongbo Liu, Kun Liu, Zhu Lan, & Dashuang Zhang , (2018), Zadri, Glaoui, & Abdelkhalek, (2022) ,Al-Bayati, Butrouna, Steffen, Salman, & Al-Qaralleh, (2020), Aboutaleb, et al., (2018), se pudo rechazar la hipótesis 4, ya que al adicionar los diferentes porcentajes de polvo de grafito a la mezcla se identifica un descenso en los valores de resistividad eléctrica, para lo cual se infiere que el polvo de grafito es utilizado como un excelente conductor del hormigón.

CONCLUSIONES

1. Se concluye de forma general que la adición de polvo de grafito aumenta la resistencia a la compresión del hormigón en estado endurecido a los 28 días, adicionando un 2% de polvo de grafito se alcanza un valor de 298 kg/cm^2 , aumentando su resistencia a la compresión en un porcentaje de 2% respecto al concreto patrón utilizado con una resistencia inicial de 290 kg/cm^2 , al adicionar 2.5% de polvo de grafito se obtiene una resistencia a la compresión de 622 kg/cm^2 aumentando su valor en 21.7% respecto al concreto patrón utilizado. La trabajabilidad del hormigón, según la bibliografía utilizada, disminuye al añadir porcentajes de 1%, 2%, 2.5%, 3%, 7% y 15% alcanzando resistencias mínimas de 3.5 kg/cm^2 con un porcentaje de 3% y 1.25 kg/cm^2 con un porcentaje de 5%. La resistencia a la flexión aumenta al adicionar un porcentaje máximo de 1% en una mezcla sin aditivos ni uso de fibras alcanzando una resistencia a la flexión máxima de 125 kg/cm^2 , la cual indica un incremento de 7% respecto a la resistencia a la flexión inicial obtenida del concreto patrón. La resistividad eléctrica, disminuye con el mínimo porcentaje añadido de polvo de grafito. Por lo tanto, la adición de polvo de grafito afecta significativamente en las propiedades físico-mecánicas del hormigón.
2. Se puede aumentar la resistencia a la compresión del concreto mediante la adición de polvo de grafito, esto se ve reflejado al comparar el concreto patrón respecto a aquellos que se incrementa a la mezcla de concreto ciertos porcentajes de polvo de grafito. En general, la resistencia a la compresión del concreto endurecido aumenta por la adición de grafito entre el 0.5%-2.5%, es necesario tener en cuenta la relación agua/cemento ya que al incrementar esta relación, se da una disminución de la resistencia a la compresión.
3. Se concluye que el asentamiento disminuye según lo observado en la Tabla 23 y Figura 21, la trabajabilidad no mejora respecto al concreto patrón al incrementar cualquier porcentaje de polvo de grafito, esto debido a que el polvo de grafito absorbe cierta cantidad de agua.

4. Se concluye que la resistencia a la flexion aumenta si la relacion a/c es baja y no se usan aditivos superplastificantes, ya que al incrementar el porcentaje de agua a la mezcla , se obtendrá un descenso en la resistencia.
5. Se puede aumentar los valores de resisitividad electrica del hormigon adicionando polvo de grafito como se observa en la Tabla 25 y Figura 23 , ya que el polvo de grafito actua como un conductor electrico del hormigon. En general , la resistividad eléctrica disminuye por la adicion de polvo de grafito en cualquiera de los porcentajes utilizados.

RECOMENDACIONES

1. Como se ha podido observar en la bibliografía revisada, al aumentar la cantidad de polvo de grafito, su absorción también aumentaba, lo que ocasionaba que algunos autores realicen un aumento en la cantidad de agua para intentar controlar su asentamiento, esto a su vez causaba un cambio en la relación agua/cemento, lo cual en algunas investigaciones originaron variaciones en la resistencia a la compresión. Debido a esto se encomienda realizar diseños de mezcla de hormigón manteniendo su relación agua/cemento.
2. Como se expuso anteriormente, el polvo de grafito absorbe una cantidad significativa de agua, lo que ocasiona que la mezcla de hormigón adquiera una consistencia más seca. Debido a esto es de vital importancia realizar mayores investigaciones del hormigón con adición de polvo de grafito añadiéndose aditivos superplastificantes que controlen la consistencia del hormigón.
3. Realizar mayores investigaciones con respecto a la resistencia a la flexión ya que se encontró muy poca literatura con respecto a esta propiedad mecánica y resultados muy positivos al adicionarse polvo de grafito.
4. Debido a la mejora en la conductividad eléctrica del hormigón al adicionarse el polvo de grafito, este concreto conductor podría usarse en carreteras para calentarlas y hacerlas más seguras para usar en zonas nevadas, incluso podría proporcionar calefacción radiante para hogares en lugares con climas muy fríos.
5. A futuros investigadores profundizar en el estudio del impacto que tiene el tamaño de la partícula del polvo de grafito en la mezcla de hormigón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [N.T.P.]339.033, N. T. (2009). Obtenido de <https://www.scribd.com/doc/159088467/NTP-339-033-2009>
- Aboutaleb, D., Gohar, R., Ibrahim, K., Mahran, M., Zaghoul, Y., Ghaly, A., . . . Abou-Zeid, M. (2018). Electrically conductive concrete. Building Tomorrow's Society. Obtenido de https://www.csce.ca/elf/apps/CONFERENCEVIEWER/conferences/2018/pdfs/Paper_MA9_0610035034.pdf
- ACADEMIA.EDU. (s.f.). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Academia.edu>
- AEC. (2019). Obtenido de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/normas-astm>
- Al-Bayati, A., Butrouna, K., Steffen, R., Salman, B., & Al-Qaralleh, M. (2020). Uso de polvo de grafito para mejorar la conductividad, la resistencia a la compresión y la trabajabilidad del concreto. ResearchGate, 881-888. doi:10.1061/9780784482889.093
- Alvarado, J., & Roque, B. (2020). Uso de polvo de grafito como aditivo en el concreto f'c 210 kg/cm² a fin de mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Universidad San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Amr S., E., Mahmoud , A., El-Ghareeb, Mohameed, Abdel Rahaman, & El Sayed. (2018). Hormigón eléctricamente conductivo multifuncional utilizando diferentes rellenos. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.012>
- Camac Ramos, J. (2018). INFLUENCIA AL INCORPORAR VIDRIO DE SOSA,CAL Y SILICE EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM. Obtenido de <https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/793/CAMAC%20RAMOS%20JESUS%20MARTIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carcausto Laura, M. (2018). Analisis y diseño estructural de la IES Agropecuaria N 125 de Chupa, Distrito de Chupa-Azangaro-Puno. Tesis. Universidad Nacional del Altiplano, Perú. doi:<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7292>

- Ccopa, H. (2017). Efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia del concreto. Universidad Nacional del Altiplano, Puno , Puno, Perú.
- ConcretOnline. (2022). Obtenido de <https://www.concretonline.com/>
- cotecno. (2022). Resistividad eléctrica del hormigón. Obtenido de <https://www.cotecno.cl/resistividad-electrica-del-hormigon/>
- DIALNET. (s.f.). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/>
- Flores Nicolas, A. (Diciembre de 2020). Evaluación en la corrosión y protección del acero de refuerzo embebidas de concreto en presencia de grafito y su instituto de investigación en ciencias básicas y aplicadas aplicadas efecto en las propiedades mecánicaselectroquímicas. Obtenido de <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/1554>
- Hongbo Liu, Kun Liu, Zhu Lan, & Dashuang Zhang . (2018). Características Mecánicas y Eléctricas del Concreto con Relaves de Grafito. Obtenido de <https://doi.org/10.1155/2018/9297628>
- Khaleel, O., Al Wahaibi, M., Abed, M., Dawood, M., & Fayyadh, M. (2021). Performance of carbon fibre concrete subjected to fire. sciencedirect, 1160-1165. doi:10.1016/j.matpr.2020.12.530
- Khalid, A. (2018). Mejora de las propiedades mecánicas de los compuestos cementosos con la adición de nano plaquetas de grafito. doi:10.1088/1757-899X/431/6/062005
- Lujano Panca, V. N., & Torres Aldazabal, A. (2021). Adición del grafeno para mejorar las propiedades mecánicas del concreto f'c 210 kg/cm2 Callao - 2021. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/83956>
- Ministerio de Vivienda, C. y. (08 de mayo de 2009). N.T.E. E.60 CONCRETO ARMADO. Obtenido de https://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/E060_CONCRETO_ARMADO.pdf
- Montañez Adama , B., & Zavala Villarroel, A. (2020). Análisis de la Influencia del grafeno en la propiedad de durabilidad del concreto F'C 210 kg/cm2. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58431>

- Osorio, J. (2022). Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión. Obtenido de <https://360enconcreto.com/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion/>
- Peña Díaz, C. A., & Lopez Mejia, L. (2019). Evaluación de la resistencia del concreto a flexión MR 4.2 sin curado y sometido a dos tipos de curado . Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17834/EVALUACION%20DE%20LA%20RESISTENCIA%20DEL%20CONCRETO.pdf?sequence=1>
- Perez De la Cruz , J. R., Sanchez Cruz , L. G., & Torres Arrevillaga , M. A. (22 de JUNIO de 2021). Proyecto de investigación : Determinación de la variación de resistencia a la compresión al sustituir 5% y 10% de cemento de polvo de grafito en un concreto $f'_{C}=200$.
- PROQUEST. (s.f.). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/ProQuest>
- Rana Faisal Tufail, M. H. (2022). Evaluación de las propiedades mecánicas y en fresco del hormigón autocompactante que contiene plaquetas de grafito. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01165>
- RM, J. A. (21 de Agosto de 2008). Vivir hogar. Obtenido de República: <https://vivirhogar.republica.com/general/american-concrete-institute-aci.html>
- Romero Quintero, A. F., & Hernández Rico, J. C. (2015). Diseño de mezclas de hormigón por el método a.c.i. y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión. Tesis. Universidad Santo Tomás, Colombia. doi:<https://hdl.handle.net/11634/915>
- S. H. Liu, M. Q. (2019). Preparación , propiedades y microestructura de hormigón conductor con polvo de grafito . Obtenido de DOI 10.1007/s11223-019-00052-1
- scholar, g. (s.f.). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Google_Acad%C3%A9mico
- SCIELO. (s.f.). Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/>
- SCOPUS. (s.f.). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Scopus>

- Sen, d., Zhuo, t., Jing, z., Yong, g., & Xianming, S. (2019). Efecto de la mezcla de oxido de grafeno sobre la resistencia a la abrasion del hormigon de cemento portland ordinario.
- Shaopeng, W., Peng, W., Bo, L., Ling, P., & Fei, G. (2014). Estudio de propiedades mecánicas y térmicas del concreto de cemento modificado con grafito. 84-88. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.599.84
- Terreros Rojas , L. E., & Carvajal Corredor, I. (2016). Analisis de las propiedades mecanicas de un concreto convencional adicionando fibra de cañamo. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6831/4/TESIS-AN%c3%81LISIS%20DE%20LAS%20PROPIEDADES%20MEC%c3%81NICAS%20DE%20UN%20CONCRETO%20CONVENCIONAL%20ADICIONAN DO%20FIBRA%20DE%20C%c3%81%c3%91A.pdf>
- Uruchurtu Cahavarin, J., Flores Nicolas, A., & Flores Nicolas, M. (01 de ENERO de 2021). Efecto de la corrosion del concreto reforzado con adiccion de polvo de grafito y su evaluacion en sus propiedades fisicoelectroquimicas. ALCONPAT, 18-33. doi:<https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.501>
- Weina Meng, K. H. (2016). Propiedades mecánicas del hormigón de ultra altas prestaciones mejorado con nanoplaquetas de grafito y nanofibras de carbono. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.069>
- Wengui , L., Xiangyu, L., Shu Jian, C., Yang Ming, L., Wen Hui, D., & Surendra, S. (2018). Efectos del oxido de grafeno en la hidratacion temprana y resistividad electrica de la pasya de cemento portland. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.066>
- Wenru, H., Xia, M., Penchong , Z., Xu, S., & Yinlan, S. (2021). Influencia del polvo de grafito en las características de emisión mecánica y acústica del concreto. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/buildings12010018>
- WORLDWIDESCIENCE. (s.f.). Obtenido de <https://worldwidescience.org/>
- Yecla. (2022). CONFIDENCIAL DIGITAL. Obtenido de <https://www.elconfidencialdigital.com/>

Zadri, Z., Glaoui, B., & Abdelkhalek, O. (2022). Enhancement of Electrical and Mechanical Properties of Modified Asphalt Concrete with Graphite Powder. *Civil Engineering Journal*, 124-133. doi:10.28991/CEJ-2022-08-01-09

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia.....	75
Anexo 2. Matriz 2.....	77
Anexo 3. Matriz 3.....	78

Anexo 1.

Matriz de Consistencia

Adición de polvo de grafito para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón.

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables
General	¿De qué manera el polvo de grafito contribuye en las propiedades físico-mecánicas del hormigón?	Analizar el polvo de grafito para contribuir en las propiedades físico-mecánicas del hormigón.	La adición de polvo de grafito contribuye en las propiedades físico-mecánicas del hormigón.	VI Polvo de grafito
	a. ¿En qué medida los porcentajes de polvo de grafito contribuye en la resistencia a la compresión del hormigón?	a. Determinar los porcentajes de polvo de grafito para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón.	a. Al determinar los porcentajes de polvo de grafito se incrementa la resistencia a la compresión del hormigón.	VD Propiedades físico-mecánicas del hormigón.
Específicas	b. ¿En qué medida los porcentajes de polvo de grafito contribuye en el asentamiento del hormigón?	b. Determinar los porcentajes de polvo de grafito para mejorar el asentamiento del hormigón.	b. Al determinar los porcentajes de polvo de grafito mejora el asentamiento del hormigón.	
	c. ¿En qué medida los porcentajes de polvo de grafito contribuye en la resistencia a la flexión del hormigón?	c. Determinar los porcentajes de polvo de grafito para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón.	c. Al determinar los porcentajes de polvo de grafito se incrementa la resistencia a la flexión del hormigón.	

d. ¿En qué medida los porcentajes de polvo de grafito contribuye en la resistividad eléctrica del hormigón?

d. Determinar los porcentajes de polvo de grafito para mejorar la resistividad eléctrica del hormigón.

d. Al determinar los porcentajes de polvo de grafito mejora la resistividad eléctrica del hormigón.

Fuente. Elaboración propia

Anexo 2.
Matriz 2

SUBTEMAS (Indicadores)	Definición / Justificación del subtema/ delimitación temporal (si aplica)	Objetivo
Resistencia a la compresión	La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del hormigón. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm ² , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).	Determinar los porcentajes de polvo de grafito para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón.
Asentamiento	El asentamiento es una medida de la consistencia del hormigón, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el hormigón.	Determinar los porcentajes de polvo de grafito para mejorar el asentamiento del hormigón.
Resistencia a la flexión	La resistencia a la flexión es una medida 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 concreto no reforzada.	Determinar los porcentajes de polvo de grafito para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón.
Resistividad eléctrica	La resistividad eléctrica es una característica inherente del hormigón, independiente de la geometría de la muestra de prueba. Se calcula en un circuito diseñado apropiadamente y aplicando un factor de geometría. Se puede correlacionar con su resistencia al movimiento de los iones cloruro.	Determinar los porcentajes de polvo de grafito para mejorar la resistividad eléctrica del hormigón.

Fuente. Elaboración propia

Anexo 3.
Matriz 3

Fuente	Autor(es)	Título	SUBTEMAS (Indicadores) 1	SUBTEMAS (Indicadores) 2	SUBTEMAS (Indicadores) 3	SUBTEMAS (Indicadores) 4
1	Pérez De la Cruz, Jorge Raúl; Sánchez Cruz, Luis Gerardo; Torres Arrevillaga, Mateo Apolinar	Proyecto de investigación: Determinación de la variación de resistencia a la compresión al sustituir 5% y 10% de cemento de polvo de grafito en un concreto $f^c=200$	El resultado fue preciso y conciso, no se superó la resistencia ni la igualó, estando consientes que la observación del laboratorio da su dictamen en la fabricación a mano del concreto, aun así, el caso fue para todos lo que hace satisfactoria el no cumplimiento de las resistencias.			

2	(Alvarado & Roque, 2020)	Uso de polvo de grafito como aditivo en el concreto f'c 210 kg/cm2 a fin de mejorar las propiedades mecánicas del concreto	El polvo de grafito influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto, y que la adición del 3% de polvo de grafito fue la óptima y cumplió con los lineamientos dados.	A mayor adición de polvo de grafito, la prueba del asentamiento Slump disminuye; se llegó a esta conclusión porque se demostró parcialmente que, al utilizar 2 % de polvo de grafito, la prueba de asentamiento Slump disminuyó a 5"; mientras que con la adición de 2.5 %, la prueba de asentamiento disminuyó a 4 ½"; y, finalmente, con la adición del 3% de polvo de grafito, el	El polvo de grafito influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto, y que la adición del 3% de polvo de grafito fue la óptima y cumplió con los lineamientos dados.
---	--------------------------	--	--	--	---

				asentamiento disminuyó a 3 ½".
3	Ccopa, Heber	Efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia del concreto	La mejora que produce el concreto con grafeno respecto al concreto patrón es de un 26% en resistencia a compresión.	El concreto con grafeno mejora la trabajabilidad del concreto subiendo de 4.4pulg a 5.5pulg en el ensayo de asentamiento.
4	(Montañez Adama & Zavala Villarroel, 2020)	Análisis de la Influencia del grafeno en la propiedad de durabilidad del	Se pudo observar que el porcentaje de adición optima fue de 0.5% del peso de cemento. Se nota una	Con respecto al asentamiento, la adición del 0.5% del peso del cemento, se notó una mejora en el

		concreto F'C 210 kg/cm2	mejora del 25% con respecto al concreto patrón	asentamiento, obteniendo un valor de 4" en el slump, lo cual significa una mejor consistencia
5	Lujano Panca & Torres Aldazaba, 2021)	Adición del grafeno para mejorar las propiedades mecánicas del concreto f'c 210 kg/cm2 Callao - 2021.	Se mostró un incremento en su resistencia a la compresión con respecto al aumento de porcentaje de adición de grafeno, obteniéndose hasta un 17% de mejora en su resistencia al utilizarse una adición de 0.19% de grafeno	Se pudo observar que a medida que aumenta el porcentaje de grafeno, el slump también aumenta y mejora su consistencia

6	Flores Nicolás, Alejandro	Evaluación en la corrosión y protección del acero de refuerzo embebidas de concreto en presencia de grafito y su efecto en las propiedades mecánicas-electroquímicas	Al adicionarse un 2.5% de polvo de grafito, se obtuvo una mejora de un 5% en su resistencia a la compresión y al adicionarse un 7.5% su resistencia disminuye con respecto al concreto con adición de 5% de polvo de grafito	Se observó que el revenimiento fue disminuyendo al agregar más porcentaje de polvo de grafito en comparación con la muestra patrón. En la fabricación del hormigón se requirió mayor cantidad de agua para mantener el rango de diseño del asentamiento.
7	Wenru Hao, Xia Meng, Penchong Zhang, Xu sol y Yinlan Shen.	Influencia del polvo de grafito en las características de emisión mecánica y acústica del concreto	Se pudo notar que a medida que se adiciona una mayor concentración de polvo de grafito, la resistencia a la compresión disminuyó	

			en un 10,70 % cuando el contenido de polvo de grafito aumentó del 0 % al 3 % y disminuyó en un 30,17 % cuando aumentó al 9 %
8	(Sen, Zhuo, Jing, Yong, & Xianming, 2019)	Efecto de la mezcla de óxido de grafeno sobre la resistencia a la abrasión del hormigón de cemento portland ordinario	Se notó una mejora de 55.9% en la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón al adicionarse un 0.1% de grafeno
9	Wengui , Li; Xiangyu, Li; Shu Jian, Chen; Yang Ming, Lu; Wen Hui, Dan; Surendra, Shah	Efectos del oxido de grafeno en la hidratación temprana y resistividad eléctrica de la	El resultado muestra que, en comparación con la muestra de referencia, la resistencia a la compresión de las

		pasta de cemento portland.	pastas de cemento que incorporan grafeno de 0,02, 0,04, 0,06 y 0,08 % mejoró considerablemente en 19,1, 37,0, 46,6 y 46,8 %, respectivamente.
10	Uruchurtu Cahavarin, J; Flores Nicolas, A; Flores Nicolas, M.	Efecto de la corrosión en hormigón armado con la adición de polvo de grafito y su evaluación en propiedades físico-electroquímicas.	El porcentaje óptimo de polvo de grafito fue de 2.5% obteniéndose un valor de resistencia a la compresión a los 28 días de 272 kg/cm ² ya que al aumentar el porcentaje a 7.5% y 15% los valores de resistencia a la compresión disminuían obteniendo como resultado 267 y

244 kg/cm²
respectivamente.

- 11 SH Liu, MQ Preparación,
 Wu, MJ Rao, propiedades y
 LH Li y HL microestructura
 Xiao de hormigón
 conductor con
 polvo de grafito
- La resistencia fue
medida a los 14,28,90
y 180 días , en la cual
la resistencia patrón a
los 28 días fue de 500
kg/cm² y en todos los
casos de porcentajes
se vio una
disminución de la
resistencia para ambos
especímenes
ensayados.
-

12	Amr S. El-Dieba, Mahmoud A. El-Ghareebb, Mohamed AH Abdel-Rahman, El Sayed A. Nasrd	Hormigón eléctricamente conductivo multifuncional utilizando diferentes rellenos	A los 28 días de curado los resultados del ensayo de resistencia a la compresión son: Patrón=337 kg/cm ² ; 1%=306 kg/cm ² ; 3%=265 kg/cm ² ; 5%=245 kg/cm ² y 7%=235 kg/cm ² . La resistencia a la compresión disminuye al aumentar la adición del polvo de grafito	Las medidas obtenidas de slump son: Patrón=3.5"; 1%=3.5"; 3%=3.1"; 5%=2.8" y 7%= 2.4". Se observan reducciones significativas en el slump, se concluyó que para esta mezcla se debe hacer uso de aditivos de trabajabilidad.	El polvo de grafito mostró una mejora en la conductividad eléctrica de las mezclas de hormigón. Para el reemplazo del 7% del volumen utilizando polvo de grafito, la conductividad aumentó tres veces.
13	Hongbo Liu, Kun Liu, Zhu Lan y Dashuang Zhang	Características Mecánicas y Eléctricas del Concreto con Relaves de Grafito	se trabajó con diferentes porcentajes a/c donde se tuvo diferentes resistencias patrón, pero no se alcanzó a ninguno de ellos con ninguno de		El aumento de relaves de grafito obviamente puede disminuir la resistividad eléctrica de las

los porcentajes de
polvo de grafito

muestras. El
concreto de
relaves de
grafito se puede
usar para
descongelar o
derretir nieve.
Desde un punto
de vista
económico, un
porcentaje
apropiado para
fibra de carbono
es 0.3% si el
requisito de
resistividad
eléctrica no es
muy alto.

14	Ziane Zadri, Bachir Glaoui y Othmane Abdelkhalek	Mejora de las Propiedades Eléctricas y Mecánicas del Concreto Asfáltico Modificado con Polvo de Grafito	Se puede observar que la resistividad eléctrica disminuye mientras que la cantidad de polvo de grafito aumenta. Patrón=11.4 $\Omega.m$; 5%=11.2 $\Omega.m$; 12%=10.9 $\Omega.m$; 17%=10.9 $\Omega.m$; 20%=10.8 $\Omega.m$; 23%=9.7 $\Omega.m$ y 26%=7.3 $\Omega.m$.
----	---	--	---

15	WU Shaopeng, WANG Peng, LI Bo, PANG Ling y GUO Fei	Estudio de Propiedades Mecánicas y Térmicas del Concreto de Cemento Modificado con Grafito	Los resultados obtenidos muestran que a medida que aumenta la adición de polvo de grafito, su resistencia a la compresión a los 28 días disminuye. Patrón=408 kg/cm ² ; 5%=173 kg/cm ² ; 10%=103 kg/cm ² y 15%=46 kg/cm ² .		
16	Ahmed Jalil Al- Bayati; Kamal H. Butrouna; Robert E. Steffen; Baris Salman y Mohammad Al- Qaralleh	Uso de polvo de grafito para mejorar la conductividad, la resistencia a la compresión y la trabajabilidad del concreto	Los resultados obtenidos muestran que a medida que aumenta la adición de polvo de grafito, su resistencia a la compresión a los 28 días aumenta hasta la adición 2.5% de polvo	Los resultados obtenidos de slump disminuyeron considerablemente cuando se adicionó el polvo de grafito. Patrón= 7.5"; 0.50%=1.5";	Dentro de los porcentajes de grafito probados, la mezcla de grafito al 1% mostró los mejores resultados de

		de grafito Patrón=511 kg/cm ² ; 0.50%=578 kg/cm ² ; 1.00%=588 kg/cm ² y 2.50%=622 kg/cm ² .	1.00%=1.5" y 2.50%=1.25".	conductividad, con una mejora del 36,5% en comparación con la muestra de control.
17	Anum khalid	Mejora de las propiedades mecánicas de los compuestos cementosos con la adición de nano/micro plaquetas de grafito		los resultados de la prueba muestran que con la adición del grafito la resistencia a la flexión mejora claramente en un máximo de 125% con la inclusión del porcentaje de 0.1%

18	Evaluación de las propiedades mecánicas y en fresco del hormigón autocompactant e de nano ingeniería que contiene nano/micro plaquetas de grafito	Rana Faisal Tufail, Muhammad Harris Naeema, Yawad Ahmad, *, Hafiz Waheeda, Ali Majdi, Farooq danésa, Ahsen Maqsooma, Culo Faheem	Las muestras reforzadas con grafito muestran un aumento en la resistencia a la flexión. Se observa incremento máximo de 70,63% y 14,3% en 0,3% y 0,5% a los 28 días de curado.
----	---	--	--

19	Propiedades mecánicas del hormigón de ultra altas prestaciones mejorado con nano plaquetas de grafito y nano fibras de carbono	Weina Meng, Kamal H. Khayat	El rendimiento de flexión de las probetas de vigas se evaluó mediante un ensayo de flexión de cuatro puntos de acuerdo con la norma ASTM C 1609 . Los especímenes con una sección transversal de 76 mm tenían una longitud de 305 mm y una longitud de tramo de 203 mm. Se usaron tres muestras
----	--	--------------------------------	---

			replicadas para cada prueba.	
20	Hormigón eléctricamente conductor	Aboutaleb, Dina, Gohar, Reham, Ibrahim, Kareem, Mahran, Mahitab, Zaghloul, Yomna, Ghaly, Athnasious , Hamza, Ahmed, Hussam, Ahmed, El Nahas, Eman and Abou-Zeid, Mohamed	Los resultados de los ensayos mostraron que, al aumentar la concentración de polvo de grafito, su resistencia a la flexión disminuyó significativamente, logrando alcanzar 3 MPa para la mezcla	Los resultados de los ensayos realizaron arrojaron resultados más altos de conductividad eléctrica que el hormigón convencional.

			con polvo de grafito al 15%.
21	Comportamiento del hormigón de fibra de grafito sometido al fuego	Omar R. Khaleela, Mahmood MS Al Wahaibia, Mohamed J. AbedC, Mahmud Dawuda, Moatasem M. Fayyadhb.	Se pudo notar que los resultados de la resistencia a la flexión fueron similares entre sí, con 1% y 2%, exhibiendo mayor resistencia a la flexión que la de la mezcla patrón.

Fuente. Elaboración propia