	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
	Dependencia	Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(1)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Loreany Carolina Navarro Cárdenas – Harold Mauricio Carvajalino Bayona		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil		
DIRECTOR	Haidee Yulady Jaramillo		
TÍTULO DE LA TESIS	Impacto del grafeno en la construcción con un enfoque sostenible		
TITULO EN INGLES	Impact of graphene in construction with a sustainable approach		
RESUMEN (70 palabras)			
<p>El objetivo de este trabajo de grado, es recopilar información sobre los efectos del grafeno en el concreto y como este ayuda a mitigar la enorme huella de carbono que genera el ingrediente clave en la construcción. Se realiza una investigación documental, elaborando un análisis de las propiedades del grafeno, la influencia de este en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto y su impacto en el medio ambiente.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>The objective of this degree work is to collect information on the effects of graphene on concrete and how it helps to mitigate the enormous carbon footprint generated by the key ingredient in construction. A documented investigation is carried out, elaborating an analysis of the properties of graphene, its influence on the improvement of the mechanical properties of concrete, and its impact on the environment.</p>			
PALABRAS CLAVES	Concreto, grafeno, impacto, ambiental, trabajabilidad, resistencia, reducción.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Concrete, graphene, impact, environmental, workability, resistance, reduction.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 56	PLANOS:0	ILUSTRACIONES:5	CD-ROM:0



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

Impacto del grafeno en la construcción con un enfoque sostenible

Harold Mauricio Carvajalino Bayona

Loreany Carolina Navarro Cárdenas

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Msc. Haidee Yulady Jaramillo

11 Noviembre 2021

Nota

El comité Curricular del Plan de Estudios de Ingeniería Civil, según consta el Acta No.0005 de fecha 02 de marzo de 2021, acordó asignar como jurados de la presente monografía a los **docentes Leidy Alejandra Páez Gaona y Leandro Ovallos Manosalva.**

1. Concepción Referencial Del Grafeno En El Concreto.....	12
1.1 Antigüedad.....	12
1.2 Descubrimiento Del Grafeno Como Material De Mejora.....	12
1.3 Concepción Actual.....	14
1.4 El Grafeno y Sus Propiedades.....	14
1.4.1 Alta Conductividad Térmica y Eléctrica.....	15
1.4.2 Gran Dureza y Resistencia.....	15
1.4.3 Flexibilidad y Ligereza.....	15
1.5 Estados Del Grafeno.....	16
1.5.1 Grafito.....	17
1.5.2 Nanotubos de Carbono.....	17
1.5.3 Fullerenos.....	17
1.6 Formas De Obtención Del Grafeno.....	17
1.6.1 Exfoliación mecánica del grafito.....	17
1.6.2 Exfoliación Química Del Grafito.....	19
1.7 Reducción de óxido de grafito.....	19
1.7.1 Crecimiento Epitaxial.....	20
1.8 Formas De Comercialización Del Grafeno.....	20
1.8.1 Grafeno En Lámina.....	20
1.8.2 Grafeno En polvo.....	21

2.	Grafeno En La Ingeniería Civil	22	4
2.1	Grafeno Aplicado Al Concreto	22	
2.2	Grafeno En Equipos De Aislamiento	22	
2.3	Aplicaciones Del Grafeno En La Construcción	23	
3.	Normatividad Para El Uso Del Grafeno Como Material Aditivo.	25	
3.1	Normatividad Del Concreto	25	
3.2	Métodos y Ensayos	28	
4.	Documentación Sobre La Influencia Del Grafeno En El Mejoramiento De las Propiedades Mecánicas Del Concreto.	29	
4.1	Ventajas Del Uso Del Grafeno En La Construcción	33	
4.2	¿Cómo Puede Revolucionar El Grafeno La Construcción?	33	
5.	Análisis Comparativo De Las Propiedades Mecánicas Entre El concreto De Uso Tradicional y El Concreto Con Adición de Grafeno.	35	
6.	Impacto Del Grafeno En El Medio Ambiente	37	
7.	Principales Fabricantes De Grafeno En el Mundo	50	
7.1	Graphenea	50	
7.2	Avanzare	50	
7.3	Granph Nanotech	50	
8.	Conclusión	51	
9.	Recomendaciones	53	

10. Referencias.....54

Tabla 1 <i>Comparación de resistencias en el tiempo</i>	30
Tabla 2 <i>Ensayo de asentamiento y porcentaje de variación de grafeno</i>	31
Tabla 3 <i>Comparación de la resistencia vs el tiempo</i>	32
Tabla 4 <i>Tabla comparativa entre el asentamiento y resistencia del concreto tradicional vs concreto con adición de grafeno</i>	35
Tabla 5 <i>Resultados obtenidos en ensayos de laboratorio de mecánica de suelo UCV</i>	38
Tabla 6 <i>Resistencia promedio</i>	39
Tabla 7 <i>Correlación entre la consistencia y el asentamiento</i>	40
Tabla 8 <i>Volumen unitario de agua</i>	41
Tabla 9 <i>Contenido de aire</i>	42
Tabla 10 <i>Relación agua /cemento</i>	43
Tabla 11 <i>Cálculo de volúmenes absolutos</i>	45
Tabla 12 <i>Concreto convencional diseñado para alcanzar las resistencias obtenidas con la adición de grafeno</i>	47
Tabla 13 <i>Materiales utilizados para alcanzar la resistencia obtenida con adición de grafeno</i> . 48	
Tabla 14 <i>Cantidad de cemento con y sin adición de grafeno</i>	48

Figura 1 *Representación de la lámina de grafeno y de los materiales carbonáceos derivados de él.....* 16

Figura 2 *Procedimiento físico para la obtención del grafeno, a partir de la delaminación del grafito.....* 18

Figura 3 *Proceso de exfoliación química del grafito.....* 19

Figura 4 *Reducción química de óxido de grafeno.....* 20

Figura 5 *Resistencia vs Tiempo.....* 36

Introducción

La construcción ha tenido un avance significativo a lo largo del tiempo, por eso se busca un desarrollo en los aditivos usados en la fabricación del concreto, desencadenando alternativas que asegure un concreto apto que cumpla con la normatividad vigente en el país.

El concreto es el material más usado en la ingeniería civil a nivel mundial, siendo el responsable de aproximadamente del 5 – 8% de las emisiones de CO₂ en el mundo (Alkhateb, 2013), es por esto que el grafeno es un material que en los últimos 10 años se está estudiando por las diferentes industrias, convirtiéndose en un aditivo que no solo aporta eficiencia al concreto, sino que también lo hace sostenible; ya que con la implementación de este aditivo se reduce la utilización de cementos, el cual permite al concreto mejorar sus propiedades mecánicas, llegando a ser más fuerte y resistente al agua que los concretos tradicionales, permitiendo así reducir drásticamente la huella de carbono.

Por lo tanto, se hace necesario compilar información de investigaciones teóricas realizadas del grafeno, pretendiendo mostrar la influencia de este en el concreto, donde se pueda hacer un reconocimiento de este aditivo nanotecnológico, donde se pueda tener una observación objetiva frente al uso de este aditivo nanotecnológico, creando un cambio en el desarrollo tecnológico de concreto.

En este trabajo se escogen estudios llevados a cabo en la Universidad Nacional del Altiplano y la Universidad de Cesar Vallejo (Perú), elaborando un análisis de las propiedades del grafeno, las aplicaciones de este material en la actualidad, con la intención de justificar y ver las garantías que ofrece al ser utilizado en el concreto.

El concreto al ser el material más usado en la ingeniería civil para la construcción a nivel mundial, es uno de los mayores causantes de la producción de dióxido de carbono en el medio ambiente. Por lo que se quiere buscar con la utilización de aditivos nanotecnológicos como el grafeno la reducción del impacto ambiental que genera el concreto tradicional y mejorar las propiedades del concreto en cuanto a resistencia, dureza, flexibilidad, ligereza, impermeabilidad, conductividad térmica y eléctrica.

Objetivo

Desarrollar una monografía de compilación, donde se recopila la información existente sobre los efectos del grafeno en la construcción, determinando cada una de las características que presenta este material, su importancia en la ingeniería civil y reconocer las ventajas que genera en el medio ambiente.

Justificación

Las expectativas del grafeno incrementaron debido a su popularidad gracias al Nobel recibido en el 2010, cabe resaltar que uno de los países que alcanzó una mayor producción y exportación del grafeno es España e incluso China aseguró formular una alternativa que mejoraría algunas de sus prestaciones, afianzando la fabricación de nuevos materiales a partir del grafeno o incluso el mejoramiento de la propiedades de materiales ya existentes, ocasionando la implementación de esta nanotecnología en las diferentes industrias en el mundo.

El grafeno al presentar propiedades como alta conductividad térmica y eléctrica, gran resistencia y flexibilidad, se convierte en un material óptimo para la construcción transfiriendo

estas propiedades al concreto; logrando un aumento en la resistencia frente a sismos y fenómenos naturales, alcanzando las condiciones físico químicas que mitiguen estos fenómenos, incrementando la resistencia a la compresión, flexión, y tracción; además de estas propiedades permite reducir el impacto ambiental de la construcción que estos tendrán sobre su entorno, en la optimización de recursos naturales, disminuyendo emisiones contaminantes a la atmosfera. (Paez Ortega, 2018)

El grafeno ostenta un módulo de Young elástico de ~ 1 TPa conforme a estudios efectuados, lo que lo categoriza como un material que permite tensiones eminentes antes de quebrarse, considerándose como altamente rígido, además que debido a la formación de pliegues en sus hojas evidencia una alta flexibilidad. (Hernández Gervacio & Quiroz Ceballos, 2015)

Metodología

La metodología aplicada consiste en recopilar información llevando a cabo una investigación documental en trabajos realizados acerca del grafeno en artículos científicos, tesis y revisión bibliográfica, seleccionando la información pertinente elaborando un análisis de las propiedades del grafeno, además del uso de este material en los diferentes procesos constructivos aplicados en la ingeniería civil.

Las contribuciones de esta monografía compilatoria, es la recolección ordenada de todas las investigaciones teóricas realizadas acerca del grafeno, como los resultados obtenidos experimentalmente en distintos trabajos realizados, además de considerar los avances científicos y la aplicación de este en la ingeniería civil, de tal manera que sirva de apoyo a futuras investigaciones sobre el tema.

En la actualidad los problemas ambientales preocupan a la sociedad, es por ello que se hace importante realizar investigaciones y acciones que apunten a la solución o mitigación de la producción de dióxido de carbono. La industria del cemento es uno de los mayores contaminantes en el mundo, por lo que se busca emplear aditivos nanotecnológicos como el grafeno en el concreto para mejorar sus propiedades mecánicas y la reducción del impacto ambiental.

El objetivo de este estudio es recopilar información sobre los efectos del grafeno en el concreto y como este ayuda a mitigar la enorme huella de carbono que genera el ingrediente clave en la construcción. Se realiza una investigación documental, elaborando un análisis de las propiedades del grafeno, la influencia de este en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto e impacto en el medio ambiente.

Con la adición de grafeno se mostrará un gran aumento en la resistencia y en la trabajabilidad del concreto, actuando como un aditivo acelerante; aunque el grafeno aporta en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto, también ayuda a reducir las emisiones de dióxido de carbono, ya que con la adición de 1 – 2% de grafeno se podrá reducir una cantidad de 36 – 72 kg/m³ de cemento, convirtiéndose en una alternativa para el desarrollo sostenible.

Se recomienda seguir investigando sobre materiales que fortalezcan las propiedades mecánicas de otros y que sean amigables con el medio ambiente, que aporten significativamente en el desarrollo de modelos y sistemas constructivo.

1.1 Antigüedad

Se creía que solo se encontraba carbono puro en dos formas alotrópicas en la naturaleza: grafito y diamante, pero no fue hasta 1985 que químicos americanos, incidieron un láser sobre una lámina de grafito obteniendo formaciones más pequeñas como el grafeno, este material está conformado por dos redes triangulares superpuesta de átomos de carbono que forman un hexágono, es decir el grafeno es una sola capa de grafito. Sin embargo, desde que se descubrió laminas delgadas de grafito no fue hasta el 2004 que los esfuerzos de unos investigadores de la universidad de Manchester consiguieron asilar esa delgada capa de grafito y experimentar con ella descubriendo: su gran resistencia con un módulo de Young de 1 Terapascal, puede estirarse hasta un 20% , al sufrir cualquier daño esta se repara por la captación de átomos de carbono en el entorno, efecto joule reducido y alta conductividad ya que su densidad eléctrica es 1 millón de veces mayor que el cobre, puede ser agregado a otros materiales para mejorar las propiedades de estos, es biodegradable, en su forma oxigenada absorbe residuos nucleares, absorbe la luz y tiene la capacidad de auto enfriamiento. (Gervacio & Quiroz, 2015)

1.2 Descubrimiento Del Grafeno Como Material De Mejora

Andre Geim y Konstantin Novoseler en el 2004 descubrieron el grafeno, convirtiéndose en los promotores de diversas investigaciones para alcázar diversas gamas de usos en diferentes industrias. Destacándose por ser uno de los materiales compuestos por una capa de átomos de carbono más fuertes conocidos por la ciencia, considerándose hasta 200 veces más fuerte y 6 veces más ligero que el acero. Cuando este es combinado con otros elementos pueden desarrollar propiedades muy superiores. (Souza, 2019)

Monterrey señala en el artículo “concreto nanotecnológico”, la gran evolución de la ciencia en los diferentes sectores, principalmente en la adición del grafeno en el concreto, jugando con propiedades como la durabilidad y disponibilidad de masas. Supliendo el concreto convencional suministrando beneficios sin dañar la subsistencia de la humanidad. (Velez, 2009)

En el departamento de ingeniería civil de la universidad de Mississippi, Hunain Alkhateb y Ahmed Al-Ostaz realizaron un trabajo a un campo de infraestructura civil. Revelando descubrimientos en la producción y características del grafeno en el cemento, la mejora de la fuerza interfacial y demás propiedades del concreto. (Alkhateb, 2013)

Fakhim Babak, Hassani Abolfazl, Rashidi Alimorad en el 2014 plantean una investigación del óxido de grafeno (GO) en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto, en donde la resistencia mecánica de nanocompuestos grafeno – cemento se comparó con el mortero sin óxido de grafeno, encontrándose que con la adición de grafeno aumento la resistencia a la tracción de un 48%. (babak, 2014)

En la universidad Nacional del Altiplano en la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Addison Villalta Quispe en su tesis “*tratamiento de aguas de escorrentía mediante la optimización del modelo de moray con la aplicación de “grafenos” con respecto a un pozo de infiltración*”. Donde se evaluó la eficiencia de tratamientos de agua con la adición de grafeno por su alto potencial alcalinizante, desarrollando la eficacia de infiltración con respecto al pozo habitual.

Nadia Martínez Mayorga en su tesis “*evaluación del empleo de vasijas de arcilla con la aplicación de nanocompuestos (grafeno) respecto al envase convencional para almacenamiento de granos de quinua*” Desarrollada en la Universidad Nacional del Altiplano. Evaluó la adición

del grafeno en las vasijas de arcilla para la conservación de granos de quinua,

14

sometiéndose a pruebas de resistencia. Finalmente se concluyó que este compuesto mejoro la resistencia a la rotura un 28%.

Hoy en día el valor de materiales nanotecnológicos como el grafeno, permite el desarrollo de nuevos sistemas constructivos amigables con el medio ambiente y que aporta mejoras en las propiedades de estos. Este trabajo de compilación concede un reconocimiento de este material, además de un análisis comparativo de resultados obtenidos en investigaciones realizadas en algunas universidades con la finalidad de mostrar las ventajas que ofrece este material, buscando nuevas alternativas para el desarrollo en la tecnología del concreto.

1.3 Concepción Actual

El grafeno se ha destacado por convertirse en un aditivo idóneo para el concreto, gracias a su alta resistencia al desgaste y a la tracción, adicionando este material al concreto sin cambiar su color sin adquirir conocimientos técnicos adicionales.

La universidad Católica San Antonia de Murcia, afirmo que este aditivo ayudará a las edificaciones a ser mas resistentes frente a eventos sísmicos, mejorando las propiedades que afectan la durabilidad del concreto como es la carbonatación cloruros y sulfatos, así como reducir las emisiones contaminantes a la atmosfera, ya que optimiza los recursos naturales.(Chao, El Grafeno ¿la nueva vitamina del concreto?, 2016)

1.4 El Grafeno y Sus Propiedades.

El grafeno ha ganado poco a poco el renombre de súper material gracias a sus maravillosas cualidades.

1.4.1 Alta Conductividad Térmica y Eléctrica.

Estas propiedades permiten que este material conduzca la electricidad y convierta los rayos del sol en energía eléctrica, debido a que el grafeno presenta esta capacidad. Por otro lado, este transporta el calor mejor que otro material, además de conducir mejor la electricidad que incluso el cobre. (Furné Asunción, 2018)

1.4.2 Gran Dureza y Resistencia.

Estudios han revelado que la resistencia del grafeno es hasta 200 veces mayor que el acero, mostrando una resistencia de tensión a la rotura de 42N/m, adecuado para soportar considerables volúmenes, inclusive algunos expertos lo han situado como gran adversario del diamante. Del mismo modo es considerado como un material resistente a la fricción, de manera que los materiales producidos a partir del grafeno se conservan con el tiempo. (Furné Asunción, 2018)

1.4.3 Flexibilidad y Ligereza.

Investigaciones han demostrado que el grafeno es altamente flexible, siendo un material que puede moldearse, asequible para infinidad de usos y adaptaciones. Por otra parte, es aún más ligero que el aluminio (Furné Asunción, 2018).

El grafeno al mostrar todas estas propiedades, se convierte en un material idóneo como aditivo en el concreto para la construcción con un enfoque sostenible; consiguiendo ser resiliente frente a sismos y fenómenos naturales gracias a su gran resistencia a la compresión, flexión y tracción.

1.5 Estados Del Grafeno

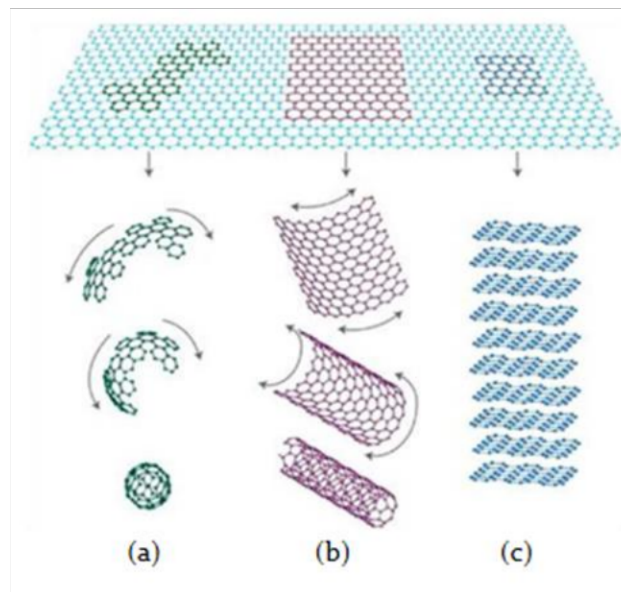
16

El grafeno es una estructura hexagonal formado por la unión de átomos de carbono.

- a) Fullerenos – 0D.
- b) Nanotubos – 1D.
- c) Grafito – 3D.

Figura 1

Representación de la lámina de grafeno y de los materiales carbonáceos derivados de él



Nota: A.K. Geim y K.S.Novoselov. 2007. The rise of graphene. Nature Materials. Vol 6. Nature Publishing Group, marzo)

1.5.1 Grafito

La apelación del grafeno forma el grafito tri-dimensional. Configurado por anillos bencénicos policíclicos separadas entre sí (Paez Ortega, 2018).

1.5.2 Nanotubos de Carbono

Formado por láminas de grafeno enrolladas sobre sí misma en estructuras unidimensional, teniendo una longitud de aproximadamente 100mm. Abarca propiedades eléctricas, térmicas y mecánicas (Paez Ortega, 2018).

1.5.3 Fullerenos

Los fullerenos son estructuras de grafeno que se arquean en estructuras de cero dimensiones. Formando una disposición esférica, creando un icosaedro truncado de 60 vértices equivalentes (Paez Ortega, 2018).

1.6 Formas De Obtención Del Grafeno.

Materiales que tienen grafeno como bloque elemental.

1.6.1 Exfoliación mecánica del grafito

Uno de los métodos para obtener grafeno basado en la exfoliación fue lo que les permitió a los científicos Andre Geim y Kostantin Novoslov recibir su primer premio nobel en el año 2010. El cual consiste en deshojar el grafito con cinta adhesiva eliminando parte del grafito obteniendo finalmente capas delgadas de grafeno. Esta es una forma sencilla y económica, pero

no podemos dejar de lado que es un método tedioso al ser un proceso manual, por lo que no es uno de los sistemas apropiado para uso industrial. (Ortega, 2018)

18

Figura 2

Procedimiento físico para la obtención del grafeno, a partir de la delaminación del grafito



Nota: Grapheno, nanotechnologies. (Ortega, 2018)

El proceso de exfoliación radica en la interacción molecular entre láminas de grafito sometido a un proceso de sonificación, el cual consiste en aplicar ultrasonidos para romper las fuerzas de Van del Waals de los enlaces interlaminares, permitiendo a las moléculas de surfactantes encajar entre las capas obteniendo láminas de grafeno. (Ortega, 2018)

Figura 3

Proceso de exfoliación química del grafito

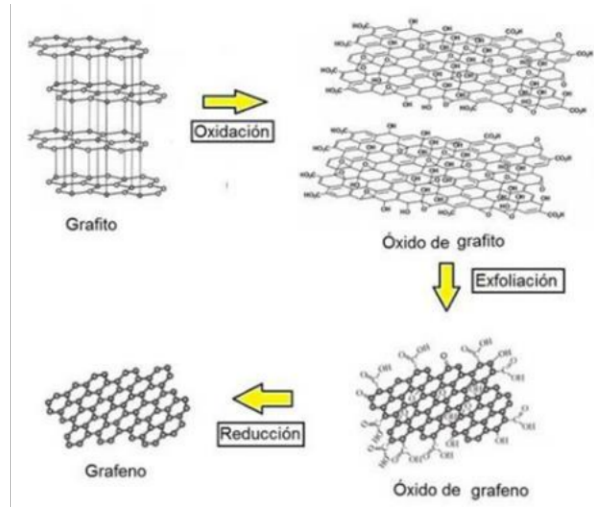


Nota: reparación Ultrasonica de grafeno. Heilscher – Tecnología de Ultrasonidos. (Ortega, 2018)

1.7 Reducción de óxido de grafito.

Este método implica la oxidación y exfoliación del grafito en su fase líquida obteniendo láminas de grafeno sin necesidad de emplear surfactantes o estabilizadores, además de ser un procedimiento económico y facilitando su separación mediante ultrasonido (Ortega, 2018).

Reducción química de óxido de grafeno



Nota: Proyecto fin de carrera ingeniería electromecánica. Millán Hernández, María. 2015.

1.7.1 Crecimiento Epitaxial.

Se produce en superficies eléctricamente aislantes, basándose en la sublimación del silicio a temperaturas superiores a 1.300°C, formando una capa de grafeno dejando que los átomos de carbono se reordenen (Páez Ortega, 2018).

1.8 Formas De Comercialización Del Grafeno

El grafeno se comercializa en dos formas: en lámina y en polvo.

1.8.1 Grafeno En Lámina

Esta forma del grafeno es de alta calidad y se emplea en la electrónica, la informática o incluso la aeronáutica, donde se requieren materiales muy resistentes (Murcia, 2017).

1.8.2 Grafeno En polvo

21

El grafeno en polvo es usado donde no se requiere un material de alta calidad, es por ello que su obtención no es costosa, pero a la complicación que genera la obtención de monocapas se pierden algunas propiedades del grafeno.(Murcia, 2017)

2.1 Grafeno Aplicado Al Concreto

La Universidad Católica junto con la empresa Graphenano Smart Materials, han presentado la utilidad y la eficiencia de este material a través de ensayos que consisten en someter al concreto una fuerte presión a la rotura demostrando mayor resistencia. Otra prueba consistió en la absorción de agua comprobando que el concreto con grafeno era impermeable y, por último, se sometió a pruebas de flexo tracción resultando ser más resistente. (Roldan, 2016)

Con base a lo anterior, se puede afirmar que, este aditivo disminuye la cantidad de cemento, lo que es beneficiario para el medio ambiente y modificando el procedimiento de construcción de materiales de concreto.

Al ser un material que ofrece gran flexibilidad permite que los edificios al deformarse vuelvan a su lugar, y al aumentar la resistencia del concreto es posible disminuir la armadura y controlar los efectos contaminantes.

2.2 Grafeno En Equipos De Aislamiento

Entre las aplicaciones de grafeno dentro del campo de la construcción se destacan los siguientes materiales obtenidos a partir del mismo:

- Aero gel de grafeno, Se podrán emplear como aislamiento ya que son láminas de unos 5 mm de espesor, con lo que se lograrían espesores muchos menores que los aislantes convencionales, ahorrando espacio y mejorando la eficiencia energética (Morote Salmeron, 2014).

- En la fabricación de paneles solares de doble tubo con el objetivo de aislar la conexión entre el panel y el tanque de almacenamiento de agua (Morote Salmeron, 2014).
- Recubrimientos de óxido de titanio de nanopartículas, para recubrimiento y protección de tubos, mejorando su eficiencia y duración, protegiéndolo de la acción de agentes meteorológicos y rayos. El óxido de titanio presenta muy buenas propiedades como foto catalizador y protege al tubo de cualquier agresión del exterior. (Morote Salmeron, 2014)

2.3 Aplicaciones Del Grafeno En La Construcción

Por la multitud de aplicaciones que posee el grafeno, por sus cualidades de aumentar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental que la construcción genera sobre su entorno, es que el grafeno se convierte en un material ideal para implementarlo en sistemas constructivos para edificaciones e infraestructura. (Furné Asunción, 2018)

El uso del grafeno ofrece un efecto aislante, ahorrando no solo espacio, sino que también energía, mejorando la eficiencia térmica de la envolvente de los diferentes tipos de construcciones.

Por otro lado, gracias precisamente a su extraordinaria dureza y resistencia, el grafeno mezclado con el concreto permitiendo aumentar la durabilidad ya que reduce un 45% la porosidad y un 50% su permeabilidad (Furné Asunción, 2018).

El grafeno, además de lo anteriormente mencionado, logra también un aumento de la seguridad frente a fenómenos naturales, ya que aumenta la resistencia a la compresión, flexión y tracción del concreto. Con todas estas propiedades lo hacen ideal para construcciones de gran envergadura. (Furné Asunción, 2018)

Además, el grafeno posee la capacidad de captar la luz, lo que permite la fabricación de paneles solares. El grafeno permite convertir los rayos solares en energía. Incluso se está

trabajando en la posibilidad de aplicar este material en la superficie de tejados y paredes de casas y edificios.

3.1 Normatividad Del Concreto

El concreto al ser uno de los materiales más usados en la ingeniería civil para la construcción, ha hecho reflexionar sobre como la aplicación de un aditivo como el grafeno mejora sus características y propiedades, además, de disminuir el impacto ambiental en la construcción. Puesto que el concreto es el causante de aproximadamente el 5-8% de las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono (Alkhateb H. , 2013).

Cabe destacar que este aditivo no hace parte de las clasificaciones o reglamentos vigentes en el país, los cuales se rigen por la norma técnica colombiana NTC 1299.

Las normas a tener en cuenta en la realización del concreto independientemente de la adición del grafeno son:

NTC 396, Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto (ICONTEC, 2007).

NTC 454, Ingeniería civil y arquitectura. Concretos. Concreto fresco toma de muestras (ICONTEC, 2007).

NTC 550, Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. (ICONTEC, 2007).

NTC 673, Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto (ICONTEC, 2007).

NTC 1028, Ingeniería civil y arquitectura. Determinación del contenido de aire en concreto fresco. Método volumétrico (ICONTEC, 2007).

NTC 1032, Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión (ICONTEC, 2007).

NTC 1377, Ingeniería civil y arquitectura. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio (ICONTEC, 2007).

NTC 1513, Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para la elaboración, curado acelerado y ensayo a compresión de especímenes de concreto (ICONTEC, 2007).

NTC 1926, Concretos. Método de ensayo para determinar la densidad (masa unitaria), el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto (ICONTEC, 2007).

NTC 3318, Producción de concreto (ICONTEC, 2007).

NTC 3658, Ingeniería civil y arquitectura. Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas (ICONTEC, 2007).

NTC 4022, Ingeniería civil y arquitectura. Masa unitaria de concreto liviano estructural (ICONTEC, 2007).

NTC 4027, Ingeniería civil y arquitectura. Concreto hecho por bachada volumétrica y mezclado continuo (ICONTEC, 2007).

Es conveniente resaltar algunas normas decretadas por la sociedad americana para pruebas y materiales.

ASTM C150, Specification for Portland Cement. (ICONTEC, 2007).

ASTM C387, Specification for Packaged, Dry Combined Material for Mortar and Concrete (ICONTEC, 2007).

ASTM C666/C666M, Test Method for Resistance of Concrete to Rapid

27

Freezing and Thawing (ICONTEC, 2007).

ASTM C1077, Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation (ICONTEC, 2007).

ASTM C1140, Practice for Preparing and Testing Specimens from Shotcrete Test Panels.

ASTM C1385/C1385M, Practice for Sampling Materials for Shotcrete (ICONTEC, 2007)

ASTM C1399, Test Method for Obtaining Average Residual Strength of Fiber Reinforced Concrete (ICONTEC, 2007).

ASTM C1436, Specification for Materials for Shotcrete (ICONTEC, 2007).

ASTM C1480, Specification for Packaged, Pre-Blended, Dry, Combined Materials for Use in Wet or Dry Shotcrete Application (ICONTEC, 2007) .

ASTM C1550, Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel) (ICONTEC, 2007).

ASTM C1602/C1602M, Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete (ICONTEC, 2007).

ASTM C1604/C1604M, Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores of Shotcrete (ICONTEC, 2007).

ASTM C1609/C1609M, Test Method for Flexural Performance of Fiber Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading) (ICONTEC, 2007).

ASTM C1666/C1666M, Specification for Alkali Resistant (AR) Glass Fiber for GFRC and Fiber Reinforced Concrete and Cement (ICONTEC, 2007).

ASTM D6942, Test Method for Stability of Cellulose Fibers in Alkaline Environments (ICONTEC, 2007).

Concrete (ICONTEC, 2007).

ASTM D7508/D7508M, Specification for Polyolefin Chopped Strands for Use in Concrete (ICONTEC, 2007) .

3.2 Métodos y Ensayos

En la valoración de las propiedades del concreto adicionándole partículas de grafeno es importante destacar normas para la realización de ensayos que garantice el aprovechamiento y cumplimiento del concreto para la construcción.

NTC 504, Ingeniería civil y arquitectura. Refrendado de especímenes cilíndricos de Concreto (ICONTEC, 2007).

NTC 550, Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra (ICONTEC, 2007).

NTC 673, Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (ICONTEC, 2007).

NTC 722, Concretos. Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto (ICONTEC, 2007).

NTC 1513, Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para la elaboración, curado acelerado y ensayo a compresión de especímenes de concreto (ICONTEC, 2007).

4. Documentación Sobre La Influencia Del Grafeno En El Mejoramiento De las Propiedades Mecánicas Del Concreto.

29

Según la Universidad de Zhejiang en China este aditivo puede proporcionarle al concreto alta resistencia mecánica y alta capacidad de recuperación elástica, además de mayor impermeabilidad y totalmente ecológico, que ayuda a edificar construcciones sostenibles, duraderas y amigables con el medio ambiente. Del mismo modo la Universidad Católica San Antonio de Murcia indico que este aditivo ayudará a los edificios a ser más resistente frente a eventos sísmicos e incluso terremotos, declarando que mejora las características que afectan la durabilidad del concreto como: Carbonatación, cloruros y sulfatos; aumentando la vida útil del concreto.

La Universidad Católica junto con la Empresa graphenano Smart Materials a través de ensayos pudieron probar la eficiencia de este material en el concreto, demostrando su gran resistencia a la rotura, otra prueba consistió en la absorción del agua, en la que se comprobó que el concreto que tenía grafeno era impermeable. Por último, se realizó una prueba flexo tracción en donde se inducía un esfuerzo de corte resultando ser más resistente que el concreto tradicional.

Al tratarse de un aditivo nanotecnológico este aumenta la flexibilidad del concreto un 45%, recomendado para construcciones de gran escala y al ser impermeable sería un material ideal para construcciones de espacios costeros, marinos e incluso en zonas frías (Chao, El Grafeno, ¿La nueva vitamina del concreto?, 2016).

Para constatar lo anteriormente dicho a continuación se mostrará dos investigaciones realizadas con probetas de concreto con adición de grafeno.

El Ingeniero Civil de la Universidad Cesar Vallejo Perú, realizó la evaluación de la influencia del grafeno para mejorar la resistencia del concreto $f'c$ 210 kg/cm^2 .

El ensayo se realizó con adiciones de grafeno de 1, 1.5 y 2 por ciento. Obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 1

Comparación de resistencias en el tiempo

Diseño	Resistencia a los 7 Días (kg/cm^2)	Resistencia a los 14 Días (kg/cm^2)	Resistencia a los 28 Días (kg/cm^2)
1.0%	191,81	228,14	240,08
1.5%	191,44	229,67	241,20
2.0%	191,92	231,30	254,31

Nota: Adaptado de “Evaluación de la influencia del grafeno como aditivo nanotecnológico para mejorar la resistencia del concreto $f'c$ 210 kg/cm^2 , David Bartra, 2019.

Los resultados anteriores permiten determinar el impacto del grafeno como aditivo nanotecnológico mejorando las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Se realizó un diseño de mezcla para una resistencia de 210 kg/cm^2 y se adicionaron diferentes porcentajes de grafeno. Cabe resaltar que este porcentaje está relacionado con la cantidad de cemento de diseño. Se observó que el grafeno aumenta considerablemente la resistencia del concreto y que a los 7 días este logra un 80% de la resistencia final, actuando como un aditivo

acelerante. Además de no ser necesario la adición de grandes cantidades de grafeno ya que a mayor porcentaje los efectos en la resistencia son mínimas.

La facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la universidad Nacional del Altiplano en su trabajo “efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia del concreto” realizó ensayos de probetas de concreto adicionándole grafeno. No solo se realizaron ensayos de resistencia, sino que, además, ensayo de asentamiento.

Tabla 2

Ensayo de asentamiento y porcentaje de variación de grafeno

Diseño	Asentamiento (pulgadas)
Concreto Patrón	4,4”
0.5%	5,2”
1.0%	5,3”
1,5%	5,3”

Nota: Efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia del concreto, Heber Ccopa Mamani, 2017.

Comparación de la resistencia vs el tiempo

Diseño	Resistencia a los 7 Días (kg/cm^2)	Resistencia a los 14 Días (kg/cm^2)	Resistencia a los 28 Días (kg/cm^2)
Concreto Patrón	126	197	215
0.5%	173	228	248
1.0%	182	233	248
1.5%	191	248	249

Nota: Efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia del concreto, Heber Ccopa Mamani, 2017

Los resultados anteriores de igual manera se planteó un diseño de mezcla para alcanzar una resistencia de $210 kg/cm^2$, y se le adicionó grafeno. Además de las pruebas de resistencia a la compresión también se realizaron pruebas de asentamiento. Se determinó que el grafeno aumenta la trabajabilidad del concreto, sin aumentar el contenido de humedad en la mezcla y que como se menciona anteriormente mejora la resistencia del grafeno acelerando el tiempo de fraguado a su temprana edad.

4.1 Ventajas Del Uso Del Grafeno En La Construcción

33

Algunas de las ventajas del grafeno son:

- Al estar compuesto por carbono, es un material orgánico. Es decir, es un material ecológico y saludable (Furné Asunción, 2018).
- El grafeno al reaccionar con otras sustancias, permite la fabricación de materiales a partir de combinaciones o mejorando las propiedades y rendimientos de otros (Furné Asunción, 2018).
- El grafeno ayuda a combatir la oxidación, la humedad y el fuego, ya que proporciona resistencia y dureza. lo que hace que el desgaste y la abrasión no se originen (Furné Asunción, 2018).
- Su flexibilidad y alta conductividad térmica y eléctrica ahorran muchos costes debido a que mejoran la eficiencia en los sistemas de calefacción y climatización (Furné Asunción, 2018).

4.2 ¿Cómo Puede Revolucionar El Grafeno La Construcción?

El grafeno es un material que en la actualidad se está implementando a lo largo del mundo entre las diferentes industrias. El grafeno es la oportunidad para la construcción civil de ser sostenible además de eficiente; Según Eduardo Souza, científicos del Reino Unido revelaron la manera de agregar este componente en el concreto, incrementando su resistencia, así como la impermeabilidad del material (Souza, 2019).

Los investigadores de la Universidad de Exeter (Reino Unido, Inglaterra) aseguran que el material compuesto es "dos veces más fuerte y cuatro veces más resistente al agua que los concretos existentes" en su investigación determinan que debido a la técnica desarrollada utiliza

la nanotecnología para suspender fragmentos atómicamente finos de grafeno en el agua 34
utilizada en la mezcla de concreto, por lo que es una técnica que requiere menor material,
reduciendo las emisiones contaminantes, convirtiéndose en un concreto sostenible. (Souza, 2019)

Uso Tradicional y El Concreto Con Adición de Grafeno.

Para constar de los beneficios del grafeno en el concreto es importante comparar sus propiedades con las del concreto normalmente utilizado en la construcción. Para ello se hizo una comparación con ensayos realizados en probetas de concreto tradicional elaboradas en investigaciones.

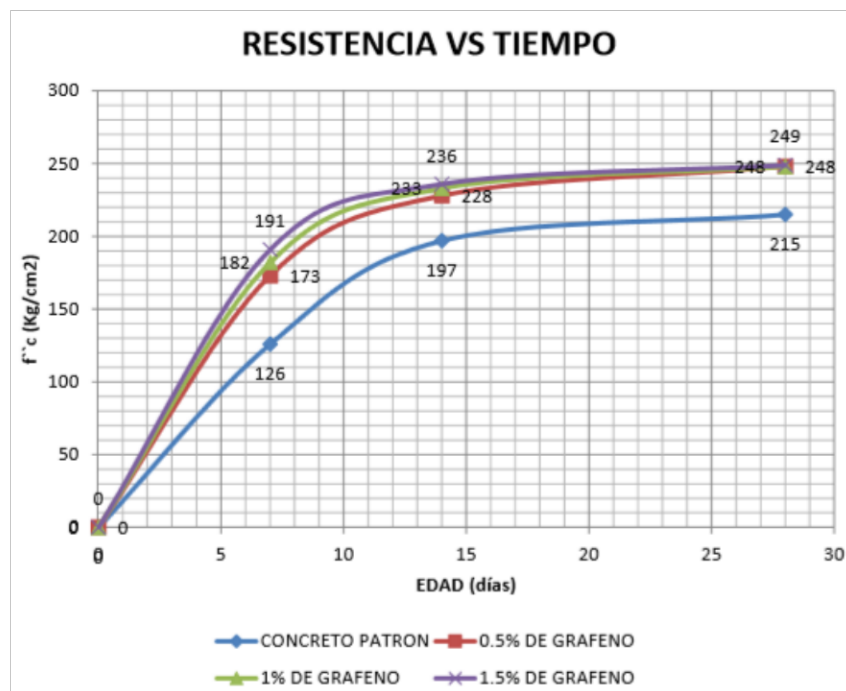
Tabla 4

Tabla comparativa entre el asentamiento y resistencia del concreto tradicional vs concreto con adición de grafeno

Diseño	Asentamiento (Pulgadas)	Resistencia a los 7 Días (kg/cm²)	Resistencia a los 14 Días (kg/cm²)	Resistencia a los 28 Días (kg/cm²)	Variación con respecto al patrón
Concreto tradicional	4,4"	126	197	215	100%
0.5%	5,2"	173	228	248	115%
1.0%	5,3"	182	233	248	115%
1.5%	5,3"	191	248	249	116%

Nota: Efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia del concreto, Heber

Ccopa Mamani, 2013.

Figura 5*Resistencia vs Tiempo*

Nota: Efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia del concreto, Heber Ccopa Mamani, 2013.

De lo anterior podemos destacar que, en el concreto con adición de grafeno, en comparación con el concreto tradicional es notable un aumento de resistencia a lo largo del tiempo, esta diferencia es más notable a los 7 días alcanzando una Resistencia de 37% por encima del concreto tradicional lo cual permite apreciar que acelera el tiempo de fraguado.

De igual forma vemos que mejora la trabajabilidad y aumenta el asentamiento del concreto sin tener que aumentar su contenido de humedad.

Para alcanzar una excelente resistencia no se hace necesario una gran dosis de grafeno, debido a que con tan solo el 0,5% del peso del cemento se observan resultados óptimos.

Anteriormente se demostró la eficiencia de grafeno como aditivo nanotecnológico en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de concreto, pero es importante conocer como este material puede disminuir las emisiones de contaminantes en la atmosfera.

En este capítulo se toma como referencia la investigación realizada por la universidad de Cesar Vallejo en Perú, ya que al ser un país suramericano es más cercano en cuanto a procesos constructivos y datos de laboratorio con Colombia.

Con los diferentes porcentajes de grafeno se alcanzó una mayor resistencia en el concreto, donde se puede considerar que con este aditivo las cantidades de materiales en la fabricación del concreto disminuirían considerablemente.

Con la adición de 1% de grafeno se alcanzó una resistencia a los 28 días de 240 kg/cm^2 , fabricándose con una cantidad de 366 kg/m^3 de cemento (Bartra Chujutally, 2019).

Posteriormente se realiza un diseño de mezcla por el método ACI con los mismos resultados obtenido en los ensayos de laboratorio de la universidad Cesar Vallejo en su trabajo titulado “efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia del concreto”.

Resultados obtenidos en ensayos de laboratorio de mecánica de suelo UCV

AGREGADO FINO	
Peso específico	2,34 gr/cm ³
Porcentaje de absorción (%)	1,69%
Contenido de Humedad (%)	3,80%
P. unitario suelto	364 kg/m ³
P. unitario compactado	423 kg/m ³
Módulo de fineza	2,40
AGREGADO GRUESO	
Peso específico	2,57 gr/cm ³
Perfil	Angular
Porcentaje de absorción (%)	0,47%
Contenido de Humedad (%)	2%
P. unitario suelto	1389 kg/m ³
P. unitario compactado	1559 kg/m ³
T.M.N (NTP)	¾"
Cemento	-
Peso específico	3,15

Nota: Adaptado de “Evaluación de la influencia del grafeno como aditivo nanotecnológico para mejorar la resistencia del concreto f’c 210 kg/cm², David Bartra, 2019.

Conociendo que la resistencia en compresión del diseño especificada es de 240 kg/cm^2 se procede a calcular la desviación estándar f_{cr} con respecto a la siguiente tabla:

Tabla 6*Resistencia promedio*

f'c	f'cr
menos de 210	$f'c + 70$
210 - 350	$f'c + 84$
sobre 350	$f'c + 98$

Nota: ACI.

$$f_{cr} = 240 \text{ kg/cm}^2 + 84 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cr} = 324 \text{ kg/cm}^2$$

Selección del asentamiento

El concreto tendrá una consistencia plástica que corresponde a un asentamiento de 3” a 4”, como muestra en la tabla 7.

Tabla 7

Correlación entre la consistencia y el asentamiento

Consistencia	Asentamiento	
	Norma Alemana	Crit. Norteamericanos
Seca	0” a 2”	0 mm a 50 mm
Plástica	3” a 4”	75 mm a 100 mm
Fluida	>5”	> 125 mm

Nota: ACI.

Se determina que el volumen de agua necesario para el diseño de mezcla es de 205 L/m³.

Tabla 8

Volumen unitario de agua

Asentamiento	Agua, para los tamaños máx. Nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
-	Concreto sin aire incorporado							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
-	Concreto con aire incorporado							
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

Nota: ACI.

El contenido de aire para el agregado grueso de tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " es de 2.00 %.

Tabla 9*Contenido de aire*

Tamaño Máximo Nominal	Aire atrapado
$\frac{3}{8}$"	3%
$\frac{1}{2}$"	2,5%
$\frac{3}{4}$"	2%
1"	1,5%
1 $\frac{1}{2}$"	1%
2"	0,5%
3"	0,3%
6"	0,2%

Nota: ACI.

Al no presentarse ataques de sulfatos u otros tipos de sustancias que puedan dañar el concreto, se seleccionará la relación agua/cemento por resistencia.

Tabla 10

Relación agua /cemento

F'c 28 (días)	Relación agua – cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0,8	0,71
200	0,7	0,61
250	0,62	0,53
300	0,54	0,46
350	0,47	0,4
400	0,43	...
450	0,38	...

Nota: ACI.

$$350 = 0,47$$

$$300 = 0,54$$

$$324 = X$$

X = La relación agua/cemento = 0,51

Factor cemento

44

El factor de cemento es la relación entre el volumen unitario de agua y la relación agua/cemento:

$$\text{Factor cemento} = 205/0,51 = 402 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de bultos de cemento de 50 kg} = 8,04 \text{ bultos/m}^3$$

Cantidad de agregado grueso

Se determina el contenido de agregado grueso para un módulo de finura de 2.40 y un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " obteniéndose un valor de 0.66 m³.

$$\text{P. del material grueso} = 0,66 * 1559 = 1029 \text{ kg/m}^3$$

Conociendo el peso del cemento, agua y agregado grueso, y el volumen del aire, se calculará la suma de los volúmenes conocidos.

Tabla 11

Cálculo de volúmenes absolutos

Cemento	402/ (3,15*1000)	0,13m ³
Agua	205/ (1*1000)	0,205m ³
Aire	2%	0,02m ³
Agregado Grueso	1029/ (2,57*1000)	0,4 m ³
Suma de volúmenes conocidos		0,755 m³

Nota: Autor.

Contenido de agregado fino

El volumen absoluto de agregados fino es la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos. El peso del agregado fino es su volumen absoluto multiplicado por el peso específico.

$$P. \text{ del material fino} = 1 - 0,755 = 0,245 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del gregdo fino seco} = 0,245 * 2,50 * 1000 = 612,5 \text{ kg/m}^3$$

Valores de diseño

46

Proporción de material:

- Cemento = 402 kg/m³
- Agua de diseño = 205 L/m³
- Agregado fino = 612,5 kg/m³
- Agregado grueso = 1029 kg/m³

Corrección por humedad del agregado

Peso húmedo de los materiales:

$$\text{Peso del agregado fino} = 612,5 * \left(1 + \frac{3,8\%}{100}\right) = 612,73 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del agregado grueso} = 1029 * \left(1 + \frac{2\%}{100}\right) = 1049,58 \text{ kg/m}^3$$

Humedad superficial del material

$$\text{Material fino} \quad 3,8 - 1,69 = 2,11 \%$$

$$\text{Material grueso} \quad 2,0 - 0,47 = 1,53\%$$

Aporte de humedad del agregado

$$\text{Aporte de humedad} = ((612,5 * 0,0211) + (1029 * 0,0153)) = 28,652 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 - 28,652 = 176,35 \text{ L/m}^3$$

- Cemento = 402 kg/m³
- Agua de diseño = 176,35 L/m³
- Agregado fino = 612,73 kg/m³
- Agregado grueso = 1049,58 kg/m³

Para conocer el impacto que genera el grafeno en el medio ambiente, se realiza una comparación de las cantidades que se necesitan para alcanzar las mismas resistencias obtenidas con adición y sin adición de grafeno. En la **tabla 13** se muestran las cantidades de material para alcanzar las resistencias de 240, 241 y 254 kg/cm² con adición de grafeno, datos que fueron tomados del trabajo de grado, mencionado anteriormente de la Universidad de Cesar Vallejo en Perú. A continuación, se mostrará en la **tabla 12** un diseño de mezcla realizado por el método ACI sin tener en cuenta la implementación de grafeno para llegar a las resistencias a la compresión que obtuvo esta universidad con la utilización de diferentes % de grafeno.

Tabla 12

Concreto convencional diseñado para alcanzar las resistencias obtenidas con la adición de grafeno

Concreto convencional diseñado para alcanzar las resistencias obtenidas con la adición de grafeno				
Resistencia requerida	Cant. cemento	Cant. agua	Agregado fino	Agregado grueso
240 kg/cm ²	402 kg/m ³	176,35 L/m ³	612,73 kg/m ³	1049,58 kg/m ³
241 kg/cm ²	402 kg/m ³	176,35 L/m ³	612,73 kg/m ³	1049,58 kg/m ³
254 kg/cm ²	438 kg/m ³	176,81 L/m ³	590,22 kg/m ³	1049,58 kg/m ³

Nota: Autor.

En la siguiente tabla se muestran los materiales utilizados para alcanzar las

resistencias de 240 kg/cm², 241 kg/cm², 254 kg/cm² con los diferentes % de adición de grafeno.

Tabla 13

Materiales utilizados para alcanzar la resistencia obtenida con adición de grafeno

Materiales utilizados para alcanzar la resistencia obtenida con adición de grafeno					
% Grafeno	Resistencia obtenida	Cant. Cemento	Cant. agua	Agregado fino	Agregado grueso
1,00%	240 kg/cm ²	366 kg/m ³	175 L/m ³	673 kg/m ³	1050 kg/m ³
1,50%	241 kg/cm ²	366 kg/m ³	175 L/m ³	673 kg/m ³	1050 kg/m ³
2,00%	254 kg/cm ²	366 kg/m ³	175 L/m ³	673 kg/m ³	1050 kg/m ³

Nota: Autor

A continuación, se presenta la reducción de cemento que se logra con la comparación entre las tablas 12 y 13 anteriormente mencionadas.

Tabla 14

Cantidad de cemento con y sin adición de grafeno

Cantidad de cemento con y sin adición de grafeno				
Resistencia	Con grafeno	Sin grafeno	Reducción (kg/m ³)	Reducción (%)
240 kg/cm ²	366 kg/m ³	402 kg/m ³	36 kg/m ³	9,84%
241 kg/cm ²	366 kg/m ³	402 kg/m ³	36 kg/m ³	9,84%
254 kg/cm ²	366 kg/m ³	438 kg/m ³	72 kg/m ³	19,67%

Nota: Autor

Para alcanzar la resistencia obtenida con la inclusión del 1% y 1,5% del grafeno, necesitaríamos 36 kg/m³ menos de cemento y 2% de grafeno se reduce una cantidad de 72 kg/m³ de cemento, lo que en una construcción a gran escala ese ahorro de material es significativo,

además que al reducir la cantidad de cemento en la construcción disminuye la enorme huella de carbono que genera este material, ya que es fuente de aproximadamente el 8% de las emisiones de dióxido de carbono del mundo, según el centro de estudios británico Chatham House, dice que, si la industria del cemento fuera un país, sería el tercer emisor de CO₂ más grande del mundo.

Manifestando que no solo es un material innovador que aporta grandes propiedades mecánicas al concreto, sino que se convierte en un material que aporta un sistema constructivo amigable con el medio ambiente, siendo una alternativa para el desarrollo en la tecnología del concreto.

7.1 Graphenea

Esta empresa desarrollo una tecnología de producción de grafeno por medio de disposición química en fase vapor, y mediante tecnología de exfoliación química; produciendo alrededor de 150.000 cm^2 al año con el método CVD (disposición química en fase vapor), mientras que por exfoliación química alrededor de 50 kilos por año. El precio a escala industrial en fase comercial está alrededor de 100 -150 euros el kilo.

7.2 Avanzare

Es una empresa especializada en la fabricación de nanomateriales, con crecimiento de su producción anual hasta del 50%.

7.3 Granph Nanotech

Esta empresa desarrollo su propia tecnología patentada para la producción de grafeno, basada en la investigación realizada por Grupo Antolin-Ingenieria y el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Alicante en España.

Dentro del análisis expuesto, es posible determinar la influencia del grafeno como aditivo nanotecnológico optimizando las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido. Se observa como la adición del grafeno mejora su trabajabilidad ya que aumenta el asentamiento del concreto sin aumentar la cantidad de agua.

A los 7 días se ve un gran aumento de la resistencia, demostrando que no solo aumenta la resistencia, sino que también actúa como un aditivo acelerante. Del mismo modo se observó que no se necesita gran cantidad de grafeno ya que a mayor porcentaje de grafeno los efectos son mínimos y la resistencia tiende a converger.

Es importante aclarar que, aunque este aditivo aporta grandes propiedades mecánicas al concreto, también demuestra como ayuda a reducir la cantidad de emisiones contaminantes, gracias a la disminución significativa de cemento el cual con la adición de 1% (de la cantidad de grafeno) se puede reducir 36 kg/m^3 de cemento y con el 2% una reducción de 72 kg/m^3 de cemento, convirtiéndose en una excelente alternativa para el desarrollo de la construcción sostenible.

Más allá de todas sus propiedades, el grafeno es un material sustentable, pues, revolucionó en las diferentes industrias permitiendo la fabricación de materiales derivados a partir de combinaciones, mejorando el rendimiento de los ya existentes, combate la oxidación, es resistente, flexible, de alta conductividad térmica, eléctrica, y durabilidad; además es una sustancia totalmente ecológica al proceder del grafito que existe en abundancia en la naturaleza. Las proyecciones del uso del grafeno en su mayoría son satisfactorias, promueven avances verdaderamente eficientes sin perjudicar el ambiente y las economías de los países e industrias que se interesen en hacer uso de él.

Finalmente es importante destacar la relevancia de investigaciones futuras sobre este material, ya que dichas investigaciones son escasas, además, de que en Colombia no se han realizado investigaciones y la aplicación de este en la Ingeniería civil. Por otra parte, el grafeno es un material que cumple las expectativas presentadas ya que mejora considerablemente la resistencia, la trabajabilidad, la flexibilidad e incluso la impermeabilidad del concreto, optimizando sus propiedades. Al ser un material que complementa y aporta estas propiedades hace idóneo la reducción del contenido de cemento, el cual representa el 8% de las emisiones de CO₂.

Seguir abriendo camino en investigación de nuevas alternativas de fabricación de productos y materiales, que suponen un aporte significativo en el desarrollo de modelos y sistemas constructivos que sean amigables con el ambiente y fortalezcan las propiedades mecánicas, físico-químicas e hidráulicas importantes en el diseño y construcción de todo tipo de edificaciones e infraestructuras.

- Alkhateb, H. (2013). *Materials Genome for Graphene- cement nanocomposite*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/276092267_Materials_Genome_for_Graphene-Cement_Nanocomposites
- arcus global. (22 de Mayo de 2018). Obtenido de Grafeno el "super material" de la construcción: <https://www.arcus-global.com/wp/grafeno-el-super-material-de-la-construccion/>
- babak, F. (16 de junio de 2014). *The Scientific world journal*. Obtenido de Hindawi: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/276323/>
- Bartra Chujutally, D. E. (10 de Junio de 2019). *Universidad Cesar Vallejo*. Obtenido de Evaluación de la influencia del grafeno como aditivo nanotecnológico para mejorar la resistencia del concreto.: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39521>
- Chao, E. (Mayo de 2016). *El Grafeno ¿la nueva vitamina del concreto?* Obtenido de Punto de Fuga: <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/mayo2016/fuga.pdf>
- Chao, E. (2016). El Grafeno, ¿La nueva vitamina del concreto? *Punto de Fuga*.
- Furné Asunción, R. (03 de Septiembre de 2018). *MAISON, Construcciones Sostenibles*. Obtenido de <https://maison-plus.es/grafeno-construccion/>
- GARA. (26 de Septiembre de 2015). Obtenido de Graphenea: https://www.naiz.eus/eu/hemeroteca/gara/editions/2015-07-26/hemeroteca_articles/graphenea-aspira-a-liderar-la-fabricacion-mundial-de-grafeno
- Gervacio, C., & Quiroz, D. (7 de agosto de 2015). *Centro de Investigación en Materiales avanzados s.c*. Obtenido de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/607/1/->

Tesis%20Claudia%20Hern%C3%A1ndez%20Gervacio%2C%20Dalia%20Quiroz%20Ceballos.pdf

ICONTEC. (2007). *Normas Técnicas Colombianas*. Obtenido de Ministerio de Educación Nacional Bogotá: https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-96894_Archivo_pdf.pdf

Inarquia. (2011). Obtenido de <https://inarquia.es/beneficios-grafeno-eficiencia-energetica/>

Mamani, H. C. (25 de mayo de 2017). *Universidad Nacional Del Altipland, Facultad De Ingeniería Civil y Arquitectura*. Obtenido de Efecto del Grafeno como Aditivo Nanotecnología en la Resistencia del Croncreto: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4534>

Morote Salmeron, J. L. (30 de Mayo de 2014). *OVACEN*. Obtenido de El grafeno y sus aplicaciones en la construccion o la arquitectura.: <https://ovacen.com/el-grafeno-y-sus-aplicaciones-construccion/>

Murcia, Y. (Julio de 2017). *graphenano nanotechnologies*. Obtenido de <https://www.graphenano.com/que-es-el-grafeno/>

Ortega, I. P. (16 de enero de 2018). *Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid , Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de El Grafeno, Posibilidades del grafeno en la arquitectura : <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4534>

Paez Ortega, I. (16 de Enero de 2018). *Escuela Tecnica Superior de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid*. Recuperado el 30 de Julio de 2020, de EL GRAFENO, posibilidades del grafeno en la arquitectura: http://oa.upm.es/49708/1/TFG_Paz_Ortega_Irene.pdf

Perez, M. A. (20 de Agosto de 2015). *blogthinbig*. Obtenido de

<https://blogthinkbig.com/del-hormigon-al-grafeno-asi-cambiara-la-arquitectura-los-proximos-anos>

Porcia, R. (12 de Noviembre de 2015). *Info Grafeno*. Obtenido de Todo sobre el grafeno, sus

usos y aplicaciones.: <https://www.infografeno.com/#comment-1530429992>

Roldan, J. (22 de Febrero de 2016). *UCAM*. Obtenido de

<https://www.ucam.edu/noticias/graphenano-y-la-ucam-demuestran-la-eficacia-del-grafeno-aplicada-al-hormigon>

Serrano Romero, V. (05 de Junio de 2015). *arquitectura y empresa*. Obtenido de

<https://arquitecturayempresa.es/noticia/el-grafeno-revolucionara-el-mundo-de-la-arquitectura-y-la-construccion>

Souza, E. (11 de junio de 2019). *ArchDaily*. Obtenido de

<https://www.archdaily.co/co/918761/que-es-el-grafeno-y-como-puede-revolucionar-la-arquitectura>

Velez, A. M. (2009). Concreto Nanotecnologico. *Razón y Palabra*, 11.