



ANÁLISIS DEL OXIDO DE GRAFENO USADO COMO ADITIVO PARA EL CONCRETO.

Una Tesis Presentada Para Obtener El Título De
Ingeniero de Civil
Universidad Antonio Nariño, Sede Pereira

Hinestroza Jorge & Urrego Mateo

Mayo 2021.

Ingeniería Civil



ANALISIS DEL OXIDO GRAFENO USADO COMO ADITIVO PARA EL CONCRETO.

Tesistas:

Jorge Hernán Hinestroza Murillo

Mateo Urrego Londoño

Tutor Académico:

Octavio Andrés Aguirre Jaramillo

Universidad Antonio Nariño, Sede Pereira, Risaralda.

Ingeniería Civil



DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los docentes de la Universidad Antonio Nariño de la facultad de Ingeniería Civil quienes nos brindaron las enseñanzas y conocimiento para fortalecer nuestra formación durante la carrera.

Agradecemos también a nuestro tutor académico de proyecto de grado el Ingeniero Octavio Andrés Aguirre Jaramillo por habernos brindado todo el conocimiento y el acompañamiento, así también por habernos guiado durante el desarrollo de la monografía.

Agradecemos a las personas que nos apoyaron incondicionalmente en el trayecto de nuestra formación académica y finalmente a los jurados, el Ingeniero Juan David Cano y al Ingeniero Henry Martínez por haber aceptado la labor de revisión y aprobación para la monografía y sus observaciones que ayudaron a mejorar la calidad del mismo.



Tabla de Contenidos

<i>INTRODUCCIÓN</i>	10
<i>ABSTRACT</i>	12
<i>Capítulo 1 ESTADO DEL ARTE</i>	14
<i>Capítulo 2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA</i>	15
2.1. ¿Cuál es la importancia del material a mejorar?.....	15
2.2. ¿Qué sucede si se añaden otros materiales?.....	15
<i>Capítulo 3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</i>	17
<i>Capítulo 4 MARCO TEÓRICO</i>	18
4.1. Concreto.....	18
4.2. Cemento.....	18
4.3. Agregados	19
4.4. Nanotecnología	20
4.5. Grafeno	21
<i>Capítulo 5 OBJETIVOS</i>	22
5.1. Objetivo general.....	22
5.2. Objetivos específicos	22
<i>Capítulo 6 JUSTIFICACIÓN</i>	23
<i>Capítulo 7 Metodología</i>	24
7.1. Tipo y diseño de la investigación.....	24
7.1.1. Monografía.....	24
7.1.2. Teórica	24
7.1.3. Exploratoria.....	25
7.1.4. No experimental.....	26
7.2. Vertebración.....	26
<i>Capítulo 8 RESULTADOS OBTENIDOS</i>	28
8.1. Grafeno	28



8.1.1. Propiedades del grafeno.....	30
8.1.2. Aplicaciones del grafeno.....	36
8.1.3. Formas de obtención del grafeno.....	37
8.1.3.1 Exfoliación mecánica.....	37
8.1.3.2 Exfoliación química	38
8.1.3.3. Sublimación del silicio en carburo de silicio (SiC)	38
8.1.3.4. Deposición química en fase vapor	39
8.2. Diferentes aditivos nanotecnológicos usados en mezclas de concreto hidráulico.....	39
8.2.1. Nanotecnología	39
8.2.2. Clasificación de nanomateriales.	41
8.2.2.1. Basados en carbono.....	41
8.2.2.2. Basados en metales	42
8.2.2.3. Dendrímeros.....	42
8.2.2.4. Compuestos.....	42
8.2.3. Nanotecnología y concreto.	43
8.2.4. Aplicaciones de nanotecnología en elementos de base cementante.	44
8.2.5. Materiales nanotecnológicos usados como aditivo para concreto.....	46
8.2.5.1. Óxido de silicio (Nano-SiO ₂)	46
8.2.5.2. Óxido de hierro (Nano-Fe ₂ O ₃).....	47
8.2.5.3. Óxido de titanio (Nano-TiO ₂)	47
8.2.5.4. Óxido de aluminio (Nano-Al ₂ O ₃).....	49
8.2.6. Incorporación de Nanotubos y Nanofibras de Carbono.....	49



8.2.7. Impacto del uso de nanomateriales sobre la seguridad.....	53
8.2.7.1. Riesgos.....	53
8.2.7.1.1. El tamaño.....	53
8.2.7.1.2. La forma.....	53
8.2.7.1.3. La solubilidad.....	54
8.2.7.1.4. Agregación o aglomeración.....	54
8.2.7.1.5. La estructura.....	54
8.2.7.2. Exposición a nano-materiales.....	54
8.2.7.3. Toxicidad en los nano-materiales.....	55
Medidas preventivas organizativas (Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2015).....	57
8.3. EL ÓXIDO DE GRAFENO (GO) USADO COMO ADITIVO NANOTECNOLÓGICO	58
8.3.1. Presencia del óxido de grafeno.....	61
<i>Capítulo 9 ANÁLISIS DE RESULTADOS</i>	63
9.1. Oxido del grafeno (OG).....	63
9.2. Comparación de estudios realizados para mejorar la resistencia a la compresión.....	66
9.2. Precio del grafeno.....	71
9.3. Viabilidad.....	73
9.4. Clasificación de aditivos para el concreto.....	76
<i>Capítulo 10 CONCLUSIONES Y LOGROS</i>	77
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	80



Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 El Grafeno.....	28
Ilustración 2 Muestra de Grafito.....	29
Ilustración 3 Representación de la estructura bidimensional de grafeno.....	30
Ilustración 4 Representación de la dureza, flexibilidad y elasticidad del grafeno.....	32
Ilustración 5 Representación transparencia y ligereza del grafeno.....	33
Ilustración 6 Grafeno Obtención por exfoliación.....	37
Ilustración 7 Richard Feynman, Premio Nobel de Física en 1959.	40
Ilustración 8 Nanosílice en polvo.....	46
Ilustración 9 Nano Fe ₂ O ₃ en polvo.....	47
Ilustración 10 Nano-TiO ₂ en polvo.....	48
Ilustración 11 Nano-Al ₂ O ₃ en polvo.....	49
Ilustración 12 Nanotubos de Carbono.....	50
Ilustración 13 Nanotubos de pared simple y pared múltiple.....	51
Ilustración 14 Nanofibras de Carbono.....	52
Ilustración 15 imágenes de nanotubos de carbono – compuestos de cenizas volantes.....	59
Ilustración 16 Mejoras de resistencia en concreto hidráulico al agregar Óxido de grafeno (OG)	65
Ilustración 17 Resistencia a la compresión para todas las mezclas.....	67
Ilustración 18 Comparación de resistencia a compresión respecto a mezcla sin GO.....	68
Ilustración 19 Comparación de resistencia a compresión entre concreto con agregado de río y concreto con agregado reciclado con y sin GO.....	70



Ilustración 20 Costo del grafeno y oxido de grafeno en diferentes fuentes en Euros (A peso colombiano COP entre 4.297 y 4.486 abril, 2021) 72

Ilustración 21 Gráfico que habla sobre los estudios del grafeno realizados desde su aparición. Este gráfico se realizó antes de que acabara el 2019 72

Ilustración 22 Análisis de precios unitarios concreto 3000 PSI 73

Ilustración 23 Análisis de precios unitarios concreto PSI usado el Óxido de grafeno como aditivo 74

Ilustración 24 Análisis de precios unitarios para el concreto 3500 PSI..... 75



Lista de tablas

Tabla 1 Componentes principales del Cemento Portland.....	19
Tabla 2 Riesgos derivados de nanomateriales.	56



INTRODUCCIÓN

En el mundo de la ingeniería se vive una necesidad en la búsqueda de mejorar constantemente, no solo los métodos constructivos sino la innovación de nuevos materiales que puedan optimizar procesos constructivos y resultados teniendo en cuenta que desde el punto de vista económico sean más competitivos.

Eventualmente surgen hallazgos que brindan nuevos caminos a explorar como lo ocurrido en el año 2004 cuando el mundo conoce a los Andre Geim y Konstantin Novoselov con su descubrimiento del Grafeno.

En el transcurso de los años este material se fue dando a conocer haciendo que científicos alrededor del mundo comenzaran a realizar investigaciones al respecto y por su misma parte llegando de nuevo Geim y Novoselov en 2010 encontrándose así con la forma de obtención a través del grafito

Con la aparición del grafeno, se manifiesta un nuevo progreso en el estudio para el uso e implementación de este material en sectores como la salud, informática, sector energético entre otros. Abriendo el campo de investigación para que nuevos sectores fijen su mirada, esforzándose en su camino constante de mejora tratando de implementarlo de manera eficiente, como lo está queriendo hacer el sector de la construcción.

El objeto de esta investigación es brindar conocimiento del Oxido de grafeno como material para ser utilizado como aditivo para concreto hidráulico, enfocándose así en sus propiedades, capacidad de mejoras y formas de obtención de dicho material.



A medida que la investigación de este material revolucionario vaya avanzando en el sector de la construcción, se estima que este cambie el uso de algunos materiales y afecte la forma de construir no solo en Colombia si no alrededor del mundo.

Cabe recalcar que gracias a las investigaciones que se han hecho en torno al grafeno, se pudo descubrir que es el material más fuerte, económico y resistente del mundo ya que es 200 veces superior al acero estructural con el mismo espesor es elástico, prácticamente transparente y posee una alta conductividad térmica y eléctrica. Además de sus propiedades mecánicas, tiene increíbles propiedades electrónicas, químicas, magnéticas y ópticas. (Graphenano nanotechnologies, 2017)



ABSTRACT

In the world of engineering there is a need in the search to constantly improve, not only construction methods but also the innovation of new materials that can optimize construction processes and results, taking into account that from an economic point of view they are more competitive.

Eventually findings emerge that provide new avenues to explore, such as what happened in 2004 when the world met Andre Geim and Konstantin Novoselov with their discovery of Graphene.

Over the years, this material became known, causing scientists around the world to begin to carry out research in this regard and for their part, Geim and Novoselov arrived again in 2010, thus finding the way to obtain it through graphite.

With the appearance of graphene, a new progress is manifested in the study for the use and implementation of this material in sectors such as health, computing, the energy sector, among others.

Opening the field of research for new sectors to set their sights, striving on its constant path of improvement trying to implement it efficiently, as the construction sector is wanting to do.

The purpose of this research is to provide knowledge of graphene oxide as a material to be used as an additive for hydraulic concrete, thus focusing on its properties, capacity for improvement and ways of obtaining said material. As the research of this revolutionary material



advances in the construction sector, it is estimated that it will change the use of some materials and affect the way of building not only in Colombia but around the world.

It should be noted that thanks to the research that has been done around graphene, it was discovered that it is the strongest, cheapest and most resistant material in the world since it is 200 times higher than structural steel with the same thickness it is elastic, practically transparent and it has a high thermal and electrical conductivity. In addition to its mechanical properties, it has incredible electronic, chemical, magnetic and optical properties. (Graphenano nanotechnologies, 2017)



Capítulo 1

ESTADO DEL ARTE

En la actualidad el área de la construcción se ha visto inmersa en la búsqueda de nuevas soluciones y tecnologías que ayuden al concreto a darle mayor durabilidad, alargando su vida útil y reduciendo el impacto ambiental en los procesos de construcción.

La utilización de nuevos materiales, que puedan ser compatibles con las mezclas y mejorar sus propiedades es un factor clave en los principales campos de desarrollo en el área. El grafeno es hoy por hoy uno de los materiales más investigados por sus propiedades, características y por las nuevas y diferentes técnicas de procesado que permiten obtener el material a un menor costo.

La presente investigación busca evidenciar mejoras en las propiedades del concreto hidráulico usando en su composición Óxido de grafeno. La realización del estado del arte por tratarse de una monografía, se encuentra incluido dentro del contexto del documento, incluyéndose, así como uno de los objetivos de la investigación presentada.



Capítulo 2

DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. ¿Cuál es la importancia del material a mejorar?

El concreto ha sido el material más usado desde su descubrimiento en la ingeniería civil para la ejecución de obras de todo tipo a nivel local, nacional y mundial, es el material de construcción más utilizado (más de 11 mil millones de toneladas métricas se consumen cada año en todo el mundo) y la fabricación del cemento es responsable de alrededor del 5-8% en todo el mundo de todas las emisiones de dióxido de carbono, el concreto ha experimentado las fases de concreto normal y concreto de alta resistencia, hoy en día la investigación de las propiedades de este material en el rango nanotecnológico afirman que “la esencia de la nanotecnología es la capacidad de trabajar a nivel molecular, átomo por átomo, para crear grandes estructuras con fundamentalmente nueva organización molecular.”

Esto constituye un foco importante de investigación, la comprensión de estas características permite el control de sus propiedades macroscópicas. (Alkhateb, 2013)

2.2. ¿Qué sucede si se añaden otros materiales?

La investigación del concreto a nivel nanotecnológico permite determinar sus propiedades mecánicas de resistencia y trabajabilidad en los diferentes climas que hay, así mismo es posible alterar sus propiedades al agregar nuevos materiales adicionales que pueden mejorar alguna de estas características.



La gran mayoría de las investigaciones que se hacen del grafeno, tienen un rumbo encaminado principalmente a los dispositivos electrónicos, siendo tremendamente escasos los estudios a la construcción. Hoy por hoy el sector industrial electrónico, es la que puede proporcionar una gran inversión a la investigación como también desarrollo por la alta rentabilidad que poseen los productos que se lanzan al comercio, por otro lado, en el sector de la construcción es complicado desarrollar productos innovadores.

La investigación de este material nos permite presentar punto por punto sus propiedades y sus procesos de elaboración con la finalidad de lograr resultados más ecológicos, baratos y también de una excelente eficacia a la hora de usar los recursos básicos y en el progreso de los procesos constructivos.

La investigación de este proyecto se centrará en la influencia que genera las nano moléculas del grafeno en el concreto y como cambian las propiedades del concreto al agregarle dicho material.



Capítulo 3

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el transcurso del tiempo se han desarrollado técnicas de mejoramiento para el concreto hidráulico en diferentes requisitos de carga. En los diferentes métodos se encuentra el óxido de grafeno cuyas propiedades se modifican dependiendo de su proceso de producción, síntesis química, procedencia, entre otros. Esto afecta a la mezcla de concreto a la que se vaya a agregar, por lo tanto, se desarrolla la siguiente pregunta:

¿Es viable la utilización del óxido del grafeno al ser usado como aditivo para el concreto hidráulico?



Capítulo 4

MARCO TEÓRICO

Es importante contextualizar los conceptos básicos y claves para el tema de investigación

4.1. Concreto

El concreto es un material constituido en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados, aire y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción. (Pasquel, 1998)

Para poder tener un entendimiento del concreto hay que entender no solo como es el resultado final de la mezcla, sino también como se compone y como actúa cada elemento, ya que dependiendo de la cantidad y de los elementos usados se puede determinar las características de la mezcla.

4.2. Cemento

En la norma ASTM 150, se define al cemento portland como “un cemento hidráulico producido al pulverizar Clinker que consisten esencialmente en silicatos de calcio hidráulico, generalmente que contienen una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición en la intermolienda”.

Los componentes principales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1 Componentes principales del Cemento Portland

Nombre del componente	Composición oxida	Abreviatura	Nombre mineral	Composición potencial (%)
Silicato Tricálcico	3CaOSiO_2	C_3S	Alita	40 – 50
Silicato Bicalcico	2CaOSiO_2	C_2S	Belita	20 – 30
Aluminato Tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{AlO}_3$	C_3A		10 – 15
Aluminoferrato	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	Celita	5 – 10

Fuente: (Polanco, Cavia, & García, 2021).

4.3. Agregados

Se puede definir al agregado como una combinación de partículas de diferentes tamaños las cuales tienen un origen tanto natural como artificial. El agregado es un conjunto de materiales que tienen componentes orgánicos, así como también partículas de diferentes materiales inorgánicos con el fin de incrementar la resistencia.

El concreto se hace con agregado de varios tamaños, a esta distribución se le conoce como gradación. Estos agregados se dividen en agregados finos (arenas) y agregados gruesos (grava). Dentro de una mezcla los agregados adheridos ocupan un setenta y cinco por ciento (75%) de volumen en relación con la mezcla.

- Agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias con un perfil preferencialmente angular, duras, compactas y resistentes.

La granulometría será preeminentemente constante con los valores retenidos en las mallas N.º 4 a N.º 100 de la serie Tyler.

- El agregado Grueso se define como el material retenido en el tamiz 4.75 mm. (No 4) proveniente de la desintegración natural y/o mecánica de las rocas que cumple con los límites establecidos en la norma ASTM C 33. Su papel principal es la de dar volumen y proporcionar su propia resistencia. El Agregado grueso puede ser grava, piedra chancada, etc.

4.4. Nanotecnología

La palabra "nanotecnología" se usa extensivamente para definir las ciencias y técnicas extremadamente pequeñas que se aplican a nivel "nanos" de nanoescala, estas son medidas que permiten trabajar y manipular las estructuras moleculares y sus átomos. Un nanómetro equivale en escala a la billonésima parte de un metro. ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9}$). Esto permitiría la fabricación de máquinas y materiales a partir del reordenamiento de átomos.



4.5. Grafeno

El grafeno es un nanomaterial bidimensional, consistente en una sola capa de átomos de carbono. A pesar de ser tan fino y ligero, es el material más fuerte que se conoce en la naturaleza, con una resistencia 200 veces superior al acero estructural con el mismo espesor. Es elástico, prácticamente transparente y posee una alta conductividad térmica y eléctrica. Además de sus propiedades mecánicas, tiene increíbles propiedades electrónicas, químicas, magnéticas y ópticas. (Graphenano, 2017)



Capítulo 5

OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

- Determinar la viabilidad del óxido de grafeno al ser usado como aditivo para el concreto hidráulico.

5.2. Objetivos específicos

- Identificar y analizar las características del grafeno que lo hacen factible para ser empleado como aditivo para el concreto hidráulico.
- Estudiar la aplicación que tienen los nanomateriales en el estado actual del conocimiento del concreto hidráulico.
- Determinar la viabilidad económica y de obtención del óxido de grafeno para la utilización en el país



Capítulo 6

JUSTIFICACIÓN

Si bien es cierto que el uso del concreto es muy importante en todos los ámbitos de la construcción de obras civiles, en el ámbito social se evidencia la importancia en los aspectos medioambientales de los elementos y materiales. Es por eso que con el avance de la nanotecnología se plantea llegar a modificar algunas propiedades de dureza, conductividad, contaminación de los materiales y elementos utilizados comúnmente, que estos incorporándose un elemento nanotecnológico o un ingrediente específico permita obtener un concreto adecuado dándole maleabilidad y manejabilidad a las necesidades puntuales de la obra, en lugar de usar un cemento especial.

El presente trabajo busca recopilar información sobre el grafeno, sus características nanotecnológicas y en la implementación de dicho material en el concreto. Así se podrá comparar si sus propiedades hacen al grafeno un mejor material a los usados actualmente como aditivos.



Capítulo 7

Metodología

7.1. Tipo y diseño de la investigación

7.1.1. Monografía

La investigación monográfica consiste en un proceso de búsqueda extensiva de información bibliográfica, de carácter expositivo que tiene como objetivo demostrar los conocimientos que se investiga acerca de un tema concreto

Al momento de elegir una investigación monográfica es necesario documentarse, es decir, recopilar información sobre el tema del que se va a tratar para posteriormente plasmar las ideas más importantes en el documento a elaborar, teniendo en cuentas que las principales fuentes de información son las enciclopedias generales, las revistas especializadas y los libros en las bases de datos.

7.1.2. Teórica

Para realizar una investigación teórica se relata principalmente sobre el examen riguroso de las definiciones, hipótesis y teorías que constituyen a los distintos aspectos del conocimiento, como principal objetivo evaluar su coherencia de manera interna, verificando así la validez e integridad teniendo en cuenta los razonamientos en que se sustentan en esta y la consistencia en consecuencias lógicas, determinando el grado de compatibilidad respecto de otros marcos conceptuales o datos empíricos existentes.



Según la finalidad de este trabajo, el tipo de investigación es teórica donde se busca averiguar los comportamientos que tiene el concreto con la incorporación del grafeno.

7.1.3. Exploratoria

Dirigidos a la formulación más precisa de un problema de investigación, dado que se carece de información suficiente y de conocimiento previos del objeto de estudio, resulta lógico que la formulación inicial del problema sea imprecisa. En este caso la exploración permitirá obtener nuevo datos y elementos que pueden conducir a formular con mayor precisión las preguntas de investigación (Claire, 1980).

El trabajo se puede considerar exploratorio ya que su objetivo es hacer una aproximación sobre un tema desconocido para Colombia en donde no se ha investigado lo suficiente. Permitiendo decidir si se pueden realizar investigaciones con mayor profundidad sobre el tema.



7.1.4. No experimental

“Se utiliza el término investigación no experimental para denominar genéricamente a un conjunto de métodos y técnicas de investigación distinto de la estrategia experimental y cuasiexperimental” (Arnau, 1995).

En un estudio no experimental no se construye ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, estudiando los datos encontrados para luego realizar la interpretación pertinente puesto que no se interviene directamente en los estudios

Antes de presentar un análisis de resultados la investigación presenta como evidencia métodos pactados al inicio del proceso con el fin de visualizar un paso a paso cada a uno de las pautas presentadas y utilizadas en el transcurso de la elaboración del trabajo de grado

Por lo anterior se hace presentación de la técnica de vertebración realizada al inicio del proceso.

7.2. Vertebración

1. El grafeno

1.1. Propiedades del grafeno

1.2. Aplicaciones del grafeno

1.3. Formas de obtención del grafeno



2. El grafeno usado como aditivo

2.1. Identificación de los diferentes aditivos

2.2. Antecedentes del grafeno usado como aditivo en concreto

2.3. Análisis de pruebas sobre el grafeno usado como aditivo en concreto

2.4. Viabilidad del grafeno usado como aditivo en concreto

Capítulo 8

RESULTADOS OBTENIDOS

8.1. Grafeno

En los años 30 del siglo XX, Pierls y Landau (Barrios, 2012) determinaron desde un punto de vista teórico que no podía existir un orden cristalino de largo alcance en cristales bidimensionales porque eran termodinámicamente inestables. En los años 80 y 90 del siglo pasado, varios grupos de investigación intentaron crear capas individuales de grafito rompiendo mecánicamente los cristales tridimensionales, sin embargo, el avance definitivo se dio en 2004, cuando André Geim y Konstantin Novoselov consiguieron obtener una sola capa de grafito y medir sus propiedades electrónicas, recibiendo por ello el premio Nobel 2010. Este logro abrió las puertas al estudio de las propiedades de esta forma alotrópica bidimensional. (Hernández & Quiroz, 2015)



Ilustración 1 El Grafeno
Fuente. (Mundo, 2014)

El Grafeno es una estructura nanométrica bidimensional de átomos de carbono fuertemente cohesionados en una superficie ligeramente plana, con ondulaciones, de un átomo de espesor, con una apariencia semejante a una capa de panal de abejas. Por su configuración atómica hexagonal, esta laminilla compuesta por anillos de benceno desprovistos de sus átomos de hidrógeno, es considerada para el entendimiento de las propiedades de los alótropos de carbono. (Rodríguez, 2012)



Ilustración 2 Muestra de Grafito
Fuente. (Sánchez, 2010)

Con excepción del diamante, el grafeno puede visualizarse como el bloque constructor a partir del cual se forman todos los demás alótropos; este plano bidimensional puede ser envuelto a manera de forro de un balón proporcionando fullerenos; enrollado cilíndricamente para formar nanotubos; o superpuesto tridimensionalmente para producir grafito. (Rodríguez, 2012)

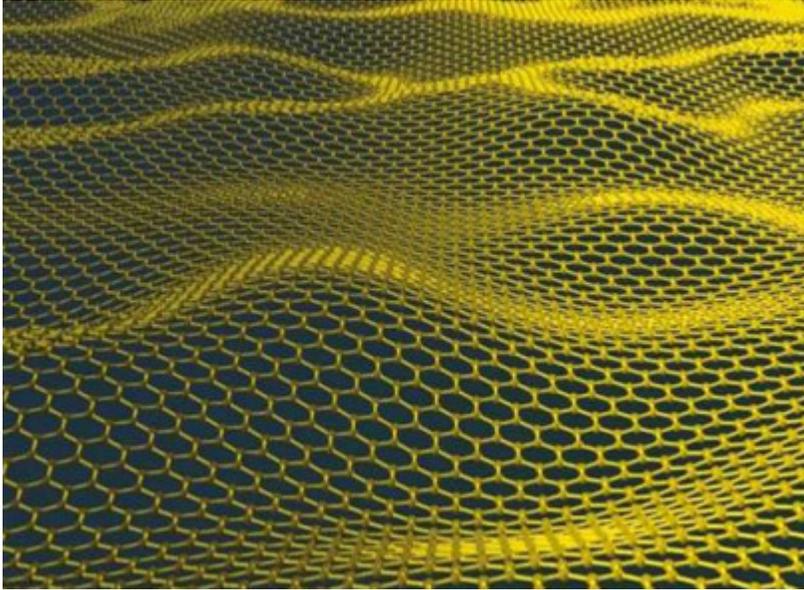


Ilustración 3 Representación de la estructura bidimensional de grafeno
Fuente. (Seas, 2012)

8.1.1. Propiedades del grafeno

Las cualidades electrónicas superlativas de este material son las que han dirigido los esfuerzos de la investigación científica para lograr comprenderlos de una manera más profunda. Sin embargo, sería injusto definir al grafeno únicamente por sus características electrónicas, cuando diversas otras propiedades, entre ellas las mecánicas, térmicas y químicas, presentan toda una fenomenología por desarrollar y las cuales han comenzado sólo recientemente a ser investigadas. (Geim, 2009)



A continuación, las principales propiedades con las que cuenta el grafeno: (Infografeno, 2021).

1. Dureza: Se puede definir la dureza de un material como la cantidad de energía que es capaz de absorber antes de romperse o deformarse. En el caso del grafeno su dureza se estima en aproximadamente unas 200 veces la del acero, casi similar a la del diamante. Es decir, que hablamos de un material muy resistente al desgaste y que puede soportar grandes pesos. Se estima que para atravesar una lámina de grafeno con un objeto afilado sería necesario establecer un peso sobre él de aproximadamente cuatro toneladas.

(InfoGrafeno, 2015)

2. Elasticidad: Al igual que pasa con la dureza, el grafeno presenta una elevada elasticidad. Esto hace que se pueda aplicar en muy diferentes superficies, de las cuales aumentará también la durabilidad, ya que al ser elástico tendrá menos posibilidades de quebrarse. (InfoGrafeno, 2015)

3. Flexibilidad: Para este en (InfoGrafeno, 2015) relata que “Al tener una elevada elasticidad puede moldearse de diversas maneras, lo que aumenta enormemente los campos en los que se puede utilizar”

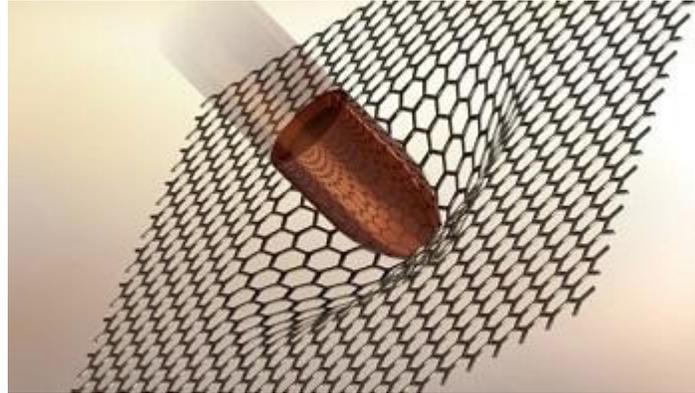


Ilustración 4 Representación de la dureza, flexibilidad y elasticidad del grafeno

Fuente. (ID, 2018)

4. Conduce muy bien el calor: La conductividad térmica es una propiedad física que mide la capacidad de un cuerpo de conducir el calor, es decir, de permitir el paso del calor a través de él. Es elevada en los metales, pero muy baja en el resto de los materiales, por lo general. La excepción a esto es el grafeno. (InfoGrafeno, 2015)

5. Conduce muy bien la electricidad: Conduce mucho mejor la electricidad que el cobre, material que habitualmente se utiliza como base de los cables. Por otra parte, necesita una menor cantidad de electricidad para transportar energía que la mayoría de los materiales empleados actualmente, como es el caso del silicio. ¿Qué significa esto? Que, si en el futuro se aplicará, por ejemplo, en las baterías de los móviles o de los ordenadores portátiles, ésta duraría mucho más tiempo. (InfoGrafeno, 2015)

6. Transparente y ligero: Se trata de un material con estas características, lo que permitiría su utilización para crear pantallas mucho más ligeras. Si lo unimos a otras de sus propiedades ya mencionadas, como es el caso de la flexibilidad, una de sus aplicaciones sería la de la creación de pantallas plegables o enrollables. (InfoGrafeno, 2015)

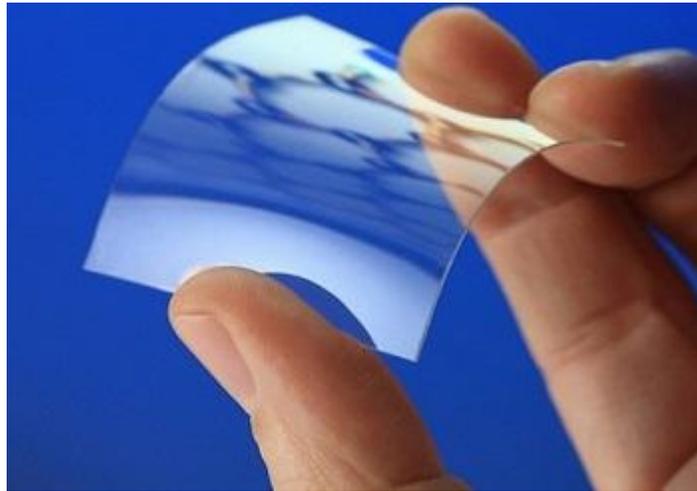


Ilustración 5 Representación transparencia y ligereza del grafeno

Fuente. (Graphene-Rolling-Technologies, 2017)

7. Reacciona químicamente con otras sustancias: Esto le permite servir de base para la creación de materiales nuevos o introducir impurezas dentro de su estructura para modificar las propiedades originales del grafeno, lo que abre un abanico prácticamente ilimitado de campos de aplicación. (InfoGrafeno, 2015)

8. Soporta bien la radiación ionizante: El grafeno ofrece una gran resistencia a ser modificado por este tipo de radiación, por lo que se puede aplicar en ámbitos como el sanitario, en el que se utilizan aparatos que emiten radiaciones ionizantes, como es el caso de los sistemas de radioterapia, por ejemplo. En la actualidad, los materiales que se



encuentran alrededor de los aparatos que emiten radiaciones ionizantes se desgastan muy pronto, lo que supone un coste muy elevado que se podría ahorrar con su construcción con grafeno. (InfoGrafeno, 2015)

9. Elevada densidad: El grafeno es un material muy denso. Tanto, que ni siquiera los átomos más pequeños conocidos, los de Helio, son capaces de atravesarlo. Del mismo modo sí que permite el paso del agua, que se evapora a la misma velocidad que si estuviera en un recipiente abierto. (InfoGrafeno, 2015)

10. Efecto antibacteriano: (InfoGrafeno, 2015) dice que “Al estudiar el comportamiento del grafeno con organismos vivos, se comprobó que las bacterias no crecen en él, lo que abre las posibilidades de su utilización en la industria alimentaria o en la biomedicina”

No obstante, a los efectos positivos en las propiedades del grafeno también hay otros. El grafeno puede causar daños a la salud, tal como lo demostró la investigación que se realizó en la Universidad Brown, y resulta que este material es altamente nocivo para la salud, ya que es un material tan fino que es capaz de cortar directamente las células si logra entrar en el cuerpo humano. Esto es causado por los bordes dentados del grafeno, los cuales fácilmente podrían penetrar las membranas celulares causándoles daño y alterando su función normal. Además, un factor importante es el hecho de que el grafeno “puede ser ingerido durante el proceso de fabricación, durante el ciclo de vida de un producto, o por medio de otros canales ambientales” (Gizmodo, 2013).



Claro está como lo dice (Gizmodo, 2013) “esto puede ser inhalado de manera involuntaria, o deliberadamente inyectada o implantada como componentes de nuevas tecnologías biomédicas. Por esta razón es muy peligroso, y hay que emplearlo con cautela por los atributos aparentemente tóxicos que posee”

Un factor que es importante destacar, es el hecho de que se utilizará el grafeno para crear armamento bélico, esto ya que gracias a la enorme resistencia que tiene, además de la flexibilidad que posee el material, se pueden hacer cascos de grafeno para el ejército o para motoristas, de modo que serán más seguros e impenetrables, lo que permitirá vivir ante cualquier ataque o accidente a quien lo use. Además, estos cascos tendrán “servicios de localización GPS, visualización o comunicación, todos ellos integrados en él” (Rafael, 2013).

Otro elemento que será posible gracias al grafeno, son los chalecos antibalas, los cuales podrán tener características más desarrolladas, tales como ser más ligeros, impenetrables, y aún más flexibles que los chalecos antibalas de seguridad de Kevlar, que son los actuales chalecos antibalas que se utilizan, pero éstos son más pesados, gruesos y poco flexibles. Además, estos chalecos estarán dotados de conexiones a Internet con el objetivo de comunicar el estado del portador. También se afirma que se introducirá este material en partes de elementos de uso bélico, tales como “las armas cortas y largas, los núcleos de

las defensas... que garanticen la ligereza y durabilidad de los mismos” (Hernández D. , 2017).

8.1.2. Aplicaciones del grafeno

Desde el punto de vista fundamental el grafeno presenta una diversidad de propiedades excepcionales que le permiten abrir nuevas expectativas en el campo de la ciencia aplicada. Debido a que las muestras de grafeno presentan una elevada movilidad electrónica a temperatura ambiente y una muy baja densidad de defectos en su estructura cristalina el grafeno ha sido integrado en dispositivos sensores de gases (CO₂ y NO₂ por citar algunos ejemplos) en el que la conductancia del grafeno incrementa linealmente con el aumento en la concentración de la muestra gaseosa (Yoona, y otros, 2011).

En esta misma línea de ideas, los cambios en el número, incluso pequeño, de los portadores de carga, provocados por la exposición del dispositivo a un espécimen gaseoso, estimulan un cambio notable en la conductividad del grafeno y por tanto una señal en el sensor (Pearce, y otros, 2011).

Otra aplicación del grafeno en este momento consiste en utilizarlo como biosensor aprovechando su elevada área superficial y la excelente conductividad eléctrica que presenta. Estas características permiten que actúe como un alambre electrónico que

facilita la unión entre el centro activo de una enzima o proteína y la superficie de un electrodo, mejorando la rapidez de transferencia electrónica y, por tanto, aumentando la detección selectiva de biomoléculas (Bosea, Khanraa, K., Kimc, & Leea, 2011).

8.1.3. Formas de obtención del grafeno

8.1.3.1 Exfoliación mecánica

Andre Geim y Konstantin Novoselov obtuvieron grafeno por primera vez a partir de exfoliación micromecánica en 2004. Se necesita una superficie limpia de grafito (muchas capas de grafeno unidas; como una mina de lápiz), la cual se raspará suavemente. De aquí se obtienen láminas estrechas de grafito. Con estas láminas obtenidas, se pegan y separan en una cinta adhesiva. El resultado son láminas tridimensionales de grafito y, muy difícil de ver a simple vista, láminas bidimensionales de grafeno

Es un método muy funcional y sencillo; cualquier persona lo puede llevar a cabo en su casa; aunque es complejo alcanzar el resultado apropiado. (Delgado, 2015).



Ilustración 6 Grafeno Obtención por exfoliación
Fuente. (Schollar, 2018)

8.1.3.2 Exfoliación química

Otra vía para la obtención de grafeno es la exfoliación mediante rutas químicas, que consiste básicamente en intercalar un reactivo entre las capas del grafito con el fin de atenuar las fuerzas de van der Waals que las mantienen unidas. Esto se puede hacer mediante distintos métodos, siendo el más común el Método de Hummers, así como modificaciones del mismo. Esta técnica se basa en provocar la oxidación del grafito para proceder a su dispersión en una suspensión y obtener óxido de grafeno, que podrá ser transformado en grafeno aplicando un proceso posterior de reducción. (Rodríguez & Plaza, 2015).

8.1.3.3. Sublimación del silicio en carburo de silicio (SiC)

El fundamento de esta técnica reside en conseguir la sublimación del silicio en cristales de carburo de silicio hexagonal crecidos epitaxialmente. Para ello, es necesario exponer el sustrato de SiC a temperaturas muy altas (alrededor de 1300oC) y en condiciones de alto vacío a fin de eliminar de la superficie los átomos de silicio más débilmente ligados. Así, los átomos de carbono que quedan en la superficie forman una capa grafitica, cuyas propiedades físicas dependen de la superficie de SiC elegida. En el caso de contar con una superficie terminada en silicio con orientación (0001), el proceso de grafitización es lento, pudiéndose controlar el número de capas de grafeno formadas (normalmente una o dos) (Rodríguez & Plaza, 2015).

Este método de síntesis permite la obtención de grafeno de muy alta calidad, aunque se considera de alto coste al llevarse a cabo en condiciones de alto vacío y muy alta temperatura.

8.1.3.4. Deposición química en fase vapor

Este tipo de proceso de síntesis se basa en la descomposición de un hidrocarburo en estado gaseoso a alta temperatura, que libera átomos de carbono. Estos, en presencia de un catalizador apropiado, precipitan sobre su superficie formando una capa de grafeno. Como principal ventaja, esta técnica permite producir láminas de grafeno de alta calidad en áreas grandes (del orden de centímetros cuadrados), además de ser potencialmente escalable hasta los tamaños necesarios para su producción a nivel industrial. Su principal desventaja es la necesidad de un proceso posterior de transferencia a fin de eliminar el catalizador y depositar el grafeno sobre el substrato necesario para la aplicación final (Rodríguez & Plaza, 2015).

8.2. Diferentes aditivos nanotecnológicos usados en mezclas de concreto hidráulico.

8.2.1. Nanotecnología

La palabra “Nanotecnología” es comúnmente usada para la definición de ciencias y técnicas que se determinan mediante la nanoescala, esto quiere decir, con medidas extremadamente pequeñas, que permiten manipular y trabajar estructuras moleculares y átomos.

Gracias a las propuestas de Richard Feynman quien por muchos fue nombrado el padre de la “nanociencia”, premio Nobel de física, se pudo desarrollar esta disciplina, quien en 1959 propone la fabricación de productos teniendo como principal objetivo la modificación estructuras de moléculas basándose al reordenamiento de átomos. Este importante celebre relata un artículo de como las computadoras podían consumir menos energía y trabajar a velocidades asombrosas al trabajar con átomos individuales.



*Ilustración 7 Richard Feynman, Premio Nobel de Física en 1959.
Fuente. (Wikipedia, 2021)*

Cuando se manipula la materia a la escala tan minúscula de átomos y moléculas, demuestra fenómenos y propiedades totalmente nuevas. Por lo tanto, los científicos utilizan la nanotecnología para crear materiales, aparatos y sistemas novedosos y poco costosos con propiedades únicas (Mamani, 2017).



Debido a la naturaleza de la nanotecnología, sus aplicaciones y los productos que son creados a través de estas prácticas pueden dar soluciones innovadoras a los problemas que no han sido resueltos anteriormente, o también, ofrecer resultados mucho mejores con un nivel de duración eficiencia o duración mucho mayor. Cuando se habla sobre un producto nanotecnológico, se habla de soluciones “inteligentes”. (Mamani, 2017)

Expertos en economía y negocios ya lo han declarado en fechas anteriores; las cifras alrededor del mundo en inversión por esta industria, los nuevos centros de investigación, planes de estudio, institutos, etc., son sólo una muestra del impulso que día a día crece. En la actualidad, ya son diversos los “nanoproductos” tanto en tiendas especializadas como en canales más accesibles y la misma publicidad cotidiana (Mamani, 2017)

8.2.2. Clasificación de nanomateriales.

8.2.2.1. Basados en carbono

Estos nanomateriales están compuestos mayoritariamente por carbono y suelen adoptar formas como esferas huecas, elipsoides o tubos. Los nanomateriales de carbono con forma elipsoidal o esférica se conocen como fullerenos, mientras que los cilíndricos reciben el nombre de nanotubos. Estas partículas tienen muchas aplicaciones posibles, incluido el desarrollo de recubrimientos y películas mejoradas, materiales más ligeros y resistentes y diversas aplicaciones en el campo de la electrónica (Castillo, 2012).

8.2.2.2. Basados en metales

Según (Castillo, 2012) “Estos nanomateriales incluyen puntos cuánticos, nanopartículas de oro y plata y óxidos metálicos como el dióxido de titanio”

8.2.2.3. Dendrímeros

Estos nanomateriales son polímeros de tamaño nanométrico contruidos a partir de unidades ramificadas. La superficie de un dendrímero tiene numerosos extremos de cadena, que se pueden adaptar para desempeñar funciones químicas específicas. Esta propiedad se podría utilizar también para la catálisis. Además, debido a que los dendrímeros tridimensionales contienen cavidades interiores en las que se pueden introducir otras moléculas, pueden ser útiles para la administración de fármacos (Castillo, 2012).

8.2.2.4. Compuestos

Los compuestos combinan las nanopartículas con otras nanopartículas o con materiales de mayor tamaño. Las nanopartículas, como arcilla a nano escala, ya se están añadiendo a numerosos productos, desde piezas de automóviles a materiales de empaquetado, para mejorar sus propiedades mecánicas, térmicas, protectoras, etc (Castillo, 2012).

8.2.3. Nanotecnología y concreto.

Los beneficios que ofrece la industria de la nanotecnología es posiblemente la investigación más importante en casi todas las ciencias e industrias. En el área de la Construcción, el Concreto al ser el material más empleado, requiere que su calidad esté mejorando cada vez más.

Como dice en su escrito (Poudyal, 2018) podemos determinar que “El hormigón es un material compuesto, nanoestructurado y multifásico. Se forma parte de una fase amorfa de cristales de tamaño micrométrico, y agua. Esta fase amorfa C-S-H (Silicato Cálcico Hidrato) es prácticamente el pegamento que mantiene unido el hormigón”

(Poudyal, 2018) También nos da alguna de las ventajas en las aplicaciones de la nanotecnología en el hormigón

- Mejora las propiedades mecánicas del material.
- Capacidad de controlar y manipular la materia en su escala atómica. (Reacción ÁlkaliSílíce).
- Eficiencia en coste.
- Minimiza los tiempos de ajuste.
- Mantiene un bajo nivel de contaminación Ambiental.

La nano modificación del hormigón, como es un proceso que se desarrolla rápidamente los últimos años, y en combinación con la síntesis y la manipulación del material a la



escala nano ha ofrecido la posibilidad para el desarrollo de nuevos aditivos de cemento como nuevos superplastificantes, nano-partículas o nano-refuerzos (Sanchez & Sobolev, 2010)

Además, métodos para la hibridación y el injerto de moléculas permiten la manipulación directa de la estructura de las fases de cemento y así pueden ser efectivas en una estrategia de Bottom-Up, controlando las propiedades existentes del hormigón y generando nuevas funciones y propiedades que aún no están disponibles (Sanchez & Sobolev, 2010)

La nanotecnología en concreto que está principalmente aplicada en forma de aditivos nanotecnológicos ha demostrado su superioridad tanto mecánica como medioambiental, pero con el ritmo al que se llevan las investigaciones, es algo que logrará desarrollar el sector en mayor medida en un futuro.

8.2.4. Aplicaciones de nanotecnología en elementos de base cementante.

El cemento es un conglomerante hidráulico, es un material de naturaleza inorgánica que está formado de una mezcla de materiales calizos y arcillosos que fundamentalmente son Silicato tricálcico, Silicato Dicálcico, Aluminato tricálcico, Ferrito aluminato tetracálcico. Esta mezcla se llama Clinker (Marín, 2015).



En la construcción, el material más utilizado con base cemento es el hormigón. El hormigón es una mezcla de cemento, áridos (arena y grava), agua y algunos aditivos en proporcionalmente distintas proporciones. Aunque no es tan fuerte ni tan resistente como el acero, lo que lo hace más utilizado en la construcción son propiedades como resistencia al agua, facilidad de fabricar en formas distintas y bajo coste (Molina, 2013).

Las propiedades del hormigón existen, y los mecanismos de degradación ocurren a través de la longitud múltiple de escalas (nano a micro a macro) donde las propiedades de cada escala se generan de los de la siguiente escala más pequeña. La fase amorfa, silicato de calcio-hidrato (C-S-H) es el "pegamento" que mantiene el hormigón unido y es en sí mismo un nanomaterial. Por ello, algunos autores reconocen que el C-S-H se encuentra en la escala de los nanomateriales (Sanchez & Sobolev, 2010).

Por su parte (Cornejo, 2015) nos habla de “La adición de Nanopartículas al cemento interviene en la velocidad de hidratación del cemento favoreciendo su resistencia y sus propiedades mecánicas, incrementando así la cantidad de C-SH evitando una posible posterior degradación”

Y (Sanchez & Sobolev, 2010) nos hace saber que “La mayor parte del trabajo hasta ahora con nanopartículas ha sido con nano-sílice (nano-SiO₂) y óxido de nano-titanio (nano-TiO₂)”

8.2.5. Materiales nanotecnológicos usados como aditivo para concreto.

8.2.5.1. Óxido de silicio (Nano-SiO₂)

Se ha demostrado que su adición al hormigón mejora la trabajabilidad, la resistencia del hormigón y la durabilidad ya que aumenta la resistencia a la penetración de agua y controla la lixiviación del calcio, que está relacionado con diversos tipos de degradación del hormigón. Además, se demostró que la nano sílice acelera las reacciones de hidratación tanto del C3S como de un mortero de ceniza como resultado de la superficie grande y altamente reactiva de las nanopartículas. Se encontró además que la nano sílice es más eficaz para mejorar la resistencia que el humo de sílice (Sanchez & Sobolev, 2010)



Ilustración 8 Nanosílice en polvo
Fuente. (Cornejo, 2015)

8.2.5.2. Óxido de hierro (Nano-Fe₂O₃)

Se ha encontrado que el Nano-Fe₂O₃ proporciona al hormigón capacidades de autodetección y mejora su resistencia a la compresión y a la flexión. Se encontró que la resistencia eléctrica volumétrica del mortero de cemento con nano-Fe₂O₃ cambia con la carga aplicada, lo que demuestra que el mortero con nano-Fe₂O₃ podría detectar su propio esfuerzo de compresión. Dichas capacidades de detección son valiosas para la monitorización de la salud estructural en tiempo real y para la construcción de estructuras inteligentes ya que no implican el uso de sensores integrados o conectados (Sanchez & Sobolev, 2010)



Ilustración 9 Nano Fe₂O₃ en polvo
Fuente. (Cornejo, 2015)

8.2.5.3. Óxido de titanio (Nano-TiO₂)

El Óxido de titanio o TiO₂ es un mineral natural. El Nano-TiO₂ es un material aditivo en nanopartículas de óxido de titanio y junto con el nano-SiO₂ son los aditivos más utilizados en los materiales de construcción. Nano-TiO₂ se ha demostrado ser muy eficaz para la autolimpieza del hormigón y proporciona el beneficio adicional de ayudar a

limpiar el medio ambiente. El hormigón que contiene nano-TiO₂ actúa desencadenando una degradación fotocatalítica de contaminantes, como NO_x, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles (COV), clorofenoles y aldehídos procedentes de emisiones industriales y de vehículos. Algunos fabricantes ya están produciendo productos de hormigón "autolimpiantes" y "desinfectantes" para su uso en fachadas de edificios y en materiales de pavimentación para carreteras y se han utilizado en Europa y Japón (por ejemplo, la Iglesia del Jubileo en Roma, Italia, un tramo de carreteras de 230 m de largo fuera de Milán, Italia). A parte de impartir propiedades autolimpiantes, algunos estudios han demostrado que el nano-TiO₂ puede acelerar la hidratación temprana del cemento Portland, mejorar las resistencias a la compresión y la flexión y mejorar la resistencia a la abrasión del hormigón. Sin embargo, también se encontró que el envejecimiento debido a la carbonatación puede dar como resultado la pérdida de la eficacia catalítica (Sanchez & Sobolev, 2010)



Ilustración 10 Nano-TiO₂ en polvo
Fuente. (Cornejo, 2015).

8.2.5.4. Óxido de aluminio (Nano- Al_2O_3)

(Sanchez & Sobolev, 2010) Nos habla de este material y nos dice que “Se ha demostrado que Nano- Al_2O_3 aumenta significativamente el módulo de elasticidad (hasta 143% en una dosificación del 5%) pero tiene un efecto limitado sobre la resistencia a la compresión, y no se han observado mejoras en otras propiedades”



Ilustración 11 Nano- Al_2O_3 en polvo

Fuente. (Cornejo, 2015)

8.2.6. Incorporación de Nanotubos y Nanofibras de Carbono.

Los nanotubos / nanofibras de carbono son los candidatos más potenciales para su uso como nanorefuerzos en materiales a base de cemento. Presentan una resistencia extraordinaria con módulos de elasticidad respecto a la resistencia a la tracción, y tienen propiedades electrónicas y químicas únicas. Los nanotubos / nanofibras de carbono, por lo tanto, parecen estar entre los nanomateriales más prometedores para mejorar las

propiedades mecánicas de los materiales basados en cemento y su resistencia a la propagación de grietas mientras que proporcionan propiedades tan novedosas como el blindaje del campo electromagnético y la autodetección (Sanchez & Sobolev, 2010).

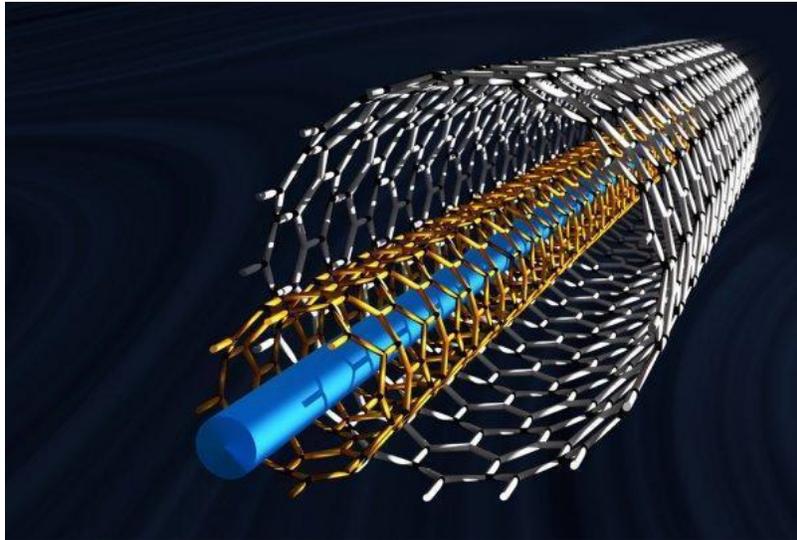


Ilustración 12 Nanotubos de Carbono
Fuente. (Hu, 2016).

Los nanotubos de carbono (NTC's) son alótropos del carbono, como el diamante, el grafito o los fullerenos, fueron descubiertos accidentalmente por S. Iijima, ya que en un principio se pensó que eran fullerenos. Su estructura puede ser procedente de una lámina de grafeno enrollada sobre sí misma. Debido al grado de enrollamiento, y la manera como se conforma la lámina original, muestran distinto diámetro y geometría interna (Marlene, Lluvia, & Aidé, 2012)

Existen diferentes tipos de NTC's en función de las capas de grafito que los forman, estos pueden ser nanotubos de carbono de pared sencilla (SWCNT's por sus siglas en inglés) y

nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT's) que pueden considerarse como capas de láminas de grafito enrolladas concéntricamente donde cada átomo de carbono está unido con otros tres mediante hibridación (Marlene, Lluvia, & Aidé, 2012).

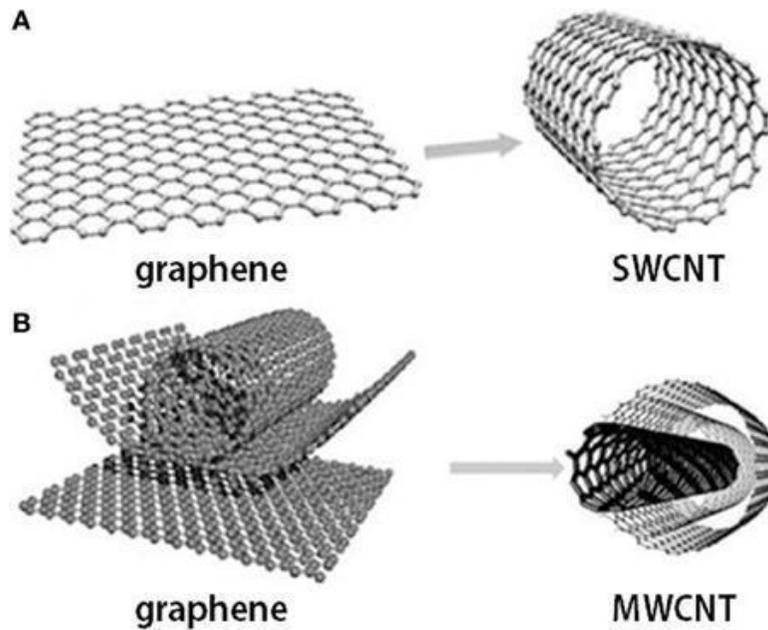


Ilustración 13 Nanotubos de pared simple y pared múltiple
Fuente. (Vidu, y otros, 2014).

(Rio, 2011) “Las nanofibras de carbono (CNFS) son un tipo de material sintético de carbono nanoestructurado, de naturaleza similar al grafito, con ventajosas propiedades para diversos campos de aplicación”

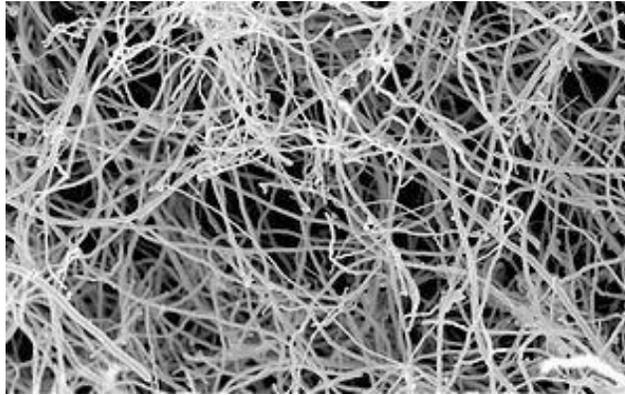


Ilustración 14 Nanofibras de Carbono

Fuente. (Guadagno, 2013).

La mayoría de los esfuerzos de investigación se han centrado en CNT en comparación con CNF y se han realizado en pastas de cemento. Solo algunas investigaciones se han ocupado de la incorporación de CNT en el mortero. Uno de los principales desafíos es la adecuada dispersión de CNT / CNF en pasta de cemento, en parte debido a su alta hidrofobicidad y en parte debido a su fuerte auto atracción. La incorporación de las propiedades mecánicas únicas de CNT / CNF en compuestos de cemento ha demostrado ser bastante compleja y hasta hoy se han obtenido resultados mixtos. Sin embargo, se ha demostrado una buena interacción entre los CNT / CNF y las fases del cemento, lo que indica la posibilidad de uniones, de grietas y una mayor transferencia de esfuerzos (Sanchez & Sobolev, 2010)

8.2.7. Impacto del uso de nanomateriales sobre la seguridad.

8.2.7.1. Riesgos

Generalmente, podríamos decir que el riesgo para la salud humana interviene, por una parte, por el riesgo basado en la función de la toxicidad de los materiales utilizados, y, por otra parte, originado por el nivel de exposición en estos materiales, dependiendo de los distintos tipos del trabajo. Las amenazas propias de los materiales fabricados están basadas principalmente en los siguientes parámetros (Aguilar, 2015)

8.2.7.1.1. El tamaño

(Aguilar, 2015) Nos indica que “Donde la gran diferencia entre el área superficial del material a escala nano con la de la escala micro y la mayor reactividad de la nano por unidad de masa, generan unas características física-químicas muy diferentes”

8.2.7.1.2. La forma

(Aguilar, 2015) “La forma de la partícula es un factor también muy importante porque ya que afecta su toxicidad. Se ha demostrado que las partículas en forma de fibra normalmente son más tóxicas de las con forma esférica”



8.2.7.1.3. La solubilidad

(Aguilar, 2015) “Al desleír el nanomaterial en el organismo se comportaría como un material de tamaño no nano”

8.2.7.1.4. Agregación o aglomeración

(Aguilar, 2015) “Debido al estado de agregación o aglomeración, se podría considerar que se aumentaría la posibilidad de exposición al material”

8.2.7.1.5. La estructura

(Aguilar, 2015) “Por la misma razón de peligro de exposición al material, se podría considerar que la estructura amorfa o cristalina afectaría el volumen de la posibilidad de este riesgo”

8.2.7.2. Exposición a nano-materiales.

Es prácticamente difícil poder considerar el nivel de la exposición real en los nanomateriales ya que normalmente están embebidos en una matriz y así como aditivos forman parte directamente de la estructura de otros productos. Para poder darse cuenta de la exposición deberían estos nano-materiales liberarse de su matriz al ambiente. Esta liberación depende principalmente del factor de la solubilidad, y debido a esto se podría considerar que la mayor exposición sería en las operaciones que presentan en forma de polvo, niebla y en general en aerosoles (Aguilar, 2015)



Unos ejemplos de trabajos donde que podríamos ver esta exposición en la construcción son:

- Recepción, mezclado y preparación de nanomateriales antes de la aplicación.
- Aplicación de acabados de superficies.
- Operaciones mecánicas de elementos basados en nanomateriales.
- Gestión de residuos de materiales de construcción que contienen nano-materiales.

8.2.7.3. Toxicidad en los nano-materiales.

Para poder conseguir una adecuada valoración de los riesgos toxicológicos reales que se incluyen en los materiales de construcción se requiere un estudio relacionado en más que una ciencia. Se tendría que investigar en toxicología, ciencia de los materiales, medicina, biología molecular, bioinformática, etc. (Galera, 2015).

Hoy por hoy no se encuentra la suficiente información sobre la toxicidad de materiales, por lo que se considera que la forma de clasificación es de la inducción del estrés oxidativo.

En la tabla 2 se muestran estudios toxicológicos sobre algunos nanomateriales usados en la industria.

Tabla 2 Riesgos derivados de nanomateriales.

Nanomateriales	Efectos
Dióxido de titanio (TiO ₂)	Inflamatorios y Genotóxicos
Dióxido de silicio (SiO ₂)	Baja toxicidad sin fibrosis progresiva
Óxido de zinc (ZnO)	Estrés oxidativo en el tejido pulmonar y daño en el ADN
Nanotubos de carbono (CNT)	Toxicidad pulmonar: inflamación, fibrosis y granulomas epitelioides
Óxido de cobre (CuO)	Mayor toxicidad. Efectos tóxicos producidos por las partículas
Plata (Ag)	nanométricas. Se distribuyen por la sangre, pudiéndose acumular en diversos tejidos y producir efectos en el hígado y el sistema inmunológico.

Fuente: (Aguilar, 2015).

Medidas preventivas organizativas (Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2015)

- Limitar al mínimo necesario la presencia de trabajadores durante las operaciones en las que se pueda generar polvo y se puedan liberar nanomateriales.
- Delimitar y señalar los puestos de trabajo donde se emite polvo que puede contener nanomateriales.
- Se recomienda que la limpieza de los puestos de trabajo con presencia de nanomateriales se realice por aspiración, utilizando para ello aspiradores industriales equipados con filtros HEPA H14 o filtros ULPA, o mediante vía húmeda. Evitar en estos puestos el barrido con cepillo o con aire comprimido.
- Prestar mayor atención a las medidas de higiene personal en las pausas y al finalizar las tareas con presencia de nanomateriales.
- Garantizar el adecuado mantenimiento de los equipos de trabajo y de los equipos de extracción y ventilación, especialmente en los lugares cerrados (túneles, depósitos, arquetas, etc.).
- Realizar el transporte en la obra de los productos en polvo en envases cerrados y correctamente identificados.
- Dar formación e información a los trabajadores sobre los materiales de la construcción que puedan suponer exposición a nanomateriales, los riesgos asociados y las medidas preventivas a adoptar.

Fuente: (Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2015)

8.3. EL ÓXIDO DE GRAFENO (GO) USADO COMO ADITIVO NANOTECNOLÓGICO

El cemento es el material aglutinante básico utilizado en el hormigón con el principal inconveniente de ser frágil y de baja resistencia a la tracción. Con el tiempo, estos inconvenientes se solucionaron con la introducción de refuerzos de acero y fibras. Pero la introducción de nanomateriales en compuestos a base de cemento ha mejorado las propiedades como dureza, flexión, tracción y durabilidad mejorando a nano escala del hormigón. La nanotecnología ha demostrado que los compuestos se pueden modificar / rediseñar con una pequeña inclusión de nanomateriales (Balaguru & Chong, 2006).

La adición de Óxido de Grafeno (GO) en compuestos a base de cemento tiene un efecto adverso en la trabajabilidad debido a su gran superficie que tiende a absorber más moléculas de agua para mojarse y un tamaño lateral voluminoso con alta capacidad de retención de agua creado debido al grupo de nano hojas de Óxido de Grafeno (GO) (Devi & Khan., 2020).

Sin embargo, las características únicas del Óxido de Grafeno (GO) bidimensional, como su superficie rugosa y su grupo funcional, influyen favorablemente en el comportamiento mecánico del cemento. La introducción de pequeñas cantidades de Óxido de Grafeno tan pequeñas como 0,05 % en peso aumenta la resistencia a la compresión en un 15–33% y la resistencia a la flexión en un 41–59%. Como derivado del grafeno, el Óxido de Grafeno (GO) consiste en una red de carbono hexagonal que lleva grupos funcionales hidroxilo, epóxido,

carbonilo y carboxilo. Estos grupos funcionales que contienen oxígeno hacen que las láminas de Óxido de Grafeno sean hidrófilas y altamente dispersables en agua. Por lo tanto, las láminas Óxido de Grafeno exhiben un módulo elástico y una resistencia a la tracción más baja que el grafeno. El módulo elástico medio de 32 GPa y la resistencia a la tracción de 130 MPa siguen siendo superiores al cemento.

La aplicación práctica de los nanotubos requiere el estudio de la respuesta elástica, el comportamiento inelástico y pandeo, límite elástico y fractura. Los nanotubos son la fibra más rígida conocida, con un módulo de Young medido de 1,4 TPa y un alargamiento hasta la rotura de 20-30%, que proyecta una resistencia a la tracción muy por encima de 100 GPa (posiblemente más alta), con mucho la más alta conocida. A modo de comparación, el módulo de Young del acero de alta resistencia es de alrededor de 200 GPa y su resistencia a la tracción es de 1 a 2 GPa.

Los investigadores han descubierto que los nanotubos de carbono pueden llenar los vacíos que se producen en el hormigón convencional. Estos huecos permiten que el agua penetre en el hormigón y cause grietas, pero si se incluyen nanotubos en la mezcla, se puede detener el agrietamiento.

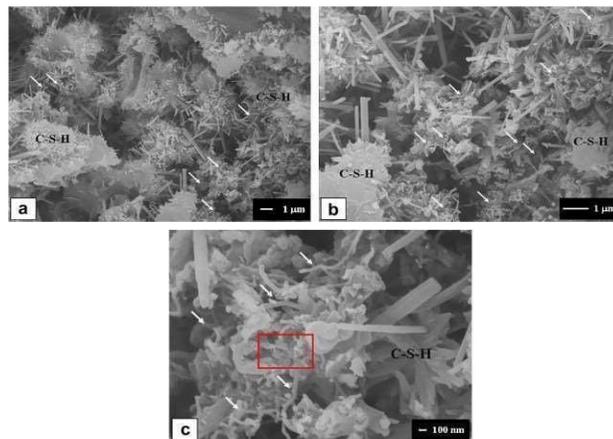


Ilustración 15 imágenes de nanotubos de carbono – compuestos de cenizas volantes
Fuente. (ScienceDirect, 2010)



Últimamente, las investigaciones han ido adoptando los nanomateriales como un medio de refuerzo viable para cementar la matriz.

Siguiendo la hipótesis sobre el nanomaterial a base de carbono que puede mejorar la estructura de poros de la matriz de cemento de tal manera que mejoraría la permeabilidad del hormigón para resistir la entrada de fluidos y los posteriores ataques químicos, esto se suma a la influencia química y eléctrica del Óxido de Grafeno (GO) en la matriz de cemento, que podría desempeñar un papel importante para impedir el proceso de corrosión del refuerzo de acero. Este nuevo material nanométrico tiene una influencia prometedora en el desarrollo de materiales a base de cemento.

Analizando la exposición a la que se ve el hormigón al tener una resistencia alta a temperaturas elevadas, este se va deteriorando cada vez que se expone a altas temperaturas y sobre los cambios irreversibles que se producen después de ser expuestos a unas temperaturas determinadas y a unos tiempos considerables. Por lo tanto, se necesitan más investigaciones para comprender los efectos de las altas temperaturas en materiales a base de cemento, y así poder desarrollar nuevas alternativas a su resistencia térmica.

En la última década, el uso de nanomateriales, como aditivos para mejorar la resistencia térmica de los compuestos cementosos, ha llamado la atención de los investigadores. El uso de nanomateriales ha sido ampliamente promovido debido a su reactividad superior, en comparación con materiales similares disponibles a microescala. Sin embargo, la incorporación

de nanomateriales podría dar lugar a una disminución notable de la consistencia y compactación indeseable de la matriz de cemento que da como resultado una matriz de cemento de baja permeabilidad, aumentando así la susceptibilidad a agrietarse durante la carga térmica. Por lo tanto, aunque existen numerosos artículos de revisión relacionados con los efectos de las nanopartículas en compuestos a base de cemento en el estado ambiental (sin calentar) faltan artículos de revisión que resuman el efecto de los nanomateriales en el rendimiento de los compuestos cementosos en condiciones de temperatura elevada.

8.3.1. Presencia del óxido de grafeno

Se han utilizado nuevos materiales de carbono como: fibras de carbono, nanotubos de carbono y negro de carbón para incrementar la resistencia de los compuestos de cemento, no obstante, los materiales de reforzamiento como fibras de carbono y los nanotubos de carbono solo inciden en el aspecto físico en los compuestos de cemento, es decir no participan en la hidratación y modificación de la microestructura del cemento, ni en la estructura porosa y cristalina de la pasta de cemento. Además, resulta compleja la dispersión por parte de las fibras de carbono y los nanotubos de carbono en la matriz de cemento ya que la superficie de estos materiales de reforzamiento es hidrófoba. Por ende, es importante hallar un nuevo material que no solo se disperse fácilmente en agua, sino que además incremente la tenacidad de la pasta de cemento por medio de las modificaciones de la microestructura (Espinoza, 2018)



Datos importantes para la realización de estudios con el fin de hallar nuevos materiales que no simplemente dispersen fácilmente el agua si no con el fin de incrementar tenacidad de la pasta de concreto por medio de modificaciones de la microestructura:

- Tipo de síntesis química de óxido de grafeno.
- Dosificación de concreto.
- Tipo de cemento.
- Tipo de agregado.
- Aditivos.
- Tiempos de fraguado.
- Métodos de incorporación para el óxido de grafeno en concreto.
- Porcentaje de óxido de grafeno en concreto.

El óxido de grafeno es un material que posee muchas ventajas como material de reforzamiento para mejorar las propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas (Wang, y otros, 2015).



Capítulo 9

ANÁLISIS DE RESULTADOS

9.1. Óxido del grafeno (OG)

El objetivo principal de la investigación fue obtener información de primera mano acerca de la aplicación que tiene el Óxido de grafeno (OG) como aditivo para el concreto hidráulico, en donde su uso en diferentes cantidades genera cambios tanto en la trabajabilidad de la mezcla como en la resistencia a la flexión y compresión. A lo largo del texto, se consideran las diferentes investigaciones en donde se integran las diferentes perspectivas y técnicas usadas del material que se estudió.

Recientemente, el óxido de grafeno (OG), un material derivado del grafeno, ha ganado considerable atención para su posible uso en materiales cementosos debido a su buena dispersión en agua, alta relación de aspecto y excelentes propiedades mecánicas. La adición de un muy bajo fracción de Óxido de Grafeno (OG) puede aumentar las propiedades mecánicas, mejorar el módulo de Young, mejorar las propiedades de transporte, y mejorar la resistencia a la congelación-descongelación de hormigón. Estas mejoras se pueden atribuir a la aceleración de la hidratación del cemento y al aumento de la producción de silicato de calcio hidratado (C-S-H) por efectos de nucleación para el Óxido de Grafeno (OG), que puede proporcionar sitios de adsorción para el agua y el cemento (Sen, Zhuo, Jing, Yong, & Xianming, 2019).



OG es un nanomaterial novedoso con excelentes propiedades mecánicas y buena dispersabilidad. El módulo de elasticidad y la resistencia intrínseca de Óxido de Grafeno se estiman en aproximadamente 300 GPa y 112 GPa, respectivamente. Los comportamientos mecánicos y las propiedades de durabilidad para materiales a base de cemento mejoran (aunque en diferentes grados), debido a la adición de una cantidad moderada de Óxido de Grafeno (OG) (Lanzhen & Rongxing, 2020).

La adición de Óxido de Grafeno en los compuestos a base de cemento tiene un efecto adverso en la trabajabilidad debido a su gran superficie que tiende a absorber más moléculas de agua para mojarse y un tamaño lateral voluminoso con alta capacidad de retención de agua creado debido al grupo de nano hojas de Óxido de Grafeno.

Independientemente de la desventaja mencionada anteriormente de Óxido de Grafeno, la incorporación de un pequeño contenido de Óxido de Grafeno de aproximadamente 1% en peso de cemento ha mejorado la resistencia a la compresión en un 63% a los 28 días (Devi & Khan., 2020).

Estas explicaciones de la adición del Óxido de Grafeno (OG) al concreto hace referencia a las diferentes pruebas que se han realizado al material no solo en la aplicación de la construcción, sino también a las diferentes Ciencias que estudian las propiedades del grafeno tanto físicas como químicas. Las tres explicaciones se refieren a los principales y más importantes cambios que sufre el concreto hidráulico al adicionarse el Óxido de Grafeno (OG) y

las diferentes teorías que se pueden plantear en la cantidad de adición y los diferentes resultados deseados u obtenidos respecto a los diversos estudios realizados.

Relacionando las explicaciones de los diferentes autores, se puede deducir que el Óxido de Grafeno (OG), además de ser un material que aumenta la resistencia a la compresión, puede aumentar la resistencia a tensión, su resistencia térmica y reduce los espacios vacíos.

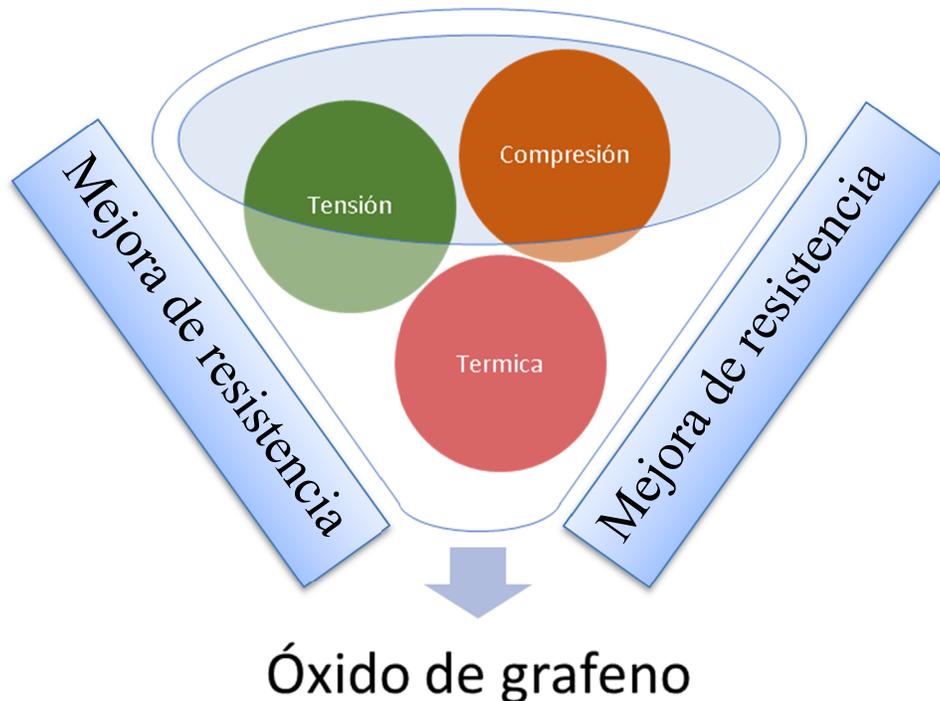


Ilustración 16 Mejoras de resistencia en concreto hidráulico al agregar Óxido de grafeno (OG)
Fuente. Propia

9.2. Comparación de estudios realizados para mejorar la resistencia a la compresión.

Después de haber considerado los cambios que producen el uso del óxido de grafeno como aditivo nanotecnológico para el concreto hidráulico, se realizó una recopilación de ensayos hechos con dicho material en la aplicación del concreto para sacar conclusiones que podrían ser importantes para determinar la viabilidad y marcar un inicio del uso y estudio de otras aplicaciones para el óxido de grafeno.

En un estudio realizado por Devi y Khan, y publicado en la Journal of Building Engineering en el 2020 muestran el estudio que realizaron en la aplicación del óxido de grafeno como aditivo nanotecnológico en concreto hidráulico. En este estudio se utilizaron 5 mezclas con diferentes porcentajes de Óxido de Grafeno en donde la mezcla 1 (M1) cuenta con 0% de Óxido de grafeno, seguido de la mezcla 2 (M2) con 0.02% de Óxido de grafeno, una mezcla 3 (M3) con 0.04% de Óxido de Grafeno, con una mezcla 4 (M4) con 0.06% de Óxido de grafeno y finalmente una mezcla 5 (M5) con una cantidad máxima de 0.08% de Óxido de grafeno.

Los ensayos a compresión que realizaron con estos cinco tipos de mezclas se llevaron a cabo con periodos de curado para 7, 28, 56 y 90 días en donde las mezclas con GO tuvieron mejoras de resistencia en relación con el aumento de la concentración de GO en las mezclas de concreto hidráulico a diferentes tiempos de secado.

Lin y col. (2016) confirmaron que GO actúa como catalizador y ayudó a acelerar la hidratación del cemento sin causar ningún cambio en los grupos funcionales oxigenados adjuntos en las nanohojas de GO

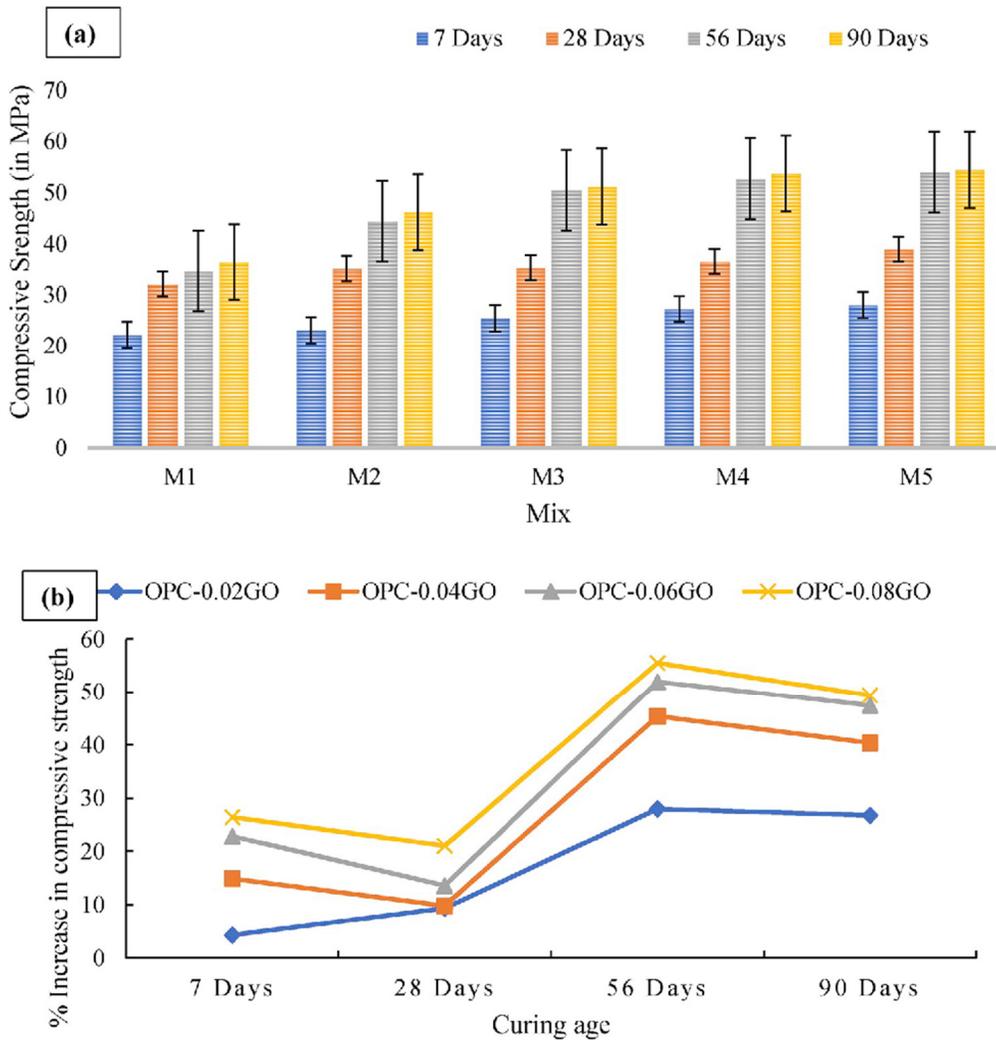


Ilustración 17 Resistencia a la compresión para todas las mezclas
Fuente. (Devi & Khan., 2020)

En la ilustración 17 se exhibe la máxima resistencia a la compresión a 90 días de fraguado con un incremento de 49% en comparación con la mezcla sin GO y se observa un aumento de 26% en mezclas con el mínimo GO adicionado.

En la ilustración 18 se muestra la comparación de resistencias donde se utilizan cuatro mezclas de 0, 0.01, 0.05 y 0.1% respectivamente en relación con el peso del cemento para realizar pruebas de compresión. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se compararon específicamente con la mezcla que no contiene GO.

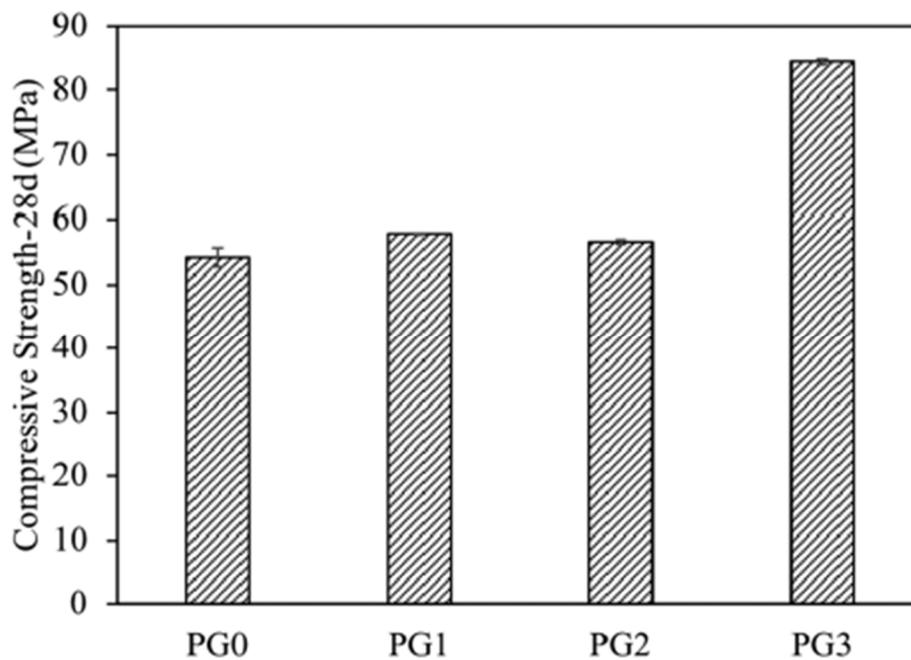


Ilustración 18 Comparación de resistencia a compresión respecto a mezcla sin GO
Fuente. (Sen, Zhuo, Jing, Yong, & Xianming, 2019).



La mejora en la resistencia a la compresión en las mezclas de concreto hidráulico que fueron modificados por el Óxido de Grafeno se atribuye no solo a las propiedades mecánicas del mismo aditivo, sino también a la mejora de hidratación del cemento. Además, el tamaño del Oxido de grafeno mezclado facilita la transferencia de carga y resiste la generación de grietas en el concreto. Por lo que se puede obtener una estructura más fuerte a nivel microscópico que influye en una resistencia aumentada a nivel macroscópico.

En el trabajo realizado por Lanzhen y Rongxing (2020). Se utiliza el Óxido de Grafeno (GO) para mejorar las propiedades del concreto hidráulico de ultra alto rendimiento con áridos reciclados finos, esta es una opción que no solo abarca un material nanotecnológico relativamente nuevo sino también uno de los métodos más eficientes para reciclar los desechos en la construcción y demolición, sin embargo, el uso del agregado reciclado en el concreto representa una disminución en las propiedades en comparación con el concreto normal. Por lo tanto, el estudio presenta como objetivo el uso de Oxido de Grafeno (GO) para mejorar las propiedades del concreto con áridos reciclados.

En las pruebas que se realizaron se tomó una mezcla de concreto con agregados de río y se realizó la comparación con respecto a las mezclas con agregados reciclados sin y con diferentes porcentajes de Oxido de Grafeno (0.02, 0.04, 0.06 y 0.08%) en relación con el peso del cemento.

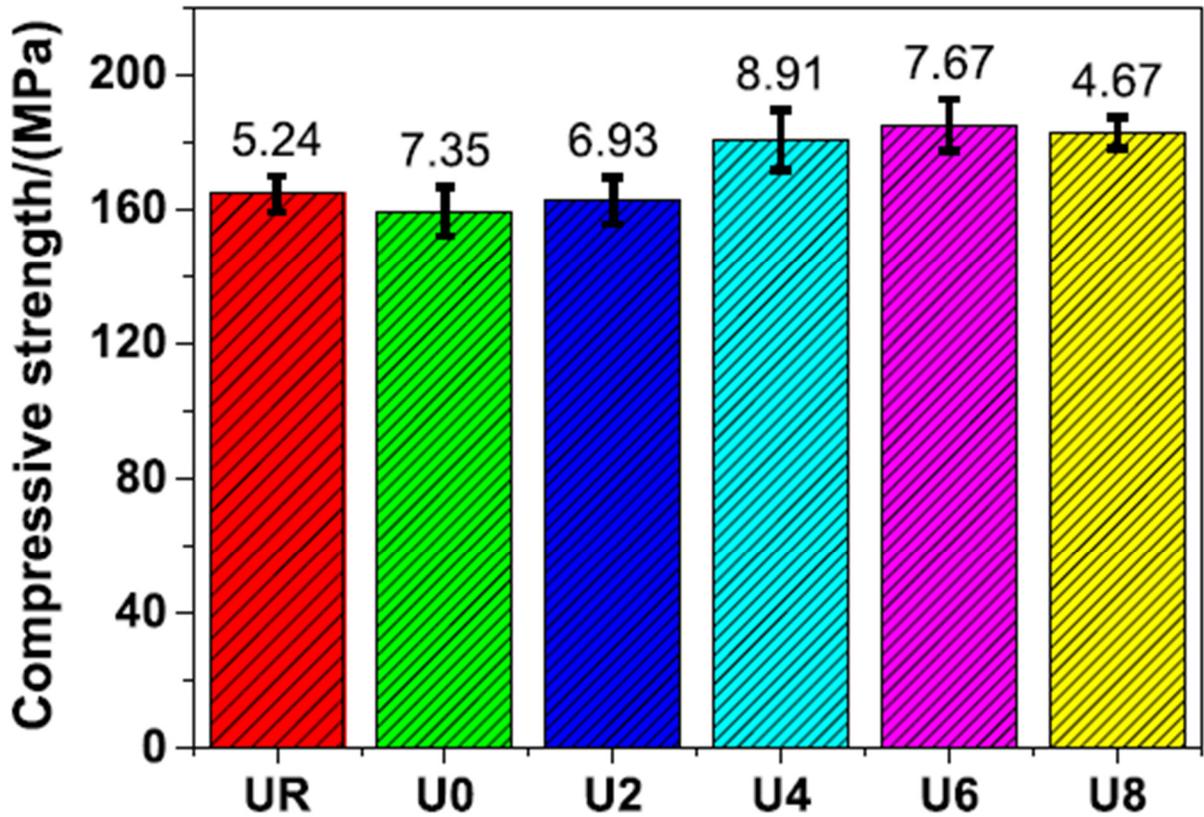


Ilustración 19 Comparación de resistencia a compresión entre concreto con agregado de río y concreto con agregado reciclado con y sin GO
Fuente.: (Lanzhen & Rongxing, 2020)

Teniendo en cuenta la Ilustración 19 donde se compara la resistencia a la compresión, se puede observar que para las mezclas de concreto con varios contenidos de GO mostraron una evidente mejora en la resistencia a la compresión en comparación con las mezclas sin GO, lo que sugiere que la resistencia a la compresión del concreto con agregado reciclado puede mejorarse mediante la adición de este material. Además, la resistencia a la compresión de la mezcla con agregado reciclado sin GO (U0) se redujo en comparación con la mezcla de concreto que tenía agregada de río natural, y las resistencias para las mezclas que tenían GO (U2, U4, U6 y U8) en comparación con las mezclas con agregado reciclado tuvieron un aumento en la resistencia a la



compresión. Pero esta ilustración también indica que la resistencia a la compresión no tuvo un crecimiento lineal con respecto al contenido de GO. Sino también que había un contenido optimo el cual fue de 0.06%. (Lanzhen & Rongxing, 2020)

9.2. Precio del grafeno

Si bien es cierto que hace algunos años cuando recién se da a conocer el grafeno y sus derivados no había muchas personas interesadas en comercialización de este material, en el 2.017 un gramo de grafeno tenía el costo promedio entre 200 y 300 dólares y al mayoreo podía llegar a negociarse hasta en 50 dólares la misma medida. Sin embargo, al especializarse en un estándar de material de grafeno, los emprendedores mexicanos Antonio Miramontes y Luis Caballero, lograron reducir el precio a 30 dólares por gramo. (Expansion, 2017)

“Con la primera corrida de costos, de los 300 dólares, se puede dividir entre 10. Podemos llegar a 20 o 30 dólares por gramo (...) vimos que en México sí hay investigación en el tema, pero no hay una empresa que lo haga localmente. Lo que queremos es que México no se vuelva dependiente de aplicaciones de grafeno de otros países en 10 años”

Miramontes en entrevista con Expansión (Expansion, 2017)

Tomando en cuenta el precio del grafeno y al compararlo con otros aditivos en el mercado, vemos que el grafeno cuenta con varios niveles de pureza y producción, encontrando

así varios productores en Estados Unidos como “Graphenea” y en España como “The graphene box” y “applynano”

<u>Graphenea</u>	<u>Applynano</u>	<u>The graphene Box</u>
Óxido de grafeno reducido: 97€ 1g.	Oxido de grafeno reducido: 100€ 1g	Óxido de grafeno reducido: 224,94 1g
Óxido de grafeno: 97€ 1g	Óxido de grafeno: 67€ 1g	Óxido de grafeno: 115,50€ 1g

Ilustración 20 Costo del grafeno y oxido de grafeno en diferentes fuentes en Euros (A peso colombiano COP entre 4.297 y 4.486 abril, 2021)

Fuente. (PlanetaGrafeno, 2020)

El grafeno se está dando a conocer mucho más y esto queda en evidencia en la ilustración 21, donde muestra el crecimiento en estudios realizados al grafeno desde su aparición gracias a André Geim y Konstantin Novoselov en 2010.

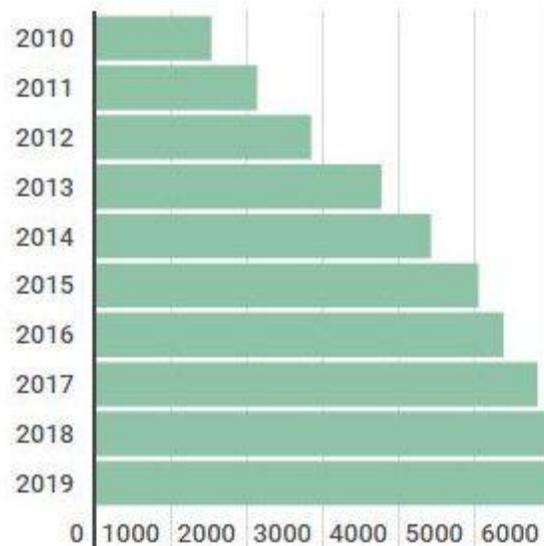


Ilustración 21 Gráfico que habla sobre los estudios del grafeno realizados desde su aparición. Este gráfico se realizó antes de que acabara el 2019

Fuente. (PlanetaGrafeno, 2020)

Si bien es cierto que el grafeno viene en un auge y crecimiento global según el Market Research Future (MRFR) se pronostica que el mercado global de grafeno crecerá 43.0% CAGR (tasa de crecimiento anual compuesto) debido a la creciente demanda en varias industrias de usuarios finales. (PlanetaGrafeno, 2020)

9.3. Viabilidad

Se pretende en este punto realizar un análisis comparativo buscando la viabilidad económica del grafeno usado como aditivo para el concreto hidráulico.

Para esto se toma como referencia un análisis de precio unitario del concreto de resistencia 3000 PSI tomado de AUP gobernación de Risaralda del año 2.019, adaptándolo a nuestras necesidades para luego compararlo con el precio de la misma resistencia, pero incluyendo el ítem óxido de grafeno

Ilustración 22 Análisis de precios unitarios concreto 3000 PSI

Concreto de 20,7 Mpa (3000 psi) (producción)	Unidad	Cant.	Valor unitario	Desperdicios	Valor parcial
Cemento gris saco por 50 kilos, incluye cargue, descargue y transporte	Und	7	\$ 23,000	1.03	\$ 165,830
Arena	M3	0.55	\$ 60,000	1.03	\$ 33,990
Triturado	M3	0.84	\$ 65,000	1.03	\$ 56,238
Agua	Lt	180	\$ 12	1.03	\$ 2,225
Cuadrilla C 1 Of + 7 Ay (jornal + prestaciones)	Dia	1.00	\$ 473,705	0.15	\$ 71,056
Herramienta menor (% mano obra)	%MO	0.10	\$ 71,056	0	\$ 7,106
Transporte material	M3-km	1.00	\$ 1,050	1.39	\$ 1,460
Concretadora gasolina de 1 o 1 1/2 sacos	Dia	1.00	\$ 55,000	0.10	\$ 5,500
Costo total					\$ 343,404

Fuente. Propia

Conociendo el valor de este ítem, se procede a realizar el seguimiento por medio de opciones de búsqueda, donde se hace el hallazgo de:



Luoyang Advanced Material Co., Ltd, una empresa de alta tecnología ubicada en Henan, China que se centra en la investigación y el desarrollo de pocas capas de grafeno. Que produce sus productos y coopera de manera estrecha y constante con instituciones de investigación, universidades, laboratorios nacionales y gigantes corporativos innovadores en investigación y desarrollo de nanomateriales.

Esta empresa se compromete a proporcionar productos de la más alta calidad al precio más razonable para sus clientes que están investigando nanotecnología y han formado un ciclo completo de investigación, fabricación, marketing y servicio postventa.

Donde por medio de la web “Alibaba” se hace contacto con la empresa donde pauta el precio en \$15.00 dólares el gramo, teniendo en cuenta que la cantidad del oxido de grafeno necesario para este ejercicio va a ser de 0.06% por cada gramo de cemento utilizado. Se realiza el calculo

Ilustración 23 Análisis de precios unitarios concreto PSI usado el Óxido de grafeno como aditivo

Concreto de 20,7 Mpa (3000 psi) (producción)	Unidad	Cant.	Valor unitario	Desperdicios	Valor parcial
Cemento gris saco por 50 kilos, incluye cargue, descargue y transporte	Und	7	\$ 23,000	1.03	\$ 165,830
Arena	M3	0.55	\$ 60,000	1.03	\$ 33,990
Triturado	M3	0.84	\$ 65,000	1.03	\$ 56,238
Agua	l	180	\$ 12	1.03	\$ 2,225
Cuadrilla C 1 Of + 7 Ay (jornal + prestaciones)	Dia	1.00	\$ 473,705	0.15	\$ 71,056
Herramienta menor (% mano obra)	%MO	0.10	\$ 71,056	0	\$ 7,106
Transporte material	M3-km	1.00	\$ 1,050	1.39	\$ 1,460
Concretadora gasolina de 1 o 1 1/2 sacos	Dia	1.00	\$ 55,000	0.10	\$ 5,500
Óxido de Grafeno	gr	0.06%	\$ 55,301.40	0	\$ 11,613,294
Costo total					\$ 11,956,698

Fuente. Propia



Como se indica en la ilustración 23, Al realizar el cálculo nos damos cuenta que para la cantidad de 1 (uno) metro cubico de concreto usando como aditivo el óxido de grafeno se evidencia un incremento del precio hasta llegar a 11'956.698 (COP) 31.5 veces.

Teniendo en cuenta que para el uso del oxido del grafeno 0.06% del total de la cantidad de cemento transcurridos los 28 días tenemos aproximadamente un incremento en la fuerza de compresión de 15%, y teniendo nuestro concreto que era inicialmente de 3000 PSI lograr a incrementar a aproximadamente 3450 PSI

De esta manera se realiza la comparación con un concreto de 3500PSI tomado del APU del departamento de Risaralda del año 2.019 y adaptándolo a nuestro ejercicio

Ilustración 24 Análisis de precios unitarios para el concreto 3500 PSI

Concreto de 24,5 Mpa (3500 PSI) (producción)	Unidad	Cant.	Valor unitario	Desperdicios	Valor parcial
Cemento gris saco por 50 kilos, incluye cargue, descargue y transporte	Und	8.5	\$ 23,000	1.03	\$ 201,365
Arena	M3	0.60	\$ 60,000	1.03	\$ 37,080
Triturado	M3	0.80	\$ 65,000	1.03	\$ 53,560
Agua	l	190	\$ 12	1.03	\$ 2,348
Cuadrilla C 1 Of + 7 Ay (jornal + prestaciones)	Dia	1.00	\$ 473,705	0.15	\$ 71,056
Herramienta menor (% mano obra)	%MO	0.10	\$ 71,056	0.00	\$ 7,106
Transporte material	M3-km	1.00	\$ 1,050	1.40	\$ 1,470
Concretadora gasolina de 1 o 1 1/2 sacos	Dia	1.00	\$ 55,000	0.10	\$ 5,500
Costo total					\$ 379,485

Fuente. Propia

Y se puede evidenciar en las tablas presentadas anteriormente la comparación de precios. Sin embargo, en ninguno de estos análisis de precios unitarios (APU) se evidencian las demás propiedades brindadas por el óxido de grafeno.

9.4. Clasificación de aditivos para el concreto

Si bien es cierto que en Colombia los aditivos para ser utilizados en el concreto se rigen por la Norma Técnica Colombiana NTC 1299 – Concretos. Aditivos Químicos para Concreto. Se puede evidenciar que existen en el mercado una serie de productos no clasificados dentro de esta norma que son muy importantes y ampliamente empleados.

Los aditivos según la NTC 1299 se clasifican en:

- Tipo A: Plastificante. Permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una determinada consistencia del concreto.
- Tipo B: Retardante. Demora el tiempo de fraguado del concreto.
- Tipo C: Acelerante. Acelera tanto el fraguado como la ganancia de resistencia a edad temprana del concreto.
- Tipo D: Plastificante retardante. Permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una mezcla con determinada consistencia y retardar su fraguado.
- Tipo E: Plastificante acelerante. Permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una mezcla con determinada consistencia y acelerar tanto el fraguado como la resistencia a edad temprana.
- Tipo F: Superplastificante. Permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto.
- Tipo G: Superplastificante retardante. Permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto y además retardar su fraguado.
- Tipo H: Superplastificante acelerante. Permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto y acelerar tanto el fraguado como la resistencia a edad temprana.



Capítulo 10

CONCLUSIONES Y LOGROS

Para complementar el objetivo específico “ Determinar la viabilidad económica y de obtención del óxido de grafeno para la utilización en el país” se debe mencionar que la obtención del material en nuestra región se torna difícil en virtud de la carencia de industria de producción del mismo, ya que los productores que lideran el grafeno a nivel mundial están ubicados especialmente en las industrias de América del norte, respaldándose así de Asia pacifico que ocupa el segundo lugar en producción del material, utilizándolo en mayor parte en el sector de la electrónica y sistemas de comunicación.

La implementación de Oxido de Grafeno en concreto es un tema que no se ha llegado a abarcar en Colombia, esto nos presenta un nuevo campo de investigación y desarrollo, con esta investigación se pretende incentivar a las investigaciones futuras sobre nuevos materiales como lo es el Óxido de Grafeno, buscando la mejora especialmente del concreto hidráulico convencional al incursionar en la aplicación de nanotecnología, mejorando sus propiedades a partir de las partículas microscópicas.

Aunque en las pruebas que se mencionaron presentaban un descenso en la trabajabilidad, aún es aceptable y se recomienda seguir experimentando con diferentes cantidades para lograr una proporción optima en relación con los materiales comúnmente usados en Colombia.



Al tratar la estructura del concreto hidráulico a nivel molecular se puede llegar a disminuir la cantidad de refuerzo en acero necesario, ya que controlan las micro fisuras que se deterioran con el pasar del tiempo.

En cuanto al cumplimiento del objetivo general planteado en este trabajo de Determinar la viabilidad del óxido de grafeno al ser usado como aditivo para el concreto hidráulico debemos mencionar como principales observaciones que:

1. En cuanto a capacidad del elemento GO se determina que efectivamente es un material innovador y revolucionario que puede ser usado en la mejora o modificación de propiedades en el concreto hidráulico
2. La viabilidad de utilización del grafeno como aditivo para el concreto hidráulico se ve muy afectado por la ubicación geográfica en que nos encontramos, debido que hasta el momento no se encuentra una fuente confiable en la comercialización al sur del continente, y por lo tanto sus costos de obtención y transporte son elevados
3. Si bien es cierto que se puede trabajar con las investigaciones encontradas a la fecha, se recomienda la investigación más a fondo para la recolección de elementos probatorios y el estudio de tecnologías o métodos más efectivos para la incorporación del OG como aditivo para el concreto hidráulico.
4. Teniendo en cuenta los cálculos realizados para determinar la viabilidad económica para un metro cubico de mezcla se puede concluir que el material a pesar de ser viable técnicamente, no cumple económicamente ya que tiene un aumento del 3150



por ciento (31,5 veces) comparado con un concreto sin óxido de grafeno y con su misma resistencia.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, F. (2015). *Riesgos derivados de la exposición a nanomateriales en distintos sectores: construcción*. Madrid.
- Alkhateb, H. (2013). *Materials genome for graphene-cement nanocomposites for infrastructure applications*. Mississippi.
- Arnaú, J. (1995). *Metodología de la investigación en psicología*. Madrid.
- Balaguru, P., & Chong, K. (2006). *NANOTECHNOLOGY AND CONCRETE: RESEARCH OPPORTUNITIES*. Denver.
- Bosea, S., Khanraa, P., K., M. A., Kimc, N. H., & Leea, J. H. (2011).
- Castillo, F. (2012). *Introducción a los nanomateriales*. CUAUTITLÁN IZCALLI.
- Claire, S. (1980). *Métodos de Investigación en las Relaciones Sociales*. Madrid: RIALP.
- Cornejo, L. (15 de Septiembre de 2015). *Retrieved from Nuevas tecnologías y materiales*.
Obtenido de Aplicaciones de la nanotecnología a la industria de la construcción:
<https://nuevastecnologiasymateriales.com/aplicaciones-de-la-nanotecnologia-a-la-industria-de-la-construccion/>
- DelaPeña, P. R., García, A., Castellote, M., & Jiménez, E. (2018). La nanotecnología en la arquitectura: El grafeno. 170-174.
- Delgado, R. A. (2015). *GRAFENO (MATERIAL DEL FUTURO)*.
- Devi, S., & Khan., R. (2020). *Efecto del óxido de grafeno sobre el rendimiento mecánico y de durabilidad del hormigón*.



- Espinoza, J. E. (2018). *Evaluación del comportamiento en compresión de morteros reforzados con óxido de grafeno y costos inherentes al proceso productivo de la mezcla.* . Sambordon.
- Expansion. (14 de 06 de 2017). *Startup mexicana desarrolla grafeno a buen precio.* Obtenido de <https://expansion.mx/tecnologia/2017/06/13/startup-mexicana-desarrolla-grafeno-a-buen-precio>
- Galera, A. (14 de Febrero de 2015). *ORP Journal.* Obtenido de El impacto de la nanotecnología sobre la seguridad y la salud laboral:
<http://www.orpjournal.com/index.php/ORPjournal/article/view/16/41>
- Geim, A. K. (2009). Graphene: Status and Prospects. *Science*, 1530-1534.
- Gizmodo. (15 de 07 de 2013). *Graphene 'miracle material' could be toxic to humans.* Obtenido de <https://io9.gizmodo.com/graphene-miracle-material-could-be-toxic-to-humans-786847545>
- Graphenano. (Julio de 2017). *El grafeno: propiedades y aplicaciones.* Obtenido de Graphenano:
<https://www.graphenano.com/uploads/2017/11/Que-es-el-grafeno.pdf>
- Graphene-Rolling-Technologies, G. (18 de 11 de 2017). *Product, A More Seamless Graphene.* Obtenido de <https://grolltex.com/seamless-graphene-product/>
- Guadagno, L. (2013). *The role of carbon nanofiber defects on the electrical and mechanical properties of CNF-based resins.*
- Hernández, C., & Quiroz, D. M. (2015). *Grafeno: Estado del arte.* Nezahualcóyotl.
- Hernández, D. (2017). *Propiedades, características y efectos negativos del grafeno.* Obtenido de <http://www.danielhernandez.website/entradas/el-grafeno/>

- Hu, z. (2016). Physically unclonable cryptographic primitives using self-assembled. *Nature Nanotechnology*, 559–565.
- ID, I. y. (27 de 01 de 2018). *El grafeno y su potencial para ser el mejor material antibalas del futuro*. Obtenido de <https://invdes.com.mx/tecnologia/grafeno-potencial-mejor-material-antibalas-del-futuro/>
- Infografeno. (2021). *El Grafeno*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/elgrafenofuturoxd/como-funciona/sus-propiedades>
- Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo. (2015). *RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICION A NANOMATERIALES EN DISTINTOS SECTORES: CONSTRUCCION*. Madrid.
- Lanzhen, Y., & Rongxing, W. (2020). *Using graphene oxide to improve the properties of ultra-high-performance concrete with fine recycled aggregate*. Zhejiang.
- Mamani, H. C. (2017). *EFECTO DEL GRAFENO COMO ADITIVO NANOTECNOLOGICO EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO*. PUNO.
- Marín, J. A. (2015). *Microestructura del hormigón con adición de nano sílice*. .
- Marlene, L. A., Lluvia, I. L., & Aidé, S. G. (14 de Marzo de 2012). *Scientific Electronic Library Online*. Obtenido de Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-01952012000300002http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-01952012000300002
- Molina, M. L. (2013). *NANORESIDUO. INCORPORACIÓN EN MATERIALES DE BASE CEMENTO*. .



- Mundo, E. (09 de 07 de 2014). *Grafeno, La gran planta europea de grafeno*. Obtenido de <https://www.elmundo.es/economia/2014/09/03/5405ea82e2704e11118b459c.html>
- Pasquel, C. E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto*. Lima.
- Pearce, R., Iakimov, T., Andersson, M., Hultman, L., Lloyd Spetz, A., & Yakimova, R. (2011). Epitaxially grown graphene based gas sensors for ultra sensitive NO₂ detection. *Sensors and Actuators B* , 451–455.
- PlanetaGrafeno. (01 de 07 de 2020). *PRECIO DEL GRAFENO*. Obtenido de <https://planetagrafeno.com/precio-del-grafeno/>
- Polanco, J. A., Cavia, S. D., & García, C. T. (2021). *Materiales de construccion*. Santander.
- Poudyal, L. (2018). *Use of Nanotechnology in Concrete*. .
- Quesada, M. B. (2013). El papel de la investigación teórica en la construcción del conocimiento. En M. B. Quesada, *El papel de la investigación teórica en la construcción del conocimiento* (págs. 2-16).
- Rafael. (11 de 11 de 2013). *Kikiriki*. Obtenido de <http://www.kikiriki.org.ve/es-el-grafeno-el-arma-del-futuro/>
- Rio, D. S. (2011). *Estructura y propiedades de las nanofibras de carbono. Aplicacion como soporte de electro catalizadores*. Zaragoza.
- Rodríguez. (2012). *Obtención de hojas de óxido de grafeno para el desarrollo de nanocompositos poliméricos*. Monterrey nuevo león: Tesis de Doctorado.
- Rodríguez, P. Á., & Plaza, D. G. (2015). *DESARROLLO DE UN PROCESO DE SÍNTESIS*.
- Sanchez, F., & Sobolev, K. (2010). *Nanotechnology in concrete*.
- Sanchez, F., & Sobolev, K. (2010). *Nanotechnology in concrete*.



- Sánchez, J. T. (2010). *Grafeno: sueño o realidad de la nanotecnología*.
- Schollar, S. (2018). *Modelling and performance analysis of information dissemination in communication nanonetworks*. Obtenido de <https://www.semanticscholar.org/paper/Modelling-and-performance-analysis-of-information-Kantelis-Kavtélis/ecc2694a4c0c0fa1cf9acbe45626148d131843fb>
- ScienceDirect. (2010). *Resistencia a la compresión y microestructura de nanotubos de carbono: compuestos de cemento de cenizas volantes*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509309010880>
- Seas. (22 de 10 de 2012). *El Grafeno: propiedades, características y aplicaciones*. Obtenido de <https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-grafeno-propiedades-caracteristicas-y-aplicaciones/>
- Sen, D., Zhuo, T., Jing, Z., Yong, G., & Xianming, S. (2019). *Effect of admixing graphene oxide on abrasion resistance of ordinary portland cement concrete*.
- Vidu, R., Rahman, M., Mahmoudi, M., Enachescu, M., Poteca, T., & Opris, I. (2014). *Nanostructures: A Platform for Brain Repair and Augmentation*.
- Wang, Q., Wang, J., Lu, C., Liu, B., Zhang, K., & Li, C. (2015). *Influence of graphene oxide additions on the microstructure and mechanical strength of cement*. . Beijing.
- Wikipedia. (15 de 05 de 2021). *Richard Feynman*. Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Feynman
- Yoona, H. J., Junb, D. H., Yanga, J. H., Zhouc, Z., Yangb, S. S., & Chenga, M. M. (2011). *Carbon dioxide gas sensor using a graphene sheet*. . *Sensors and Actuators B*, 310–313.