

ESTADO DEL ARTE DEL USO DE NANOTECNOLOGÍA PARA PAVIMENTOS
HIDRÁULICOS Y FLEXIBLES EN COLOMBIA



JUAN DANIEL GUALTEROS MORALES



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

ESTADO DEL ARTE DEL USO DE NANOTECNOLOGÍA PARA PAVIMENTOS
HIDRÁULICOS Y FLEXIBLES EN COLOMBIA

JUAN DANIEL GUALTEROS MORALES

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Profesional de Ingeniería
Civil

Asesor

JUAN MANUEL SALGADO DÍAZ

Profesional

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

Autoridades Académicas

P. José Gabriel MESA ANGULO, O. P.

Rector General

P. Eduardo GONZÁLEZ GIL, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaría de División Sede Villavicencio

Ing. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN.

Decano Facultad de Ingeniería Civil

Dedicatoria

A mi talón de Aquiles, que desde el cielo me ha dado fuerzas y con su enseñanza guio mi futuro desde mucho antes de su partida, a mi padre, que gracias a su esfuerzo y valentía es ejemplo y permite el desarrollo de cada día de mi vida, a mi familia, amigos, y cada uno de los actores que han hecho posible este proceso que cada día se ve materializado en un logro.

Agradecimientos

Agradezco en primera instancia a Dios por guiar mis pasos para llegar a donde estoy. A mi madre y padre, los cuales me dieron la oportunidad de estudiar esta carrera universitaria con total sacrificio y así mismo poder culminarla de forma exitosa.

De la misma forma, agradezco a la Universidad Santo Tomás de Villavicencio y en especial, a los docentes que a través de sus experiencias y consejos ayudaron a formarme como profesional íntegro.

Contenido

	Pág.
Abstract.....	11
Glosario.....	12
Objetivo general.....	14
Objetivo específico	14
Justificación	15
Metodología	16
Marco Referencia.....	17
Marco Conceptual.....	17
Nanociencia y Nanotecnología	17
Estado del arte.....	19
Antecedentes	19
Nanotecnología en la construcción	19
Conceptos generales.....	21
Nanotecnología	21
Nanotubos de carbono (NTC).....	21
Dióxido de titanio	22
Características que se mejoran con la nano tecnología.....	22
Relación de la nanotecnología y el concreto.....	22
Riesgos del uso de la nanotecnología	23
Nanomateriales de construcción	23

Propiedades de los concretos nano tecnológicos de acuerdo a la nanopartícula	25
Aplicaciones de nanotecnología en pavimentos	27
Usos potenciales en infraestructura vial	27
Concreto	27
Asfalto.....	27
Diferentes usos.....	29
Futuras investigaciones.....	30
Contexto nacional	30
Usos potenciales.....	31
Nuevas oportunidades.....	32
Inversión en nanotecnología	32
Riesgos de la nanotecnología.....	32
Conclusiones	34

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Metodología	16
Tabla 2 Propiedades de nano partículas al concreto	25

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Nano tubos de sencilla y doble pared	21
Figura 2. Propiedades que mejora la nanotecnología	22
Figura 3 Proceso para obtener Nanoconcreto	24
Figura 4 Propiedades de nano partículas al concreto	23
Figura 5 Propiedades de un Asfalto modificado.....	28
Figura 6 Usos de Nano Pavimentos	29
Figura 7 Estudios próximos en nano tecnología a infraestructura vial.....	30
Figura 8 Usos potenciales de la nanotecnología en infraestructura vial	31
Figura 9 Riesgos de nano materiales	33

Resumen

La monografía a continuación, tiene por objeto principal realizar una revisión teórica documental respecto al uso de nano tecnología en pavimentos en Colombia y así su potencial uso en infraestructura vial, para lo cual se realiza un marco conceptual para contextualizar el tema en el marco nacional y así mismo un histórico a lo largo de la historia.

Además, se narran los diferentes beneficios de este material, y cómo se obtienen a partir de las diferentes metodologías presentes de la creación de un nano material a partir de nanopartículas. Cada uno de los procesos identifica la mejora en las diferentes propiedades en el resultado final. La monografía además presenta un análisis de los riesgos que pueden tener, la relación directamente con los pavimentos y con la infraestructura vial.

Es importante mencionar que el estado actual del desarrollo de proyectos de infraestructura vial con nano tecnología solo hacen parte de materia de estudio de la academia y de algunos centros de investigación, sin embargo, empresa ya hacen estudios y copian modelos de Europa donde inicialmente empiezan a desarrollar proyectos con estos materiales

Por su parte, se identifican los diferentes usos en pavimentos y cómo estos pueden complementarse con otros estudios las futuras investigaciones, algunas conclusiones y recomendaciones. Dando como finalidad el beneficio a largo plazo que presentan los materiales y a largo plazo refiriéndose desde un concepto financiero debido a su alta inversión inicial, pero con resultados de inmediato con repercusiones positivas en las propiedades y posteriormente con sus avances en materia de mantenimiento.

Reflejando no solo los diferentes logros que ya se han obtenido, sino la necesidad de seguir implementando mecanismos que permitan la inversión y el desarrollo experimental de cada uno de los avances

Tras todo el análisis, se logra identificar que las aplicaciones actuales de la nanotecnología ofrecen propiedades mayores a los materiales de la construcción, y analizando las investigaciones en proceso, parece seguro que el futuro viene mucho más comprometido.

Palabras Clave: Nanotecnología, nanociencia, pavimentos, propiedades.

Abstract

The main purpose of the monograph below is to carry out a documentary theoretical review regarding the use of nano technology in pavements in Colombia and thus its potential use in road infrastructure, for which a conceptual framework is made to contextualize the issue in the national framework and likewise a historical throughout history.

In addition, the different benefits of this material are narrated, and how they are obtained from the different methodologies present for the creation of a nanomaterial from nanoparticles. Each of the processes identifies the improvement in the different properties in the final result. The monograph also presents an analysis of the risks that they may have, the direct relationship with the pavements and with the road infrastructure.

It is important to mention that the current state of development of road infrastructure projects with nano technology is only part of the subject matter of the academy and some research centers, however, companies already carry out studies and copy models from Europe where they initially begin to develop projects with these materials

On the other hand, the different uses in pavements are identified and how these can complement future research with other studies, some conclusions and recommendations. Giving as its purpose the long-term benefit presented by the materials and in the long term referring from a financial concept due to its high initial investment, but with immediate results with positive repercussions on the properties and later with its advances in terms of maintenance.

Reflecting not only the different achievements that have already been obtained, but also the need to continue implementing mechanisms that allow investment and the experimental development of each of the advances

After all the analysis, it is possible to identify that the current applications of nano-technology offer greater properties to construction materials, and analyzing the ongoing investigations, it seems certain that the future is much more committed.

Key Word- Nanotechnology, nanoscience, pavements, properties.

Glosario

- (Nm): Nanómetro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)
- (C-S-H): Silicato Cálcico Hidrato
- (SiO₂): Dióxido de silicio
- (NS): Nano Sílice
- (nano-SiO₂): Nano-partículas de Dióxido de silicio
- (TiO₂): Dióxido de Titanio
- (nano-TiO₂): Nano-partículas de Dióxido de Titanio
- (Fe₂O₃): Óxido de Hierro
- (nano- Fe₂O₃): Nano-partículas de Óxido de Hierro
- (Al₂O₃): Oxido de Aluminio
- (nano- Al₂O₃): Nano-partículas de Oxido de Aluminio
- (CO₂): Dióxido de Carbono
- (Nanoarcilla): Nanomaterial compuesto por un mineral de arcilla con espesores de capa de un nanómetro.
- (CNT): Nanotubos de Carbono
- (CNF): Nanofibras de Carbono

Planteamiento del problema

En la actualidad, implementar tecnología en los materiales convencionales para optimizar su rendimiento es cada vez más común, ya que la búsqueda de una mejor y mayor calidad de vida a través del cuidado del medio ambiente, conlleva a pensar en la implementación de nuevas tecnologías (Polito, 2015), a pesar de los materiales que se implementan en la actualidad, como plastificantes y fibras, además de aditivos que mejoran el comportamiento y sus propiedades, ha sido la tecnología la clave para mejorar cualquier material en la construcción (Navarro & Forero, 2017). Razón por la cual de cómo la nanotecnología se toma con bastante seriedad y la implementación de dicha tecnología hace necesaria este tipo de documentos con el fin de actualizar y sintetizar la teoría en cuanto a las aplicaciones en pavimentos además de su comportamiento, con el fin de dar inicio a futuras investigaciones además de recopilar y actualizar la información.

Los pavimentos pueden ser mejorados de múltiples maneras, sin embargo, a nivel molecular estos elementos no conforman la isotropía del material garantizando que este trabaje de manera monolítica (Navarro & Forero, 2017), adicional a lo anterior es poco lo que se encuentra en investigación sobre nanotecnología en pavimentos, que llegue a aportar avances considerables en la construcción de carreteras mediante nanotecnología en pavimentos. (Mojica, 2014).

A lo anterior se suma la limitación que existe en la obtención y recopilación de la información (Martínez, 2019), lo cual se convierte en un obstáculo en el desarrollo de aplicaciones e investigaciones confiables para el desarrollo de estos temas. Esto a su vez, conlleva a que por tratarse de temas que se encuentran en estudio temprano, la monografía con una información limitada, dificulta en cierta medida los resultados, no obstante, se pretende una monografía con calidad e información veraz que permita la actualización y recopilación de información.

Con base en lo anterior se propone la siguiente pregunta de investigación: *¿Qué beneficios y ventajas se obtienen de la implementación de nanotecnología en pavimento y cuales técnicas pueden ser aplicables a las condiciones colombianas?*

Objetivo general

Realizar una revisión documental teórica de las aplicaciones y uso de la nanotecnología en pavimentos rígidos analizando las posibilidades reales de aplicación en Colombia

Objetivo específico

- Identificar los conceptos técnicos de la nanotecnología y su desarrollo para pavimentos en Colombia
- Determinar las diferentes aplicaciones de nanotecnología en pavimentos.
- Crear conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones; relacionando y teniendo en cuenta la limitada y temprana investigación en el tema.
- Analizar nuevas oportunidades para la aplicación de nanotecnología para pavimentos en Colombia.

Justificación

El uso de nuevas tecnologías es cada vez más común entre los proyectos de ingeniería civil y sobre todo en el afán de implementar nuevas formas de construcción de vías, debido a su alto daño, siendo esta una rama nociva y que atenta con el medio ambiente, es por eso que se busca promover este tipo de estudios que ayuden a mitigar el uso indebido de recursos pétreos, pero que a su vez ayuden a mejorar su calidad, seguridad, comodidad y funcionalidad de la carpeta asfáltica.

La monografía pretende actualizar y recopilar la mayor cantidad de información confiable y detallada acerca de la nanotecnología y su aplicación en pavimentos con el fin de mejorar la infraestructura vial en Colombia, siendo también un punto de partida a que se invierta en tecnología y sus avances, de modo que, gracias al uso adecuado de la nanotecnología y los resultados eficientes en diferentes campos; y ahora aplicables a los pavimentos produzca un alto impacto en la infraestructura vial e incrementar la envergadura de la pavimentación de vías, a su vez ser amigables con el medio ambiente.

Gracias a la tecnología sería posible generar mayor cantidad de proyectos por su rápida construcción (Eslava, 2020). Con el uso de estos materiales, es posible reforzar y mejorar la estructura molecular lo que implicaría aumentar la resistencia y por consiguiente disminuir su deterioro, no solo siendo capaz de reducir los espesores en la carpeta, aumentar su durabilidad y reducir las labores de mantenimiento. Lo que además se vería en un beneficio económico.

Para lo que se llevará a cabo una actualización y recopilación de bibliografías disponibles además de diferentes documentos, que aporten información confiable en cuanto a nanotecnología y su aplicación en pavimentos. Creando una visión actual del avance y con esto proyectar futuras investigaciones.

Metodología

La metodología empleada en la investigación es de carácter cualitativa ya que recopila información y con ello identificar los conceptos generales, aplicaciones y usos de la nanotecnología en pavimentos

Posteriormente el desarrollo metodología se compone por la siguientes etapas o actividades a ejecutar con el fin de llevar a cabo cada objetivo planteado, tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 1 Metodología

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Identificar los conceptos técnicos de la nanotecnología y el uso de la misma para pavimentos en Colombia	Recopilación de información mediante la búsqueda, síntesis actualización y organización de información a partir consultas bibliográficas	Se identifican antecedentes, conceptos generales y toda la contextualización del tema de la monografía para la ejecución de los objetivos	Gualteros Juan, Universidad Santo Tomas.
Determinar las diferentes aplicaciones de nanotecnología en pavimentos	Síntesis y de aplicaciones	Realizar una síntesis de la información recopilando las aplicaciones y usos que se dan en la ingeniería civil	Gualteros Juan, Botto Isabel, Santacruz Paola, Universidad Santo Tomas.
Crear conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones y aplicaciones relacionando y teniendo en cuenta la limitada y temprana investigación en el tema	Elaboración de conclusiones y recomendaciones	Posterior a la recopilación y analiza la viabilidad de cada uno de las aplicaciones para la generación de recomendaciones en cuanto al uso adecuado del manejo y aplicación de la nano tecnología en pavimentos y futuras investigaciones.	Gualteros Juan, Universidad Santo Tomas.

Marco Referencia

Marco Conceptual

Nanociencia y Nanotecnología

Al mencionar la Nano ciencia como clave del desarrollo de las investigaciones de esta escala, es importante citar la diferencia entre la Nanociencia y la nanotecnología siendo la Nanociencia la rama de la ciencia que se encarga de la manipulación y estudio de los átomos y las moléculas, “estudia los fenómenos, las propiedades y la manipulación de la materia a una escala nano métrica, generalmente comprendida entre 0,1-100 nm (1 nm=10⁻⁹)” (Cornejo, 2015), al abarcar otras áreas como la física la química la convierte en una ciencia interdisciplinar en la que su finalidad es estudiar los materiales.

Teniendo en cuenta esta investigación es necesario aclarar varios conceptos fundamentales que constituyen teóricamente la presente revisión documental y que, a su vez, permite un estudio más profundo de la misma. Para comenzar es necesario conocer el concepto de vía terciaria en Colombia que son “aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí.” (Instituto Nacional de Vías-INVIAS, 2016), las cuales al ser pavimentadas en cualquier sistema deben cumplir con todas las especificaciones de una vía secundaria. Conviene mencionar las anteriores debido a que la propuesta está dada en una vía de este tipo.

Por ello es necesario también mencionar los suelos los cuales se agrupan en tres grupos: arenas, arcilla y limosos “los suelos arenosos, como son más sueltos son fáciles de trabajar, pero tienen pocas reservas de nutrientes” (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, 1999) Otro grupo de suelos es el de “los suelos limosos que tienen gránulos de tamaño intermedio son fértiles y fáciles de trabajar.

Forman terrones fáciles de desagregar cuando están secos” (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, 1999) y en el otro se mencionan las arcillas que están denominadas como “los suelos arcillosos son pesados, no drena ni se desecan fácilmente y contienen buenas reservas de nutrientes. Son fértiles, pero difíciles de trabajar cuando están muy secos” (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, 1999), la mención de los suelos está dada puesto que en la ingeniería civil existe un estándar de los suelos

para poder construir, con el uso de la nanotecnología se presentan varios cambios en la forma de construir por lo tanto ya no se concibe el retiro de material ya que esta nanociencia concibe utilizar las mismas características del suelo para mejorarlas y utilizarlo. Dicho esto el concepto de estabilización del suelo es “ la elección correcta para crear la capacidad portante Nanotecnología y vías terciarias 31 y la calidad de los suelos, así como para prepararlos para proyectos de construcción de carreteras” (Wirtgen Group, 2019).

Estado del arte

Antecedentes

El primer introductor en el término fue el físico estadounidense Richard Feynman (Mantilla, 2012) describe las máquinas moleculares con gran precisión atómica hacia el año 1959, posteriormente diferentes autores tomaron este término en máquinas diseñadas a escalas moleculares de átomo por átomo.

Posteriormente en las décadas finales del siglo XX científicos principalmente de Japón y Estados Unidos se dedicaron a analizar y proyectos para la nanotecnología, financiados por su gobierno, los cuales progresivamente desarrollaron diferentes avances en diferentes campos, el año 2000 se inicia su uso en biomédica, robótica y en las fuerzas militares, en la actualidad, el crecimiento ha sido exponencial gracias a las nuevas aplicaciones de nanotecnologías.

De acuerdo a un estudio elaborado y publicado por la universidad de Toronto Canadá (2010), se notificaron las diez aplicaciones que tendrían más auge en cuanto a de nanotecnología se trataba, una de las cuales es la construcción.

Nanotecnología en la construcción

En Colombia es posible afirmar que el uso de nanotecnología es reciente, datan registros que el uso inicia hacia el 2004 con la implementación de estas en investigaciones por universidades como la universidad San Buenaventura, Santo Tomás, Universidad Distrital y la universidad Javeriana. Donde se resalta la importancia en el desarrollo y aplicación de estas tecnologías en nuestro país, siendo materia principalmente de la academia.

De acuerdo a Colciencias (2006) ya era bastante pobre la capacidad que existía en materia de estudios de nanotecnología, siendo principalmente en materias como física donde se contemplan dichos avances y poco en cuanto a construcción se trata. Los avances obtenidos que se dan en la construcción son mayormente analizados en el concreto.

Dado lo diverso que es el campo de la nanotecnología al igual que la construcción, es importante mencionar el potencial uso que tiene este tema en la infraestructura vial, sobre todo en el mejoramiento de las propiedades de materiales del concreto, acero y asfalto.

En el marco de la construcción el instituto de desarrollo urbano (IDU) implementó el sistema de transporte coloidal con la incursión de productos basados en nanotecnología para el desarrollo de las vías, donde los beneficios obtenidos fueron en el retiro de material y mejoramiento del suelo. Del mismo modo, fueron empleadas en diferentes calles de la capital colombiana. (Polito, 2015)

Diferentes investigaciones se llevan a cabo con el fin de crear un nano concreto a partir de fibras de carbono, lo que podría convertirlo en nano cemento y ser utilizado en la infraestructura vial.

De acuerdo a investigaciones se comprueba que con 1% de nanotubos tiene mayor resistencia a la comprensión y a la flexión respecto a un concreto tradicional, siendo el reto la creación de nanopartículas, y a su vez el calor de hidratación para siguientes investigaciones y futuras investigaciones.

Conceptos generales

Nanotecnología

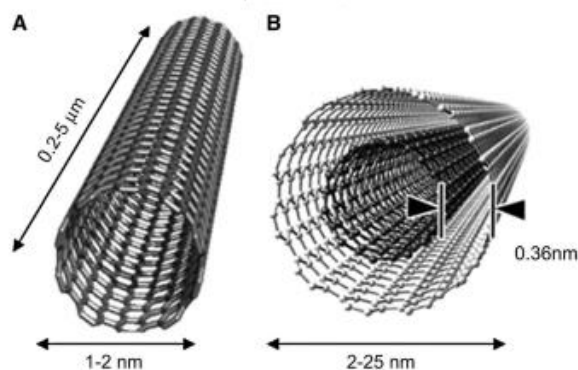
Hablar de nanotecnología, es directamente hablar de la nanociencia sienta la ciencia que estudia la manipulación y estudio de las moléculas y átomos generalmente comprendidos entre los 0.1 – 100 nm. De modo que, la nanotecnología es la aplicación de medidas manométricas con la función de mejorar la cualidad de un material (Cornejo, 2015) estructuradas en su tamaño y sus propiedades

Nanotubos de carbono (NTC)

Los nanotubos de carbono son el pilar de la nanotecnología, ya que a partir del estudio de los mismos dio paso a nuevas oportunidades de interés en el conocimiento, los nanotubos tienen cualidades microbianas, que le permiten crear mediante la luz una dispersión de moléculas que afectan las superficies inorgánicas y orgánicas, dando como resultado un avance la posibilidad en mitigar la contaminación de algunas superficies.

Así, los nanotubos se desprende el estudio del comportamiento del grafeno, que gracias a su conformación hexagonal permite una resistencia mayor y un menor peso, lo que permitiría mejorar algunas estructuras en un futuro ya que posee una dureza incluso mayor a la del acero siendo una propuesta para construcciones mucho más modernas (Morote, 2014).

Figura 1 Nano tubos de sencilla y doble pared



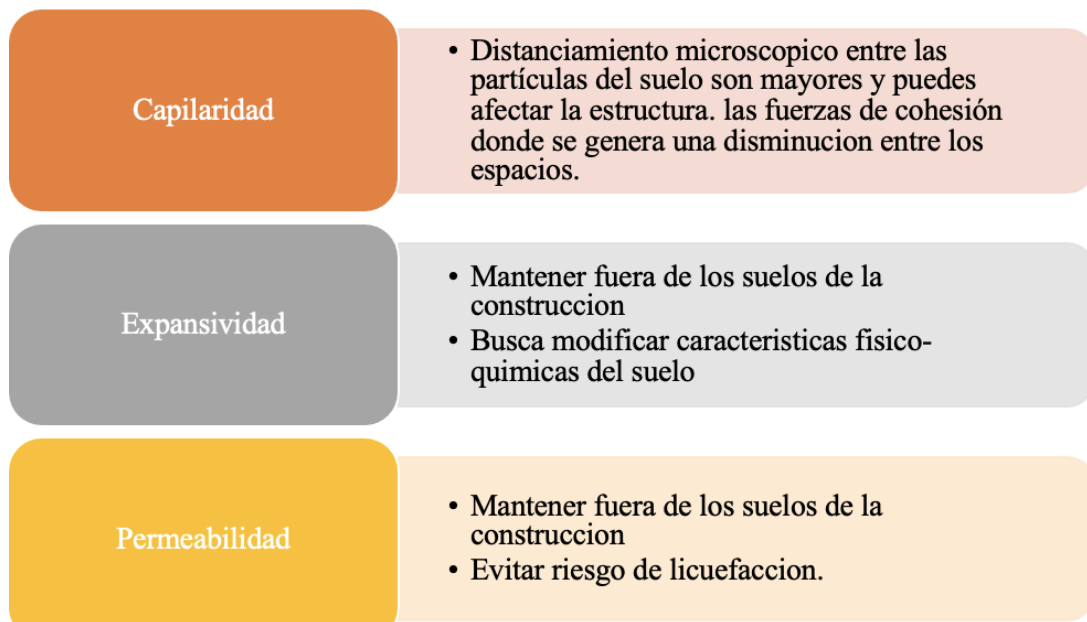
Nota. Adaptado de (Morote, 2014).

Dióxido de titanio

Algunos de los problemas en la operación y mantenimiento de las estructuras verticales y horizontales son aquellas que tienen que ver con la limpieza de los mismos, de modo que algunos agentes y gracias a la tecnología, son posibles la disminución del impacto negativo como lo es el dióxido de titanio.

Características que se mejoran con la nano tecnología

Figura 2. Propiedades que mejora la nanotecnología



Nota. Diferentes propiedades que mejoran el uso de nanotecnología.

Relación de la nanotecnología y el concreto

El concreto es un material multifásico, nano-estructurado y compuesto y este presenta beneficios en la mejora de las propiedades mecánicas del material, además de tener la capacidad de controlar y manipular la materia en su escala atómica, minimiza los tiempos de ajuste y mantiene un bajo nivel de contaminación ambiental (Ballari & Borkar, 2015). La modificación del concreto es un proceso desarrollado con más auge en los últimos años con el fin de mezclar el cemento

con nuevos plastificantes nanopartículas donde los principales nano partículas son: (Poudyal, 2018).

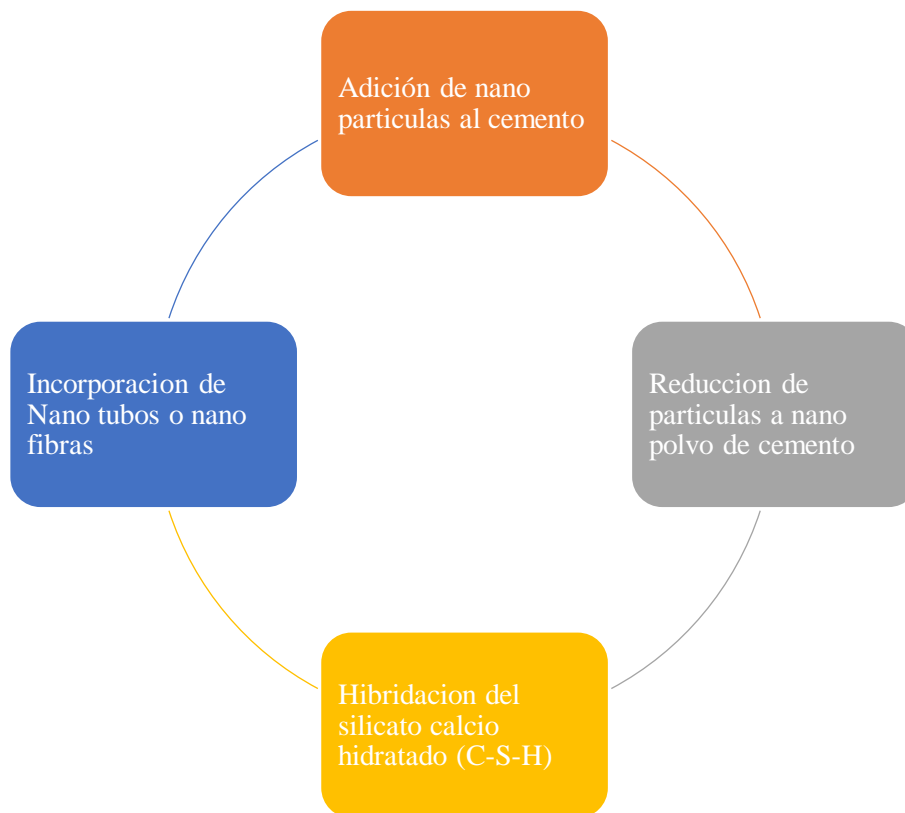
- nano-sílice (nano-SiO₂)
- nano-óxido de titanio (nano-TiO₂)
- nano-hierro (nano-Fe₂O₃)
- nano-alúmina (nano-Al₂O₃)
- partículas de nano arcilla
- nanotubos / nano fibras (CNT / CNF)

Riesgos del uso de la nanotecnología

A pesar de los diferentes beneficios que tiene la nanotecnología como el desarrollo mejora en propiedades e innovaciones para el sector de la ingeniería civil y sin contar el incremento en el estudio de estos materiales, estos tienen una repercusión muchas veces ambiental y a la salud humana, pues de acuerdo a (Galera, 2015) la peligrosidad de estos materiales de con el nivel de exposición de los materiales con su tamaño, forma, estructura, solubilidad y estado de agregación o de aglomeración.

Nanomateriales de construcción

Tal como se pretende a lo largo de la monografía el concreto tradicional puede convertirse en un nano material gracias a los siguientes procedimientos.

Figura 3 *Proceso para obtener Nanoconcreto*

Nota. Diferentes procesos de obtención de nano concreto. Adaptado de Cortejo (2015).

De acuerdo a la adición de diferentes nanopartículas al cemento, este influye considerablemente y principalmente en el proceso de hidratación sin importar las escalas. Las nanopartículas, llenan los huecos entre los granos de cemento y los áridos de modo que actúan como núcleos activos que aumentan la hidratación al concreto y gracias a la reactividad de la superficie, se logra mejorar la propiedad de resistencia, además la reducción de la porosidad y la retracción del concreto como principal causa de la figuración del mismo.

De modo que, cuando se fabrica los nano productos cementantes como cenizas volantes, humo de sílice, la nano sílice con adición entre 30% o 20 % de cemento tradicional con el fin de rellenar esos espacios de las partículas de los aditivos presentados lo que mejora en mayor medida las propiedades del cemento portland, con esto además significa reducción en emisiones de CO₂, ya que la fabricación de estas requiere de menor energía.

Propiedades de los concretos nano tecnológicos de acuerdo a la nanopartícula

A continuación, se presentan las propiedades que las nanopartículas mejoran al concreto:

Tabla 2 *Propiedades de nano partículas al concreto*

Nano partícula	Propiedades
Si O ₂	Mejora la trabajabilidad – incremento en la resistencia de la compresión en un 26% a 28 días – incremento de resistencia a flexión- incremento de la velocidad de fraguado
TiO ₂	Capacidad de auto limpieza – acelera la hidratación a edad temprana del cemento – Incremento de resistencia a flexión, compresión, y abrasión.
Fe ₂ O ₃	Auto detección de la tensión a compresión soportada – estructuras inteligentes.
Al ₂ O ₃	Incremento del Módulo de elasticidad hasta el 140% adicionando un 5% de Al ₂ O ₃ .
Arcilla Procesada	Incremento relevante a compresión y a tracción de cemento – concreto más impermeable – reducción de retracción

Nota. Identificación de como las propiedades del concreto mejoran con adición de nanopartículas.
Adaptado de (Cornejo, 2015).

Es importante mencionar que las partículas del concreto son de un tamaño menor a 500 nanómetros y solo el concreto puede considerarse nano concreto cuando este contiene herramientas químicas que controlan los nanoporos existentes o el emplazamiento de los productos de C–S–H de modo que a nivel general los nano concretos tienen (Cornejo, 2015):

- Mayor durabilidad.
- Muy buena compatibilidad química con los nanotubos de carbono
- Mayor aceleración de la hidratación
- Incremento de la tenacidad y de las resistencias al corte, a tracción y a flexión.
- Procesado a temperatura ambiente.
- Resistencia al calor (>600°C).
- Hacia la ausencia de la fisuración autógena.

- Disminución drástica del CO₂ en su fabricación.
- Resistencias iniciales y finales a compresión y tracción más elevadas.
- Buena trabajabilidad.

Aplicaciones de nanotecnología en pavimentos

Usos potenciales en infraestructura vial

Concreto

Uno de los principales usos y tal como se ha abordado a lo largo de la monografía se evidencia que el concreto es uno de los materiales que es más usado para la nanotecnología, sin embargo, desde un ámbito vial y de acuerdo a una investigación de la universidad de Michigan (Noticreto, 2009) se desarrolla un aditivo especial que mejora la resistencia a tracción, resistencia que se sabe la asume el acero de refuerzo, pero este se aprovecha de las partículas deshidratadas y gracias al dióxido de carbono y agua, crea carbonato de calcio y con ello es posible cerrar las fisuras que se presentan, hablando de fisuras de carácter micro.

Con la nano modificación se logra:

- Mejoras en resistencia a tracción
- Incremento en dureza
- Aumento de ductilidad y durabilidad
- Reducción de hasta 30% de emisiones de Co₂

Asfalto

Uno de los materiales más utilizados en Colombia para infraestructura vial es sin duda el asfalto, siendo este tan versátil que muchas veces es utilizado como base de concreto hidráulico, y en la actualidad se implementan algunas mejoras usando agregados a nivel molecular que no solo

mejoran la condición de carga y ambiental. El comportamiento mecánico depende de los materiales que conforman el asfalto en su gran mayoría de los casos, estos tales como agrietamiento en los polímeros curándose de manera autónoma.

El fundamento del asfalto modificado nano tecnológicamente está dado en la reacción entre el betún y polímeros que cambian su estructura molecular y química con ayuda de su temperatura y oxígeno identificando los siguientes beneficios:

Figura 4 *Propiedades de un Asfalto modificado.*

Propiedad	Descripción
Fuerza Comprensiva	Capacidad de soportar cargas en estado critico
Fuerza extensible	Capacidad de soportar cargas que llevan a cabo el agrietamiento del pavimento
Estabilidad	Capacidad de Soportar cargas a altas temperaturas
Fatiga	Capacidad de soportar cargas incidentes
Adherencia	Fuerza de atracción del asfalto y de capacidad de esta para soportar el remplazo por el agua
Susceptibilidad de la temperatura	Capacidad en los cambios en la curva de la fuerza- Temperatura de la mezcla del asfalto

Nota: Diferentes propiedades que tiene un asfalto modificado con nano tecnología. Adaptado de (Mantilla, 2012).

Diferentes usos**Figura 5** Usos de Nano Pavimentos

Uso	Descripción
Pavimentos Industriales	Pintura industrial Tratamientos anticorrosión Membranas líquidas impermeabilizantes y transitables (< 4 m/m.) Revestimientos en fina capa (< 1 m/m.) Multicapas antideslizantes (2-3 m/m.) Autonivelantes (2-4 m/m.) Morteros epoxi Epoxi cemento / poliuretano cemento (< 9 m/m.) Juntas y reparaciones Sistemas especiales conductivos, protección química, choque térmico...
Pavimentos decorativos y micro cemento	Micro cemento continuo (2-8 m/m.) Autonivelante continuo (2-4 m/m.) Autonivelante continuo con efectos decorativos (2-4m/m.) Poliuretano continuo confortable (< 6 m/m.) Terrazo continuo rígido (desde 4 hasta 20 m/m.) Terrazo continuo flexible y confortable (6-8 m/m.)
Canchas deportivas	Polideportivos Comunidades Pabellones
Piscinas	Hechas en nano cemento

Nota: Diferentes nano pavimentos que muestran algunas empresas productoras del mismo. Adaptado de (Asocreto, 2020).

Futuras investigaciones

Contexto nacional

En términos de nanotecnología Colombia se encuentra en una etapa inicial o temprana, sin embargo, esta situación se conoce mediante el programa nacional de Prospectiva Tecnológica e industrial conocido comúnmente como Colciencias lo cual determina que hoy por hoy el estado de implementación se encuentra en fase de estudio y es gracias a la academia.

Existen diferentes avances por grupos de investigación en campos farmacéuticos o de robótica materiales de nano compuestos, el nanomagnetismo, dispositivos, sensores y demás, pero en cuanto a la infraestructura vial es a cargo de Corasfaltos quien hace los primeros experimentos, y es deber de las mismas empresas productoras empezar a promocionar dichos inventos.

Del mismo modo, existen distintos estudios que se pueden encaminar al mejoramiento de las propiedades de los materiales.

Figura 6 Estudios próximos en nano tecnología a infraestructura vial



Nota: Diferentes estudios futuros de nano tecnología para la infraestructura vial. Adaptado de (Berger, 2019).

Usos potenciales

Figura 7 *Usos potenciales de la nanotecnología en infraestructura vial*

Diferente Plazo	Uso
Corto	Estudios a gran escalas - aplicaciones a vías así mismo no solo a la vía como tal si no a señalización.
Mediano	Uso de riegos anti polvo que funciona como película delgada y que permite que las partículas más pequeñas se dispersen en la atmosfera – implementación a la vía terciarias – nano tecnología en estabilización de taludes, para efectos que deterioran los mismos por el agua.
Largo	Uso en vías secundarias y primarias – implementación en sistemas de conservación y mantenimiento.

Nota: Usos potenciales de la nanotecnología en infraestructura vial. Adaptado de (Mantilla, 2012).

Nuevas oportunidades

Inversión en nanotecnología

Los estudios que se realizan en materia de nanotecnología principalmente están dados por la academia de modo que su financiamiento también es mediante estos, sin embargo, se puede considerar al gobierno como principal inversor, gracias a convenios que este tiene con algunos centros de investigación y posteriormente con Colciencias.

Es importante mencionar que la producción de nano materiales sin duda es algo costosa, pero en un marco a largo plazo los beneficios que tiene este se consideran mejores y su inversión llegaría a ser menor. De acuerdo a esto, es preciso afirmar que el uso definitivo o en su gran mayoría aún es algo lejana, sin embargo, es sin duda un buen negocio a largo plazo. En un marco rentable, es necesario conocer en gran medida cada material y la pertinencia de esta debido a que cada material afecta considerablemente las propiedades de estos y por eso es necesario saber los impactos a un futuro.

La inversión es óptima si se es vista a largo plazo, sin embargo, a corto o mediano se verá reflejado en el mantenimiento, siendo este ya más duradero y con mejores propiedades que el común. Para esto, es necesario un mayor conocimiento y experticia en el país y se hace necesario para futuras aplicaciones, de modo que al ser más utilizada los costos podrían disminuir.

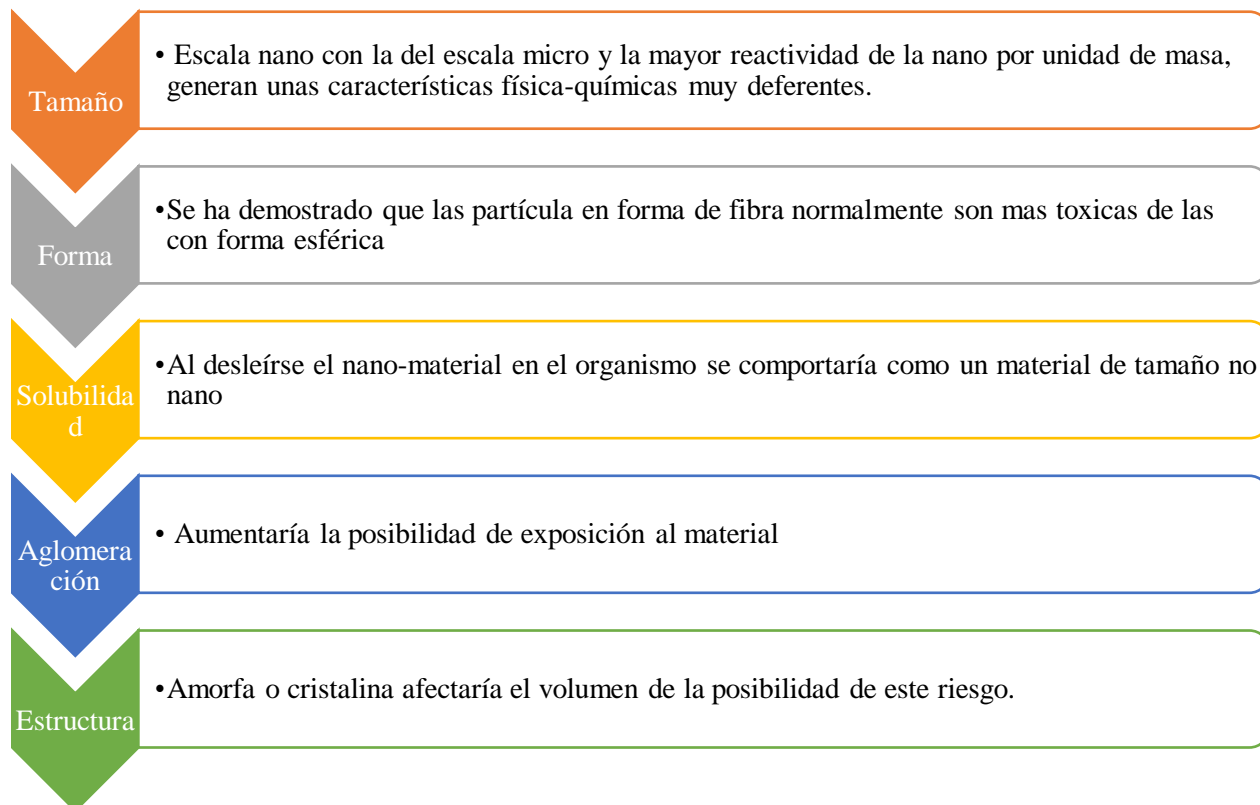
Riesgos de la nanotecnología

Cada uno de los diferentes riesgos dependen del material que se usa, pero haciendo un ejemplo en un marco de los más empleados como los nanotubos de carbono y el dióxido de titanio los riesgos están dado a la manipulación de los nano elementos y no al nanomaterial como fin. Por ejemplo, existen riesgos similares al asbesto y con estas afectaciones a los pulmones. (Aguilar , 2015)

Algunos protectores que han sido modificados con dióxido de titanio, se evalúa si podría ser responsable de cáncer en la piel, sin embargo, los principales riesgos y los más estudios dados son aquellos que en las nanopartículas puedan contener y contribuir a un riesgo biológico.

Otros riesgos pueden estar dados mediante los siguientes parámetros:

Figura 8 Riesgos de nano materiales



Nota: Diferentes riesgos a partir de los nano materiales. Adaptado de (Aguilar , 2015).

Es importante mencionar que cada uno de estos factores puede afectar la genética humana y estas se pueden dar mediante vía inhalatoria, vía dérmica, vía parenteral e ingestión, dado esto, es importante no solo conocer los materiales sino además tomar las medidas pertinentes.

Conclusiones

A lo largo de la monografía se desarrollaron cada uno de los conceptos necesarios para comprender de cierta manera el comportamiento de algunos materiales a escala nano, lo cual además permite tener una visión diferente del mismo, identificando no solo cada uno de sus elementos necesarios para la creación de los mismos y el desarrollo no solo para el diseño de pavimentos si no para estructuras de concreto, estabilización y entre otros abordados en la monografía.

Es posible precisar gracias al desarrollo el comportamiento de algunos materiales, la posibilidad de crear materiales al gusto propio dependiendo la exigencia que pueda requerir un proyecto en la modificación de las propiedades de los materiales, con elementos mejorados y con vías más duraderas, proyectos más económicos y reduciendo el impacto del medio ambiente en algunos casos. Y esto es gracias a las propiedades que se ven mejoradas como la capilaridad e impermeabilidad problemas que son materia de investigación en la infraestructura vial

Sobre las aplicaciones en nanotecnología, se observa que en mayor medida se realizan en materiales como el cemento evidenciando mejoras en las propiedades de resistencia a la tensión, mayor durabilidad, resistencia a la fatiga, la estabilidad y la adherencia, además del incremento en el módulo de elasticidad lo que permite la reducción de del espesor de la capa y logra contribuir a la disminución de deformaciones permanentes que se dan por el efecto de la temperatura y las cargas ofreciendo gran cantidad de soluciones a las estructuras de construcción y por supuesto al pavimento al tratamiento del mismo, de sus fallas y la prevención de patologías a temprana edad.

Vemos además el desarrollo en pavimentos industriales, laboratorios, piscinas y pavimento de vías terciarias con adición de nanopartículas en el bitumen. identificando que con un adecuado manejo en los materiales los resultados son satisfactorios

Actualmente Colombia actúa de manera positiva en camino de la nano ciencia y los avances son positivos a pesar de su corta trayectoria en el tema, sin embargo, es necesario invertir en proyectos a una escala mayor que permitan dar resultados considerables y comprobar lo que ya se ha realizado de manera experimental por emprendedores y grupos de investigación de universidades, adicionalmente vemos que en materia de estudio se pueden realizar a corto, mediano y largo plazo.

Con aplicaciones en obras anexas como obras de drenaje, estabilización de taludes con los nanotubos de carbono, oxidación de elementos expuestos a la intemperie y demás proyectos abordados a lo largo de la monografía

Es importante ver cómo se puede pasar del laboratorio a vías de gran escala mediante la ruta que permita iniciar de lo específico a lo general implementando y conociendo a ciencia cierta el comportamiento del pavimento modificado de manera nano tecnológicamente, abriendo esto a un sinnúmero de nuevas investigaciones teniendo en cuenta al proceso de inversión y el estado actual que demanda dichos estudios, además de contemplar los riesgos que según sea el caso, si o si deben ser tomados en cuenta.

Para lo anterior es necesario crear políticas legislativas que no solo sirvan como regulación en el uso y aplicación de la nano tecnología, sino que incentiven e impulsen el avance de los mismo evidenciando que los resultados son positivos para el medio ambiente y la salud humana.

Además, es importante considerar el sector público y privado como agentes directos en el desarrollo dada la necesidad de inversión no solo para el desarrollo de estudios si no para las diferentes aplicaciones que van de la mano de la dotación de equipos y materiales para la investigación molecular, un tema que en la actualidad no se impulsa con gran medida.

Referencias

- Aguilar , F. (2015). Riesgos derivados de la exposición a nanomateriales en distintos. Madrid: NSHT.
- Asocreto. (2020). 360enconcreto.<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/nanotecnologia-alservicio-de-sostenibilidad>
- Ballari, M., & Borkar, P. (2015). VI Seminar Civil on Concrete. <https://www.slideshare.net/PrachiBorkar/nanoconcrete-ppt3>
- Berger, M. (2019). Nano Werk. <https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=13009.php>
- Cornejo, L. (Junio de 2015). Nanociencia y Nanotecnología. <https://nuevatecnologiasymateriales.com/nanociencia-y-nanotecnologia/>
- Eslava, W. (2020). Corporacion Universitaria Minuto de Dios. https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/12012/T.IC_EslavaWilmar_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Galera, A. (2015). El impacto de la nanotecnología sobre la seguridad y la salud laboral. ORP Juornal(2), 31-58. <https://en-obra.com/noticias/nanorecubrimientos-resistencia-en-laconstruccion/>
- Higuera Sandoval, C., Gómez Cristancho, J., & Pardo Naranjo, Ó. (Junio de 2012). Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio. Facultad de Ingeniería Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 21(32), 21-40. <https://www.redalyc.org/pdf/4139/413940771003.pdf>
- Mantilla, I. (2012). Potencial de uso de la nanotecnología en la infraestructura vial en Colombia. [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio. <https://repository.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/11696/u619185.pdf?sequence=1>
- Martinez, M. L. (2019). ¿Por qué enunciar las limitaciones del estudio? Medisuir, 17(1), 10-12. <http://scielo.sld.cu/pdf/ms/v17n1/1727-897X-ms-17-01-10.pdf>
- Mojica, D. (2014). La nanotecnología en la infraestructura civil – Estado del conocimiento y prospectiva. [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia]. Repositorio. <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00001316.pdf>

- Morote. (mayo de 2014). El grafeno y sus aplicaciones en la construcción o arquitectura. <https://ovacen.com/el-grafeno-y-sus-aplicaciones-construccion/>
- Navarro, E., & Forero, H. (2017). Mejoramiento de la Resistencia a Compresión del Concreto con Nanotubos de Carbono. [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6265/NavarroJimenezEllerlyAlejandro2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Noticreto. (2009). Concreto Flexible y auto Reparable. Noticreto, 52.
- Polito, G. (Noviembre de 2015). Evolución, tecnologías aplicadas en la actualidad y el futuro de los pavimentos flexibles en México. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma De México]. Repositorio. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8815/Tesis.pdf.pdf?sequence=1>
- Poudyal, L. (2018). Use of nanotechnology in concrete. [Trabajo de grado, Texas Tech University]. Repositorio. <http://hdl.handle.net/2346/73805>
- Universidad Diego Portales. (2019). Laboratorio de nanotecnología UDP crea un nuevo tipo de asfalto mas duradero y resistente. <https://ingenieriayciencias.udp.cl/2019/06/28/laboratorio-de-nanotecnologia-udp-crea-unnuevo-tipo-de-asfalto-mas-duradero-y-resistente/>