

**USO DE POLÍMEROS EN LA REDUCCIÓN DE PATOLOGÍAS DE ORIGEN
QUÍMICO EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

FABIÁN ANDRÉS RODRÍGUEZ SIERRA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ
2014**

**USO DE POLÍMEROS EN LA REDUCCIÓN DE PATOLOGÍAS DE ORIGEN
QUÍMICO EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

FABIÁN ANDRÉS RODRÍGUEZ SIERRA

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Directora
Marisol Nemocón Ruiz
Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ
2014**



Atribución-No Comercial-Sin Derivadas 2.5 Colombia (cc-by-nc-nd/2.5-co)

Este es un resumen legible por humanos (y no un sustituto) de la [licencia](#).

[Ver licencia](#)

Útil y libre para:



Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

El licenciatario no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.



No Comercial — Usted no puede hacer uso del material con fines comerciales.



Sin Derivar — Si usted modifica, transforma o crea nuevo material a partir de esta obra, usted no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — Usted no puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Aviso:

Usted no tiene que cumplir con la licencia para los materiales en el dominio público o cuando su uso es permitido por una excepción o limitación aplicable.

No se entregan garantías. La licencia podría no entregarle todo el permiso que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como relativos a publicidad, privacidad, o derechos morales pueden limitar la forma en que utiliza el material.

Nota de aceptación

Asesor Metodológico
Saieth Budillo Chaves Pabón

Directora de Investigación
Marisol Nemocón Ruiz

Jurado

Bogotá, 5 junio, 2014

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios, mis padres, mi hermana, mis profesores y a las demás personas que estuvieron a mi lado en este proceso de aprendizaje que, aquí no acaba sino que, es el punto de partida para emprender mi vida profesional.

“Gracias”.

El autor

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a todas aquellas personas que aportaron a través de su material intelectual publicado de estudios e investigaciones del concreto y de polímeros, puesto que hicieron parte de referencia para adquirir el conocimiento necesario para concluir con mi investigación.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA	12
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION	13
3. OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GENERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4. MARCO REFERENCIAL	15
4.1 MARCO DE TEÓRICO	15
4.1.1 Concreto	16
4.1.2 Adiciones	18
4.1.2.1 Reseña Histórica.	18
4.1.2.2 Compendio de Aditivos en el Concreto	18
4.1.2.3 Tipos de Aditivos	19
4.1.3 Patologías	20
4.1.3.1 Contexto Patológico	20
4.1.3.2 Síntomas del Factor Externo	21
4.1.4 Polimeros	21
4.1.4.1 Planteamiento de Reducción Patológica a Base de Polímeros	22
4.1.4.2 El Concepto de Protección de las Estructuras de Concreto	22
5. MARCO CONCEPTUAL	24
5.1 CARACTERIZACIÓN POLIMÉRICA EN EL CONCRETO	24
5.2 VENTAJAS DEL HORMIGÓN MODIFICADO CON POLÍMEROS	24
6. APLICACIÓN DE LOS POLÍMEROS	26
6.1 MARCO LÓGICO Y TECNOLÓGICO DE LOS POLÍMEROS	27
6.1.1 Referentes de Aplicación	27
6.1.1.1 Los Tubos o Nona-tubos de Carbono	27
6.1.1.2 Las Fibras de Carbono	28
6.1.1.3 La Incorporación de un Polímero en Concretos de Ultra Alta Resistencia	28
7. ESTADO DEL ARTE	30
7.1 CUADROS DE INFORMACIÓN RECOPIADA	31
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
9. CONCLUSIONES	52

BIBLIOGRAFÍA

pág.

54

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Aditivos	19
Cuadro 2. Trabajo Caracterización de Fusiras en Vigas de Concreto Reforzado con Adición de Fibras de Polipropileno Sometidas a Flexión Dinámica	31
Cuadro 3. Estado del Arte Uso de Nanotubos de Carbono para la mejora de las Propiedades en los Concretos	32
Cuadro 4. Evaluación del desempeño del cemento portland Tipo III adicionado con sílice	33
Cuadro 5. Efecto de la Sílice Coloidal en las Propiedades en Estado Fresco y Endurecido del Mortero y Concreto Hidráulico	34
Cuadro 6. Efecto de Algunas Adiciones Minerales Colombianas en la Fabricación del Clinker para Cemento Portland I	35
Cuadro 7. Análisis de la Resistencia a la Compresión del Concreto al Adicionar Limalla Fina en un 3-4% Respecto al Peso de la Mezcla	36
Cuadro 8. Comportamiento del Concreto Reforzado con Fibras de Acero ZP-306 Sometido a Esfuerzos de Compresión	37
Cuadro 9. Uso del Silicato de Sodio como Adición Natural del Concreto Hidráulico	38
Cuadro 10. Evaluación del Desempeño del Cemento Portland Tipo III	39
Cuadro 11. Uso de Fibras de Carbono como Reforzamiento a Corte	40
Cuadro 12. Desarrollo Material Polimérico Reforzado con Fibras Naturales	41
Cuadro 13. Efecto Híbrido de los Nanotubos de Carbono y la Nano Sílice sobre las Propiedades Mineralógicas y Mecánicas de Morteros de Cemento Portland	42
Cuadro 14. Evaluación de las Propiedades Físicas y Fotocatalíticas del Cemento Adicionado con Nano Partículas de Dióxido de Titanio	43
Cuadro 15. Uso de Fibra de Estopa de Coco para Mejorar las Propiedades Mecánicas del Concreto	44
Cuadro 16. Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras de Bagazo de Caña de Azúcar	45
Cuadro 17. Propiedades Mecánicas que Fueron Evidenciadas en las Tesis Consultadas	47

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Tipos de Polímeros	49
Figura 2. Clase de Polímero	49
Figura 3. Resistencia a la Compresión	49
Figura 4. Resistencia a la Tensión	50
Figura 5. Resistencia al Corte	50
Figura 6. Protección en el Acero	50
Figura 7. Mejora la Hidratación	51
Figura 8. Durabilidad	51

INTRODUCCIÓN

El uso de poliméricos para contrarrestar los efectos patológicos en las estructuras de concreto, son incorporados como refuerzo químico en las propiedades de resistencia contra la fisuración a gran escala, debido a que el concreto es el vehículo de operación para la utilización de polímeros en la construcción, es el lugar desde donde se deducen las anomalías que se presentan en los elementos estructurales y por lo cual su resistencia podría verse afectada. Así mismo según [Romero], la adición de los aditivos como elementos de consistencia de la mezcla cumple con la función de formalizar las cualidades de flexibilidad y maleabilidad, para regular la duración del curado, sin embargo, su utilización en el tratamiento contra la permeabilidad en el concreto es baja y adolece de un factor de equilibrio químico en sus propiedades para proteger las estructuras de concreto. En consecuencia la esencia de las patologías en los elementos estructurales construidas en concreto es donde toma asiento las situaciones meteorológicas en contacto con las estructuras generalmente a niveles inferiores de la superficie terrestre, así que, se origina el punto de entrada de nuevos materiales de protección y resistencia para ser usadas en las superficies de concreto.

Los polímeros se abren paso a partir de compuestos químicos de origen natural y de materiales plásticos que al ser formados por polimerización se transforman en productos sintéticos, por su gran capacidad de adhesividad y elasticidad pueden adaptarse a diversas circunstancias técnicas y pueden ser susceptibles a moldearse fácilmente para ejercer procedimientos de impermeabilidad ante defectos anómalos por reacciones externas del medio ambiente. Conceptualmente, la caracterización en el concreto se debe a los agentes químicos y atmosféricos, tiene que ver con la durabilidad de los elementos estructurales. La incorporación de hormigones impregnados con polímeros una vez endurecidos se les hace un tratamiento de secado para rellenar los poros con polímero. La aplicación de polímeros es cada vez más utilizada debido a las condiciones de estabilidad y protección por la revolución de la construcción.

La evolución de los polímeros expresado durante medio siglo de existencia se plantea fundamentalmente dentro del marco lógico de los problemas de deterioro prematuro de las estructuras de acuerdo a los efectos que produce la influencia del agua a través de la capa del suelo de contacto con la estructura, las cualidades y calidades de los polímeros ideados con diversas formulaciones tecnológicas elevaron las propiedades mecánicas del concreto.

1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El desarrollo constante de tecnologías que buscan satisfacer las propiedades del concreto, como lo son la implementación o el uso de polímeros ha generado la necesidad de indagar e investigar acerca de este tema en Colombia a través de los centros de investigación, universidades, repositorios institucionales y de aquellas empresas que comercializan productos.

Como bien se sabe los polímeros según su clasificación, los productos sintéticos y naturales en aplicación al concreto, desplaza ciertas cantidades bien sea de agregados finos o agregados gruesos que pueden verse reflejados desde la manejabilidad del concreto hasta un cambio a favor o en contra de las propiedades mecánicas como lo son la durabilidad y resistencia entre otras evitando o controlando las patologías que se podrían presentar en la mezcla de concreto.

Dentro de este contexto esta investigación se centra en la búsqueda de información dando solución a una necesidad específica ¿Qué tipo de polímeros se utilizan en estructuras de concreto en patologías de origen químico en Colombia?

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El uso de polímeros en estructuras de concreto se ha venido desarrollando a nivel mundial en países que han estado siempre a la vanguardia de nuevas tecnologías, para satisfacer ciertas necesidades en la construcción de estructuras de concreto más livianas más resistentes y más duraderas cumpliendo con las normas que han sido establecidas y que en la actualidad se está empezando a estudiar en Colombia; universidades como la, Javeriana realizo investigaciones referentes el uso de la adición de fibras de propileno en vigas de concreto sometidas a flexión; por otro lado abordó el tema del sílice coloidal en propiedades en estado fresco y endurecido de mortero y concreto hidráulico. La Universidad Católica indago sobre el uso de nanotubos de carbono para mejorar las propiedades en los concretos; La Universidad Nacional sede Medellín, indago sobre las Nanopartículas de sílice para el desempeño del cemento portland, además ha realizado estudios para evaluar el desempeño del cemento portland tipo III adicionado con sílice, así mismo realizaron estudios acerca de la comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. La Universidad Militar Nueva Granada analizo el comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero sometidas a esfuerzos de compresión; Universidad la Salle, investigo el uso sobre el silicato de sodio como adición natural del concreto hidráulico, por otra parte investigo las fibras e carbono como reforzamiento al corte. La Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, análisis de la resistencia a la compresión; Universidad del Norte exploro el uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, que soportan mayores análisis en las propiedades mecánicas entre las cuales se referencian la resistencia a la compresión, flexión y al corte, protección en el acero, durabilidad, mejor hidratación en el concreto, estas siguen reduciendo los fenómenos patológicos en relación al deterioro prematuro del concreto que se presentan antes, durante y después de la construcción.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estado del arte sobre el uso de polímeros en estructuras de concreto basado en documentos de investigación llevados a cabo en Colombia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar y analizar información sobre el uso de polímeros indicados para la protección de elementos estructurales de concreto, específicamente que respondan a patologías que manifiesten deterioro temprano de sus componentes.
- Determinar cuáles son las propiedades de estos polímeros de acuerdo con las investigaciones existentes.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO DE TEÓRICO

A partir de la resistencia de los hormigones con polímeros frente a los agentes químicos y atmosféricos, fundamentalmente tiene que ver con la durabilidad de los elementos estructurales, que dependen de los bajos niveles de absorción de agua que presentan los hormigones fabricados con polímeros en comparación con la del hormigón hidráulico. Esto impide e imposibilita también la destrucción mecánica en los procesos a bajas temperaturas y los frecuentes cambios climáticos que inciden particularmente en la contracción estructural de los elementos de concreto ocasionando debilitamiento e inestabilidad en las propiedades físicas durante el tiempo de vida útil.

El proceso tecnológico del concreto fusionado con polímeros presenta por lo general, una buena resistencia a los agentes químicos y productos corrosivos ácidos aunque en última instancia, dependerá de la estructura química del polímero utilizado en la formulación estructural conseguidas en el compuesto orgánico a través de los hidrocarburos insaturados. Una de las características poco conocidas de los hormigones con polímeros es su comportamiento de envejecimiento prematuro, debido en parte a que las aplicaciones son relativamente recientes y en parte a que es muy difícil reproducir en el laboratorio condiciones que reflejen de una manera acelerada el comportamiento en el tiempo.

En síntesis el envejecimiento de la estructura de concreto opera mediante procesos térmicos y foto-oxidantes que originan la degradación y destrucción lenta de estos materiales durante su utilización. Los mecanismos de la degradación son complejos y aún no muy conocidos, usualmente se asocian a procesos de despolimerización y rotura de las cadenas por culpa de la acción del oxígeno y de radiaciones altamente energéticas como los rayos ultravioleta de la radiación solar. La manera más utilizada de combatir este efecto es por la adición en la formulación de sustancias como los llamados antioxidantes los cuales minimizan o retardan la degradación del material¹.

Es decir, son procesos mecánicos, como el crecimiento de cristales de sal en fisuras de las rocas, el calentamiento o enfriamiento térmicos; también se debe a procesos químicos como en las disoluciones ácidas que tienden a disolver minerales.

Desde el punto de vista reológico los concretos con polímeros tienen un comportamiento (retracción-fluencia) similar al de los hormigones convencionales, si bien en algunos casos los valores que se pueden alcanzar son significativamente mayores para aquellos hormigones. Estos resultados deben ser tenidos en cuenta

¹ MICROSOFT. Enciclopedia Encarta [CD-ROM]. [Bogotá]: Microsoft, 2009. Procesos térmicos

a la hora de exigir que la estructura cumpla los requisitos requeridos al final de la vida prevista. En otro orden de cosas los materiales poliméricos y sus compuestos de concreto a altas temperaturas como se ha señalado combustión fácilmente y arden. Este efecto se puede disminuir utilizando aditivos ignífugos retardadores de llama o sustancias auto-extinguibles².

4.1.1 Concreto. En el presente capítulo se dará a conocer la concepción técnica entorno a sus propiedades físicas que determinan sus cualidades de aplicación en su contexto de agentes exteriores que permiten adquirir determinados concretos reforzados con el fin de visualizar su comportamiento a nivel de la capa vegetal en estructuras convencionales.

En términos generales, “el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (cemento portland hidráulico) un material de relleno (agregados áridos), agua y eventualmente aditivos”³, del concreto en estado endurecido debe encontrarse con las características propias que definen su capacidad de desempeño frente al sistema geofísico y atmosférico en que se puede afectar el comportamiento de sus propiedades, tales, como:

- La manejabilidad y consistencia, en estado endurecido frente a la aptitud de colocación.
- La velocidad del fraguado, de acuerdo al tiempo que dura en endurecerse la mezcla.
- La masa unitaria: “sirve para estimar la cantidad de agregados en estado suelto y la dosificación de mezclas en estado compacto”⁴
- La estabilidad de volumen, “Los cambios de volumen, pueden generar esfuerzos que superen la capacidad resistente del concreto a la tracción y producir agrietamiento”⁵

“La durabilidad o resistencia a los agentes externos tales como las bajas temperaturas, “la penetración de agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos” , entre otros, se evalúan con el tiempo sin deterioro de sus condiciones físico – químicas. La resistencia a la compresión, es la más referenciada debido a que es la más difícil de evaluar para garantizar un buen comportamiento estructural”⁶.

² ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN. Hormigón de ultra-alta resistencia con resinas acrílicas. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2010, p. 4.

³ REYES BAUTISTA, Juan Sebastián y RODRÍGUEZ PINEDA, Yamid Alfonso. Análisis de la resistencia a la compresión al adicionar limalla fina en un 3, %, 4%; 5% respecto del peso de la malla. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Civil. Modalidad Trabajo de grado, 2010. p. 29.

⁴ ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN, Op. cit., p. 28.

⁵ REYES BAUTISTA, Juan Sebastián y RODRÍGUEZ PINEDA, Yamid Alfonso, Op. cit., p. 29

⁶ *Ibíd.*, p. 29

Por norma general se deben cumplir teniendo en mente no sólo un valor especificado de resistencia (compresión, flexión, o corte) sino también, como aspecto fundamental, la durabilidad.

Los concretos reforzados establecen un comportamiento de resistencia a la compresión muy bueno al servicio de la industria de la construcción, sin embargo, la percepción es que aíslan el tratamiento de asentamientos y las propiedades de durabilidad con el medio ambiente, especialmente con la influencia del agua natural y la formación del agua acida producto del smog atmosférico causando un alto impacto húmedo en los elementos estructurales a nivel de la cimentación en estratos inferiores de la capa vegetal, razón por lo cual, se transforman los espacios, muros, fachadas y cubiertas de las edificaciones de forma dañina. A continuación se identifican diferentes conceptos de concreto:

➤ La fisuración del concreto es un fenómeno indeseable cuyas causas van desde variaciones en la composición del material, hasta efectos de cambios térmicos. Una fisura revela realmente la “competencia perdida” entre la capacidad del material de resistir un esfuerzo frente al efecto de un esfuerzo actuante (Concreto reforzado con fibras de acero y sintéticas).

➤ El concreto de fluidez media, “acelerado de resistencia y fraguado”, presenta aumento acelerado a la compresión a edades tempranas entre las 14 y 24 horas y a los tres días presenta un crecimiento estable, diseñado especialmente para ser empleado en el Sistema túnel, permitiendo una rápida rotación de formaleta y velocidad en la construcción (Concreto Outinord).

➤ El concreto de fluidez media, acelerado de resistencia y fraguado, diseñado para sistemas industrializados de rápida rotación de formaleta y perfectos acabados (Concreto Contech placa)⁷.

➤ Concreto especial convencional “colocado a profundidad en condiciones altas de nivel freático” y puede consolidarse por su propio peso a través de un conducto de alimentación que coloca el hormigón bajo el agua o lodos de perforación usado en elementos estructurales de cimentación como: Pilas y pilotes pre-excavados (fundidos en el sitio) y los hincados; Muros pantalla: vaciados en arena fabricados para compactación de suelos; Vaciados en bentonita-cemento: procesados en muros de pantalla panasol para batir niveles freáticos en excavaciones cerradas y Vaciados en concreto con secciones circulares, acampanadas, rectangulares, multiforme o barretees, todos usados en construcciones convencionales (Concreto tremie)⁸.

⁷ DÍAZ, Jorge C.; BAUTISTA, Luisa; SÁNCHEZ, Adrián y RUÍZ, Daniel. Caracterización de mezclas de concreto utilizados en sistemas industrializados de construcción de edificaciones. En: Revista de Ingeniería Universidad de los Andes. Noviembre, 2009. no. 19, p. 63

⁸ MONTEJO FONSECA, Alfonso; MONTEJO PIRATOVA, Francy y MONTEJO PIRATOVA, Alejandra. Tecnología y Patología del Concreto Armado. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2013. p. 275

4.1.2 Adiciones. En este capítulo, presento la caracterización de los aditivos del concreto desde edades tempranas, por tanto describimos su historia y formación determinante en la evolución de la mezcla, se expone un compendio de las características de trabajo en las propiedades del concreto y su tipología de aplicación.

4.1.2.1 Reseña Histórica.

Hacia 1875 para obtener fraguados más regulares del cemento se utilizó yeso crudo y adición de cloruro de calcio, en (1885) se usó en la elaboración del cemento y la fabricación del hormigón; pero en 1888 “se demostró que podía ser utilizado como acelerador o como retardador de fraguado y según la dosis poder elaborar cementos más impermeables para regular la duración del fraguado”. En 1895 empresas de Francia y Alemania agregaron “cal-grasa” para mejorar la maleabilidad; luego en Estados Unidos se realizó un ensayo con materiales finos o inertes que se inflaban, así como adiciones de aceite de linaza y aceite industrial.

A comienzos del siglo XIX, se realizó otro ensayo incorporando silicato de sodio y diversos jabones para mejorar la impermeabilidad, además, de añadir polvos finos para colorear el hormigón, en 1905 se emplearon los fluatos o fluosilicatos como endurecedores de la superficie. Otra cualidad del aditivo es la influencia de la acción retardadora del azúcar estudiadas en laboratorio. Hacia el año 1910 los primeros aditivos fueron los hidrófugos, aceleradores de fraguado destinados a la aplicación del producto en obras depósitos de agua, entibaciones, piscinas, etc. y así fue evolucionando durante décadas⁹.

4.1.2.2 Compendio de Aditivos en el Concreto. Es importante definir que los aditivos también inciden en el proceso del armado técnico del concreto, pues son materiales diferentes del agua, de los agregados, del cemento hidráulico que al ser añadidos antes o durante el mezclado cumplen una misión distinta a los materiales sintéticos extractados por polimerización. “La función de los aditivos únicamente modifican la propiedad del concreto que lo hace más apropiado para las circunstancias de trabajo, son productos químicos muy activos empleados en dosis mínimas inferiores al 5% del peso del cemento”¹⁰, el aditivo puede mejorar una propiedad pero puede modificar otras de manera inaceptable, por lo que es indispensable tomar precauciones necesarias. No obstante, su versatilidad en la composición química y su multifacética capacidad de uso para reducir la permeabilidad a los líquidos e inhibir la corrosión del acero fusionados en el concreto, no fue la más favorable, pues la operación de manejabilidad y de resistencia se distingue del estado de durabilidad de las superficies expuestas al medio externo químico, meteorológico, freático, geográfico, razón por la cual, existe una evidencia de las causas y consecuencias referenciales del estado de

⁹ PINZÓN RODRÍGUEZ, Jesús Antenor y ORTEGA S., Miguel A. Influencia el aditivo Melmet en la resistencia del concreto. Bogotá: Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Modalidad Trabajo de grado, 1981. p. 6

¹⁰ MONTEJO FONSECA; MONTEJO PIRATOVA y MONTEJO PIRATOVA, Op. cit., p. 345

algunas construcciones por acción del agua como elemento impredecible que afecta las estructuras en concreto en la superficie terrestre.

Debido a esta situación apremiante se ha desarrollado la evolución tecnológica de productos impermeabilizantes y nuevas formas de proteger exteriormente las armaduras en concreto, sin embargo, el efecto de permeabilidad del concreto ha sido tratado con ciertos aditivos puzolánicos que se manejan y dosifican mejor en concreto fresco”, así mismo, “parte de la acción de las puzolanas para reducir la permeabilidad del concreto puede atribuirse a la menor segregación, sangrado y a la reducción de agua requerida, a la vez que el efecto en la resistencia de sulfatos con el uso de puzolanas y cemento portland aumenta la resistencia al ataque agresivo de agua de mar, a los sulfatos solubles del suelo y a las aguas compuestas acidas”¹¹ pero no ha sido suficiente en la protección de las estructuras de concreto expuestas en el terreno y consolidadas con el medio ambiente. Los aditivos producen diversos efectos sobre la resistencia del concreto, el caso de los Acelerantes, originan altas resistencias iniciales pero demoran el desarrollo de resistencias a edades posteriores, en los minerales la velocidad varía con frecuencia comparable con la de un concreto sin aditivo.

4.1.2.3 Tipos de Aditivos

Cuadro1. Aditivos

Tipo de aditivo	Efecto deseado
Aditivos convencionales <ul style="list-style-type: none"> ➤ Plastificantes ➤ Retardantes ➤ Acelerantes ➤ Plastificantes ➤ Retardantes ➤ Plastificantes ➤ Acelerantes ➤ Súper plastificantes 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plastificar o reducir el agua entre un 5% al 12% ➤ Retardar el tiempo de fraguado ➤ Acelerar el fraguado y el desarrollo de la resistencia a edades tempranas. ➤ Plastifican y retardan el fraguado. ➤ Reducen el agua entre el 12% y 30% y retardan el tiempo de fraguado.
Inclusores de aire	Aumentan la impermeabilidad y mejoran la trabajabilidad.
Aditivos minerales <ul style="list-style-type: none"> ➤ Cementantes ➤ Puzolanas ➤ Inertes 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aumentan las propiedades cementantes sustituyendo parcialmente el cemento. ➤ Manejan la trabajabilidad, la plasticidad, resistencia a los sulfatos. ➤ Reducen la reacción álcali-agregado, la permeabilidad y el calor de hidratación. Sustituyen parcialmente el cemento y rellenan. ➤ Mejoran la trabajabilidad y rellenan.

¹¹ Ibid., p. 347

Cuadro 1. (Continuación)

Tipo de aditivo	Efecto deseado
Aditivos misceláneos <ul style="list-style-type: none"> ➤ Formadores de gas ➤ Impermeabilizantes ➤ Ayudas de bombeo ➤ Inhibidores de corrosión ➤ Colorantes 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Expansión antes del fraguado. Disminuir permeabilidad. ➤ Mejora la capacidad de bombeo ➤ Reduce avance de corrosión ➤ Da color al concreto.

Fuente. GARCÍA CALDERÓN, Johana Alexandra. Determinación de Correlación entre modulo y resistencia a la comprensión del concreto (caso Prevesa). Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería. Modalidad Trabajo de Grado, 2010. p. 38.

4.1.3. Patologías. A continuación se describen las situaciones concretas por la cuales existen los fenómenos patológicos a partir de su contexto y sintomatología, razón lo cual, se afecta el contorno de las superficies estructurales de concreto bajo la influencia del medio ambiente mediante la acción de la humedad.

La Patología del Concreto se define como el estudio sistemático de los procesos y características de las “enfermedades” o los “defectos y daños” que puede sufrir el concreto, sus causas, sus consecuencias y remedios. En resumen, en este trabajo se entiende por Patología a aquella parte de la Durabilidad que se refiere a los signos, causas posibles y diagnóstico del deterioro que experimentan las estructuras del concreto. El concreto puede sufrir, durante su vida, defectos o daños que alteran su estructura interna y comportamiento. Algunos pueden ser congénitos por estar presentes desde su concepción y/o construcción; otros pueden haberlo atacado durante alguna etapa de su vida útil; y otros pueden ser consecuencia de accidentes. Los síntomas que indican que se está produciendo daño en la estructura incluyen manchas, cambios de color, hinchamientos, fisuras, pérdidas de masa u otros¹².

4.1.3.1 Contexto Patológico. La interpretación integral del entorno terrestre con el concreto dentro de las disertaciones realizadas a patologías en el concreto respecto de la utilización de aditivos en términos generales, se ha evidenciado un enfoque perimetral en cuanto al análisis de su permeabilidad, generándose un interés particular en mejorar las propiedades de morteros y concretos a nivel mundial. A partir del seguimiento a estructuras consolidadas, se ha podido reconocer un elemento estructural como afectado patológicamente, el cual, tiene un alto interés con fines diagnósticos para la generación de nuevas herramientas en cuanto a la composición de las fases minerales y vegetales que se han podido examinar aplicadamente para obtener un completo beneficio a posteriori en la impermeabilización o protección de las estructuras. Del mismo modo, se han hecho estudios donde se puede observar “desde la exploración para la generación

¹² MENDOZA, Oscar Aurelio. Efecto híbrido de los nanotubos de carbono y la nano sílice sobre las propiedades mineralógicas y mecánicas de morteros de cemento Portland. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Modalidad trabajo de grado, 2013. p. 27

de nuevas herramientas a la composición de las fases minerales, el análisis de las mezclas en estado fresco en cuanto a los procesos de hidratación y manejabilidad, hasta razonamientos referentes al alcance de resistencia, porosidad y permeabilidad han sido relevantes en búsqueda de concretos de mayores resistencias y una durabilidad superior frente a los agentes externos que inciden en su comportamiento ante las solicitaciones estructurales”¹³. Estas investigaciones realizadas han sido apreciadas para ampliar el conocimiento en la elaboración de concretos con mayores resistencias hacia una durabilidad superior.

4.1.3.2 Síntomas del Factor Externo. Entender los elementos de deterioro físico de la estructura, nos conduce a interpretar por simple lógica el contexto geográfico, geológico y atmosférico de la superficie terrestre, de donde se puede concluir, que el agua es uno de los elementos fuente de afectación más importante en los problemas patológicos, de la cual provienen las entornos de humedad y situaciones permeabilidad más importantes que soportan las estructuras en concreto pueden perturbar las condiciones de durabilidad y estabilidad de una edificación. Asimismo generan deterioros importantes que se presentan en las superficies a través de una variedad de defectos anómalos como es el caso del “hormiguero, variación del color, fuga de lechada, transparencia del agregado, burbujas, líneas entre capas, grieta por asentamiento, rebaba, Desalineamiento, descascaramiento, irregularidad dejada por los tensores, líneas de acumulación de finos, defecto de modulación”¹⁴. Leer el reporte 24 de 1971 del Concrete Industry Board (CIB) titulado “Tolerances on blemishes of concrete” y el reporte 309.2R-3 del ACI “Consolidation-relate Surface defects” del 2001. Por otro lado, la naturaleza inherente del concreto en cuanto a la retracción plástica, la contracción de fraguado, etc., forma vacíos y poros altamente permeables que permiten la entrada de agua y humedad con contaminantes, además de otras causas externas como los errores de diseño de construcción, provocando incomodidad en obras civiles y arquitectónicas.

4.1.4 Polímeros. En este tema se planteó el para qué y porque es importante destacar la definición y utilización los polímeros en estructuras de concreto, debido a que su aplicación es producir un mayor desempeño de impermeabilidad en las estructuras construidas abajo de la superficie terrestre afectadas a nivel exterior.

El uso de polímeros en las estructuras de concreto se caracterizan por su dimensión protectora en relación con el medio ambiente, su objetivo fundamental consiste en resguardar la estabilidad y durabilidad de las edificaciones como consecuencia del contexto físico, por las condiciones orgánicas del suelo y la propiedad de plasticidad que ejerce el nivel freático del subsuelo, así mismo, el

¹³ BARÓN, Omar Alberto y MERCADO, Yamil José. Efecto de la sílice coloidal en las propiedades en estado fresco y endurecido del mortero y concreto hidráulico. Bogotá: Universidad Pontificia Javeriana. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2012. p. 24

¹⁴ FIGUEROA, Tatiana y PALACIO, Ricardo. Patologías, causas y soluciones del concreto arquitectónico en Medellín. En: Revista EIA. Noviembre – Diciembre, 2008. no. 10, p. 122.

sistema meteorológico influye de manera constante en la situación del tiempo o a los cambios climáticos que originan variabilidad de temperatura en la actualidad.

4.1.4.1 Planteamiento de Reducción Patológica a Base de Polímeros. Los aspectos de recuperación o protección del estructuras de concreto en el ámbito de conservación y estabilidad de las edificaciones, se puede aplicar de acuerdo a la formulación de un compuesto que pueda “modificar un hormigón con polímeros, consiste en sustituir parte de la cantidad de cemento por una cantidad estudiada de polímero, mejorando significativamente las propiedades del hormigón, en concreto su durabilidad, por lo que recientemente se ha orientado este tipo de material a reparaciones y restauración de estructuras de hormigón dañados”¹⁵, sin que se perciba la protección en la parte externa aun en construcciones nuevas, debido a que es un tema álgido de resolver para evitar filtraciones comunes en las edificaciones y se requiere de compromiso interdisciplinario y asociativo a nivel empresarial. Con el uso de polímeros en las áreas y volúmenes de concreto construidas se consiguen elementos estructurales sostenibles, económicos y duraderos, todo ello con un aspecto de ligereza y delgadez convirtiéndolo en un material con gran aplicación no solo en la complejidad de la cimentación sino en los acabados de las edificaciones, aunque todavía no se utilice a gran escala en la mayoría de los países. “Un hormigón ultra-resistente que ya de por sí tiene unas características excepcionales de durabilidad y resistencia, es decir, se pretenden llevar a cabo unas mejoras en la resistencia a flexión del hormigón, puesto que el polímero le atribuye docilidad y flexibilidad”.

4.1.4.2 El Concepto de Protección de las Estructuras de Concreto. De modo que en síntesis la formación del concepto se compone de la siguiente forma teniendo en cuenta la relación de formación de los aditivos en su procedimiento de preparación, en el caso del Hormigón y mortero polimérico: “es un material compuesto, dónde se sustituye el conglomerante hidráulico (agua más cemento) por un conglomerante orgánico (polímero), tales como resinas termoestables, monómeros de vinilos o resinas de alquitrán modificado. Es decir, son materiales formados por dos componentes, una resina líquida sintética (polímero) y agregados minerales. La mayoría de estas resinas termoestables se polimerizan a temperatura ambiente”¹⁶.

El criterio de impermeabilización tiene asiento fundamental en la formación y utilización de “Las fibras sintéticas: son fabricadas a partir de nylon, polipropileno, poliéster, polietileno, acrílico, carbón, vidrio, etc. Estas fibras se utilizan como complemento del concreto en construcciones para controlar los efectos de humedad y las pérdidas de agua en la etapa plástica, es decir, en las primeras 48

¹⁵ ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN, Op. cit., p. 4

¹⁶ *Ibid.*, p. 16

horas de vertido el concreto, previniendo la formación de fisuras o la segregación de la mezcla”¹⁷.

¹⁷ ÁNGEL ARANGO, Alejandro y LOPERA RENDÓN, DANIEL. Estudio de factibilidad para producción de fibras de acero para refuerzo del concreto, caso: TRETTECSA S.A.S.. envidado: Escuela de Ingeniería de Antioquia. Facultad de Ingeniería Administrativa. Modalidad trabajo de grado, 2013. p. 44

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1 CARACTERIZACIÓN POLIMÉRICA EN EL CONCRETO

La formación de polímeros en el concreto genera una reacción de protección a la resistencia de los hormigones con polímeros frente a los agentes químicos y atmosféricos, fundamentalmente tiene que ver con la durabilidad de los elementos estructurales, que dependen de los bajos niveles de absorción de agua que presentan los hormigones fabricados con polímeros en comparación con la del hormigón hidráulico. Esto impide e imposibilita también la destrucción mecánica en los procesos a bajas temperaturas y los frecuentes cambios climáticos que inciden particularmente en la contracción estructural de los elementos de concreto ocasionando debilitamiento y estabilidad en las propiedades físicas durante el tiempo de vida útil.

Desde el punto de vista reológico los concretos con polímeros tienen un comportamiento (retracción fluencia) similar al de los hormigones convencionales, si bien en algunos casos los valores que se pueden alcanzar son significativamente mayores que para aquellos hormigones. Estos resultados deben ser tenidos en cuenta a la hora de exigir que la estructura cumpla los requisitos requeridos al final de la vida prevista. En otro orden de cosas los materiales poliméricos y sus compuestos de concreto a altas temperaturas como se ha señalado combustión fácilmente y arden. Este efecto se puede disminuir utilizando aditivos ignífugos retardadores de llama o sustancias auto-extinguibles¹⁸.

5.2 VENTAJAS DEL HORMIGÓN MODIFICADO CON POLÍMEROS

A diferencia de los Aditivos los polímeros para hormigones puestos en el mercado permiten mejorar la mezcla y potenciar las propiedades del concreto, así que:

Mortero y hormigón modificado con polímero: Se caracterizan por añadirles en el proceso de mezclado, junto con el cemento Portland, los áridos y el aditivo, un polímero tal como el látex, resinas líquidas o monómeros, formando todo ello una matriz mixta donde el polímero se homogeniza con los demás componentes. De esta manera se consigue durante el amasado un aglomerante híbrido orgánico-inorgánico (polímero, cemento y agua). Para que el resultado sea satisfactorio debe existir una buena compatibilidad entre ambos, tanto en esta etapa de amasado como en la posterior durante el endurecimiento del hormigón¹⁹.

“Los hormigones impregnados con polímeros: son hormigones convencionales que una vez endurecidos se les hace un tratamiento de secado para con posterioridad rellenar los poros con polímero mediante una impregnación en vacío y/o a presión. Esta impregnación suele alcanzar espesores limitados y en

¹⁸ ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN, Op. cit., p. 23

¹⁹ *Ibid.*, p. 14

cualquier caso es una tecnología no simple por lo que la influencia de la puesta en obra debe ser tomada muy en cuenta”²⁰.

²⁰ Ibid., p. 18

6. APLICACIÓN DE LOS POLÍMEROS

La limitada información de estudios referentes al uso de polímeros en Colombia, me permitió abstraer un marco lógico conceptual acerca la percepción ilustrada de otros países para obtener un conocimiento enfocado de la conceptualización original, evolución del material y aplicación constructiva a raíz de razones concretas, así que, los antecedentes de aplicación pueden sujetarse integralmente ya que:

El uso de polímeros en los materiales de construcción no es nada nuevo, de hecho se sabe que han sido utilizados desde tiempo antiguos. En aquella época se solían utilizar morteros a base de cal y cemento, materiales que no son suficientemente duraderos para construir muchos de los monumentos y edificios que todavía hoy siguen en pie, en estas construcciones la resistencia, la impermeabilidad y la durabilidad eran requisitos indispensables que se conseguían gracias a la incorporación de polímeros naturales, es decir, materiales orgánicos e inorgánicos que encontraban en la naturaleza²¹.

Sin embargo, en ese momento no se percibía la magnitud de aplicación en estructuras de concreto, sino que a partir de la evolución industrial se ha avanzado en formación de estructuras 100% poliméricas.

Sucesivamente y en consecuencia, podemos decir que:

Con la invención del cemento Portland, éste cemento junto con el hormigón, sustituyó al mortero a base de cal y cemento, consiguiendo introducir los polímeros en éstos. El primer uso de polímeros sintéticos se remonta al año 1924, cuando Lefebur utilizó látex de caucho natural en su forma vulcanizada y sin vulcanizar, y diseñó el cemento látex. Otros productos a base de acetato de polivinilo se desarrollaron en la década de 1940 así como el látex a base de polímeros termoelásticos tales como acrílicos y cloruros de vinidileno que se introdujeron en la década de 1960²².

Para continuar con el marco de referencia histórico de aplicación, se estableció “Desde que a principios de siglo los llamados materiales plásticos o polímeros irrumpieron tímidamente en el mercado en aplicaciones consideradas marginales, su producción y consumo no ha cesado de aumentar. Las aplicaciones cada vez han sido más variadas y en algunos casos están sustituyendo a materiales que, como los metálicos habían sido considerados hasta hace poco como irremplazables en determinadas aplicaciones estructurales”²³.

²¹ *Ibid.*, p. 10

²² *Ibid.*, p. 10

²³ *Ibid.*, p. 10

6.1 MARCO LÓGICO Y TECNOLÓGICO DE LOS POLÍMEROS

En resumen, el estado lógico de los polímeros relaciona la impermeabilización con la protección y la capacidad de mayor resistencia del concreto, aunque de todos modos la clasificación difiere en los documentos encontrados en Colombia, a exploraciones superficiales, donde se requiere ir al punto óptimo de conceptual, para que se tome el criterio real de los términos en apoyo a dar claridad al tema.

La investigación de este tipo de hormigones se ha centrado principalmente cómo solución a los problemas de deterioro que tienen las estructuras de hormigón convencional y a la creciente demanda de prefabricados de hormigón armado en lugar de realizarlos in situ, ya que se ahorra en tiempo, es más sostenible con el medio ambiente y más viable económicamente, puesto que se necesita menos mano de obra y transporte. Por lo tanto es necesario el desarrollo de un material más duradero y que se pueda llevar a cabo su prefabricación²⁴.

6.1.1 Referentes de Aplicación. La capacidad de protección que pueda tener un reforzamiento estructural o la resistencia de impermeabilidad de una superficie de concreto terminada, en cuanto a la solicitud de servicio de la “Tipología macro-estructural: un hormigón con polímero se ha de considerar como un sistema trifásico formado por una fase de áridos, una matriz ligante y una cierta porosidad inevitable en cualquier proceso de fabricación industrial de estos compuestos”²⁵,

Mientras que en un hormigón de cemento portland y un hormigón de cemento portland con polímero, la porosidad produce una verdadera red de canales que posibilita el contacto de la masa de hormigón con el exterior, en el hormigón impregnado de polímero, la misión del polímero es precisamente la de llenar y taponar por lo menos superficialmente esta red de contacto con el exterior. En el hormigón de polímero, la porosidad existente se presenta aislada en el centro sin conexión entre sí ni con el exterior²⁶.

En este caso se puede solucionar por razón de su carácter funcional al rectificar la condición de permeabilidad.

6.1.1.1 Los Tubos o Nona-tubos de Carbono. En realidad, no se especifica el uso en la construcción y no hay ejemplos de aplicación, sin embargo lo tomamos como punto exploraciones para ejercer observaciones a profundidad con base en este marco conceptual:

Los tubos de carbono, desarrollados, con técnicas manométricas (referente a la milmillonésima parte del metro), proporcionaron al cemento mayor resistencia y duración, además de permitir la producción de un material de mejor calidad y costo más bajo que los desarrollados en otros países.

²⁴ *Ibid.*, p. 11

²⁵ *Ibid.*, p. 16

²⁶ *Ibid.*, p. 18

Estas estructuras ofrecen notables mejoras en diversos materiales. Por ejemplo, con una pequeña cantidad de nanotubos, equivalente al 1 o 2 por ciento del peso total del concreto, las propiedades mecánicas de ese material se incrementan de un 30 a un 60 % .del cemento o concreto resiste enormes fuerzas de compresión, pero a fuerzas de tracción, flexión y cortantes, no tiene buen comportamiento o resistencia; por lo tanto en ciertas partes del mundo se hacen investigaciones acerca de cómo funcionan los nanotubos de carbono aplicados al cemento, ya que estos ayudarían a mejorar la resistencia del cemento, la adicción de los nanotubos generaría mayor tracción y compresión aumentándolo hasta en un 80%, así como la contracción autógena, ya que los nanotubos de carbono forman enlaces entre sí evitando por completo que se generen grietas y fisuras provocados por los poros. El hormigón que contiene un 1% en peso de nanotubos de Carbono tiene mayor resistencia a la compresión y a la flexión que el que carece de dicho refuerzo. Los problemas que ahora tratan de resolver nuestros " nano-tecnólogos del hormigón "son dos: conseguir que los nanotubos se dispersen bien y no se aglomeren, y fabricarlos de forma barata, pues el precio del hormigón reforzado con nanotubos de carbono está por las nubes. Como el de los pisos²⁷.

6.1.1.2 Las Fibras de Carbono. El uso de este tipo de material se basa en la comercialización del producto donde se establecen condiciones de aplicación a nivel internacional, el cual han sido experimentadas en Colombia con resultados que solamente las empresas tienen, en ese sentido, "Las fibras de carbono, son materiales compuestos por un 95% de carbono y un 5% por otros componentes, estas se obtienen a partir de una fibra precursora, generalmente poliacrilonitrilo, que es sometida a diferentes procedimientos de transformación: Estirado (orientación), oxidación, carbonatación y grafitización"²⁸. Un ejemplo son las platinas elaboradas por Sika con fibras de carbono, son productos poliméricos reforzados pultrusionados (mejoramiento de propiedades del material, tales como la resistencia a la corrosión, entre otras, diseñadas para el refuerzo de estructuras de concreto, madera y acero. "Las platinas pegan a la estructura como una armadura externa usando una resina epóxica, que mejora de las condiciones de servicio, en cuanto se refiere a disminución de flechas y deformaciones, corrosión de las armaduras con disminución de secciones útiles, disminución del ancho de grietas y reducción de la fatiga"²⁹.

6.1.1.3 La Incorporación de un Polímero en Concretos de Ultra Alta Resistencia. La incorporación de una resina acrílica a un hormigón ultra-resistente con excepcionales cualidades de durabilidad, cuyo fin primordial es mejorar su resistencia a flexión, ya que el polímero atribuye flexibilidad y

²⁷ LÓPEZ, Patricia. Logra mexicano nuevos nanotubos [en línea]. México: Universidad [citado 5 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://noticias.universia.net.mx/cienciannntt/noticia/2005/02/10/110327/logra-mexicano-nuevosnanotubos.html>>.

²⁸ CONTRERAS, José Rafael. Uso de fibras de carbono como reforzamiento a corte. Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería. Modalidad Trabajo de grado, 2011. p. 26

²⁹ *Ibid.*, p. 27

manejabilidad al hormigón (cumple la misma función del aditivo), sin perder las características propias de un hormigón ultra-resistente.

Al describir el hormigón polimérico formado por un material compuesto donde “se sustituye el conglomerante hidráulico (agua más cemento) por un conglomerante orgánico (polímero), tales como resinas termoestables, monómeros de vinilos o resinas de alquitrán modificado y polimerizadas a temperatura ambiente”, es decir, se forman por una “resina líquida sintética (polímero) y agregados minerales” para obtener el mortero polimérico utilizado en acabados y el hormigón polimérico usa en productos prefabricados.

No obstante, el ejemplo de aplicación a nivel exterior de las superficies de concreto a través de la “tecnología de hormigones impregnados con polímeros en concretos tipo endurecido, al ser sometidos a un tratamiento de secado y rellenar los poros con polímero en vacío y/o presión alcanzan espesores limitados”, así que, esta clase de hormigón, es el menos desarrollado en la construcción debido a que se requiere gran cantidad de energía térmica en el proceso de secado por lo que su coste de producción se eleva considerablemente³⁰.

No hay métodos exactos para medir la profundidad de impregnación de los polímeros, por lo que el control de calidad es difícil y por tanto su fiabilidad para aplicaciones estructurales es nula.

Sin embargo, las propiedades de hormigones formados con polímeros obtienen resistencias mecánicas muy superiores al hormigón de cemento portland, con una resistencia mayor a 100 Mpa y llegando en muchos casos a los 200 Mpa, así que, el hormigón ultra-alta resistente es casi como el acero, excepto por su resistencia a tracción, que todavía es relativamente baja, pero duplica la resistencia de hormigones convencionales. Las principales investigaciones que se están llevando a cabo para aplicar este material son en los puentes atirantados. Con el hormigón ultra-alta resistente, se consigue una superestructura ligera, pudiendo ahorrar en cables y cimientos. Además, si añadimos fibras al hormigón y se pretensa puede ser utilizado como cubierta en los puentes colgantes, ya que aunque trabaja mayoritariamente a flexión también debe resistir grandes tracciones y compresiones. Para mejorar la capacidad de tracción y cortante, se le pueden añadir fibras de carbono para que ésta pueda resistir toda la tensión. O bien, crear un molde con las fibras de carbono y rellenarlo de hormigón ultra-alta resistente, obteniendo vigas ligeras y ultra resistentes³¹.

³⁰ ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN, Op. cit., p. 7

³¹ *Ibid.*, p. 8

7. ESTADO DEL ARTE

En el estado del arte que se llevó a cabo fue necesario la clarificación de conceptos empleados en la búsqueda y recolección de las tesis encontradas en Colombia, acerca del tema en específico que fue dándole el sentido que buscaba cubrir la investigación llevándola a los buscadores de información dentro de los repositorios institucionales que se encontraron en el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), dentro del cual se clasificó la información que se presenta en el documento existente.

7.1 CUADROS DE INFORMACIÓN RECOPIADA

Cuadro 2. Trabajo Caracterización de Fisuras en Vigas de Concreto Reforzado con Adición de Fibras de Polipropileno Sometidas a Flexión Dinámica

TITULO DEL TRABAJO	CARACTERIZACIÓN DE FISURAS EN VIGAS DE CONCRETO REFORZADO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO SOMETIDAS A FLEXIÓN DINÁMICA	
AUTORES	MARIA DE LOS ANGELES LIEVANO; ANGELA PATRICIA GUTIERREZ TORRES	
UNIVERSIDAD	PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA	
DIRECTOR	ING. DANIEL MAURICIO RUIZ VALENCIA	
CIUDAD-FECHA	ING. FEDERICO ALEJANDRO NUÑEZ MORENO	
FUENTE	BOGOTÁ 2011	
	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
	<p>GENERAL Caracterizar el comportamiento de las fisuras en vigas de concreto reforzado (ancho, longitud y área de afectación) con adición de diferentes porcentajes de fibras de polipropileno para la acción de cargas cíclicas.</p> <p>ESPECIFICOS Medir el crecimiento de las fisuras en las vigas de concreto reforzado con adición de fibras de polipropileno para diferentes etapas de carga cíclica. Determinar la capacidad de disipación de energía en elementos de concreto sometidos a flexión dinámica para diferentes dosificaciones de fibras de polipropileno, en comparación con vigas similares sin las adiciones. Monitorear mediante Strain Gages la deformación unitaria del acero de refuerzo, y su comportamiento a medida que crece el ancho de fisuración producido por cargas cíclicas.</p>	<p>CONCLUSIONES GENERALES La adición de fibras de polipropileno en concretos convencionales genera un refuerzo distribuido aleatoriamente en tres direcciones el cual proporciona durabilidad en términos de propagación de fisuras a las estructuras construidas con dicho material.</p> <p>Con base en el tipo de fibras y su dosificación, son distintas las propiedades que se confieren al concreto convencional; teniendo en cuenta lo anterior su selección se debe basar en los distintos usos y aplicaciones a los que este destinada la estructura como se muestra en el ANEXO 6.</p> <p>Es bien sabido que en ciertos países es frecuente el uso de concretos reforzados con fibras para elementos estructurales, por lo cual con este trabajo de grado se da un aporte al conocimiento que existe actualmente y se promueve su uso.</p> <p>CONCLUSIONES ESPECÍFICAS El parámetro que define el estado de fisuración en las vigas para cada una de las etapas de carga es el área de afectación, de la que se concluye que para vigas con adición de fibras se tiene menor daño estructural debido a estados elevados de fractura por el aumento gradual de la carga. Con base en lo anterior el porcentaje de fibras que mejor controla la fisuración en vigas de concreto convencional es el porcentaje de 1.8 kg/m³.</p> <p>La energía disipada aumenta significativamente para concretos con adición de fibras de polipropileno tipo Sikafiber 600. Así, se tiene que la energía disipada aumenta un 104% para 1.8 Kg/m³ de adición de fibras, un 108% para 3.8 Kg/m³ de adición de fibras y un 115% para adiciones de 5.8 Kg/m³.</p> <p>El concreto con adición de Macrofibras de polipropileno disminuye la velocidad de propagación de las fisuras en un 26% para una adición de 1.8 Kg/m³, un 39% para una adición de 3.8 Kg/m³ y 13% para una adición de 5.8 Kg/m³, lo anterior para la velocidad máxima de propagación de fisura generada por la carga 4500 Kg-f en el ensayo dinámico.</p> <p>La severidad con la que se propaga la fisura disminuye significativamente (35%) para una adición de 1.8 Kg/m³ en comparación con el comportamiento de la mezcla de concreto convencional; sin embargo para los porcentajes de 3.8 Kg/m³ y 5.8 Kg/m³, dicho parámetro aumenta en un 45% y 17% respectivamente. Las deflexiones máximas disminuyen de forma considerable para las vigas realizadas con adición de fibras. Así, se tiene que disminuye en un 29% para una adición de 1.8 Kg/m³, en un 23% para 3.8 Kg/m³ y en un 6% para 5.8 Kg/m³</p> <p>El área de afectación para concretos convencionales es el 41% del área bajo estudio en la viga, mientras que para concretos con adición de fibras se encontró que disminuyó casi al 35%. La viga de concreto convencional alcanza comportamientos no lineales en el acero de refuerzo en un paso de carga igual a 6, mientras que las vigas con 3.8 Kg/m³ y 5.8 Kg/m³ alcanzan dicho comportamiento en el paso de carga 9.</p>

Fuente. El Autor

Cuadro 3. Estado del Arte Uso de Nanotubos de Carbono para la mejora de las Propiedades en los Concretos

TITULO DEL TRABAJO	Estado del Arte Uso de Nanotubos de Carbono para la mejora de las propiedades en los Concretos.	
AUTORES	Andres Ariza Bachiller; Julio César Casas Yaya	
UNIVERSIDAD	U. Católica de Colombia	
DIRECTOR	Geóloga Alejandra Rivera Basto	
CIUDAD-FECHA	Bogota D.C. 2013	
FUENTE	http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/905/3/Estado-arte-uso-nanotubos-carbono-mejora-propiedades-concretos.pdf	
	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Realizar un estado del arte sobre el uso de los nanotubos de carbono en las mejoras de las propiedades de los concretos.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Recopilar información sobre los principales estudios realizados acerca del desarrollo de nanotubos de carbono en el concreto.</p> <p>Determinar las ventajas y desventajas del uso de los nanotubos de carbono, de acuerdo con la información de investigaciones existentes.</p>	<p>Los nanotubos de carbono son materiales únicos en cuanto a sus propiedades, estructura y lo que pueden aportar a la mejora al desarrollo de nuevas tecnologías.</p> <p>Las mejoras de las propiedades en los concretos por el uso de nanotubos de carbono, lo convierten en un material ideal para implementar en todas las áreas de la ingeniería civil.</p> <p>Según cifras encontradas se puede asegurar que Colombia está muy lejos de alcanzar en investigación, desarrollo, inversión e implementación de esta tecnología a países que sí lo han hecho y que hoy en día están viendo resultados y mejoras en procesos tecnológicos.</p> <p>Las investigaciones que se están llevando a cabo en otros países, se pueden clasificar en dos. Primero: Las investigaciones que ha logrado modificar la estructura molecular creando así cementos de mayor resistencia y durabilidad y segundo: Las investigaciones que buscan incorporar nano sensores (micro sensores) que monitorean el estado de conservación de los edificios, represas, puentes y carreteras, afectados normalmente por la contaminación, agentes bioquímicos, condiciones ambientales.</p> <p>Las nuevas mejoras cemento al incluir los nana tubos de carbono en la estructura molecular del cemento ha hecho que esta mezcla sea insolubles al agua otro factor que ha restringido el uso de esta tecnología en la construcción, es el desconocimiento de los efectos de las nano partículas en el organismo humano y en el medio ambiente, ya que se mencionado en otros estudios con nano tubos de carbono que estos producen células cancerígenas en el ser humano.</p>

Fuente. El Autor

Cuadro 4. Evaluación del desempeño del cemento portland Tipo III adicionado con sílice

TITULO DEL TRABAJO	EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL CEMENTO PORTLAND ADICIONADO CON NANO PARTICULAS DE SILICE	
AUTORES	Jorge Ivan Tobon	
UNIVERSIDAD	U. Nacional de Colombia	
DIRECTOR	Doctor Oscar Jaime Restrepo B. Facultad de Minas Escuela de Ingeniería de materiales	
CIUDAD-FECHA	Medellin	
FUENTE	http://intranet.minas.mede.unal.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=1472:evaluacion-del-de-sempeno-de-l-cemento-portland-adicionado-con-nanoparticulas-de-silice-&catid=388:cuadernos&Itemid=330	
OBJETIVOS	CONCLUSIONES	
<p>Buscar cementos de más altas especificaciones y menor impacto ambiental, hace alusión a mayor resistencia y mayor durabilidad, porque por una parte se desea construir edificaciones más altas pero con menor volumen de las columnas y vigas para una mejor optimización de los espacios, y por la otra, se quiere desarrollar cementos que resistan ambientes más abrasivos o con propiedades especiales para aplicaciones específicas como por ejemplo en la industria de petróleo o en el desarrollo de fachadas con propiedades auto limpiantes. Todo esto lleva a experimentar con adiciones de nano partículas al cemento, dado que en otros campos de la Investigación se han obtenido resultados sorprendentes al mezclar partículas manométricas en los diferentes productos.</p> <p>Las caracterizar los productos las reacciones por hidrólisis e hidratación que permiten la formación de productos hidratados estables y mecánicamente resistentes mediante técnicas más avanzadas como la microscopía electrónica, la difracción de rayos, la fluorescencia de rayos X, la estereoscopia de infrarrojos, la resonancia magnética nuclear, la micropía de fuerza atómica entre otras, para una mejor predicción del comportamiento del cemento y para un modelamiento más realístico del desarrollo micro estructural.</p> <p>observar las adiciones minerales en el cemento, que en determinadas proporciones y no Adicionadas a la materia prima o molidas juntamente con el Clinker no afectan el cemento resultante, puede aportar alguna cualidad ambiental económico y tecnológica.</p>	<p>El resultado de la investigación del efecto que produce la nano sílice en suspensión (HS) y en polvo (NY) que tienen las propiedades en estado fresco y endurecido del cemento portland, arroja una adición mineral conocida como el humo de sílice y un material sílice o de alta área específica y bajo costo como el perosil.</p> <p>La caracterización de los materiales química, física y mineralógicamente, mediante FRX granulometría laser, área superficial específica, potencial Z, DRX, SEM, TEM y análisis térmico. Se encontró que todas las adiciones utilizadas eran de alta pureza química y Mineralogía con muy bajo grado de cristalinidad. En suspensión (HS) presento el mayor potencial Z a PH, logrando dispersar mejor en las mezclas arrojando buenos resultados.</p> <p>Análisis de pastas y morteros mediante ensayos de consistencia normal, tiempos de fraguado calorimetría de conducción, fluidez análisis térmico convencional y de máxima resolución, reología, resistencia a la compresión y flexo-tracción, poro simetría de introducción de mercurio, succión capilar y cambio longitudinal por el ataque de sulfatos.</p> <p>Los resultados de esta tesis tendrán un impacto en dos ámbitos diferentes: En el científico permitirán conocer, 1º las modificaciones mineralógicas y las tasas a la que esto ocurre en las pastas de cemento por el uso de la nano sílice y su correlación con el desarrollo de resistencia mecánica de los morteros y 2º la incidencia de la nano sílice en los diferentes % utilizados, en el desempeño de pastas y morteros en estado seco y endurecido especialmente en velocidad de hidratación de las diferentes fases, liberación de calor, demanda de agua, viscosidad, esfuerzo de de cencia, porosidad y estructura de poros, resistencia a flexión y compresión, resistencia al ataque de sulfatos. 3º definición de 5 óptimo de sustitución que permite potencializar al máximo el desempeño de las pastas y morteros en cuanto a resistencia mecánica durabilidad y viscosidad.</p>	

Fuente. El Autor

Cuadro 5. Efecto de la Sílice Coloidal en las Propiedades en Estado Fresco y Endurecido del Mortero y Concreto Hidráulico

TÍTULO DEL TRABAJO	
EFECTOS DE LA SÍLICE COLOIDAL EN LAS PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO DEL MORTERO Y CONCRETO HIDRAULICO	
AUTORES	
Omar Alberto Barón G. Yamil José Mercado Q.	
UNIVERSIDAD	
U. Pontificia Javeriana	
DIRECTOR	
María Patricia León N.	
CIUDAD-FECHA	
Bogotá D.C. 2012	
FUENTE	
http://repositorio.javeriana.edu.co/bitstream/10554/2584/1/BaronGonzalezOmarAlberto2012.pdf	
OBJETIVOS	CONCLUSIONES
<p>Buscar materiales que permitan adelantos en cuanto a la mejora de las propiedades de los morteros y concretos a costos razonables, se han realizado investigaciones referentes al uso de partículas a escala nanométrica que al ser adicionadas generen dichos beneficios.</p> <p>Evaluar la posibilidad de encontrar dichas mejoras en las propiedades físicas y mecánicas del mortero y concreto hidráulico en estado fresco y endurecido, elaborados con los cementos nacionales y con la inclusión de sílice coloidal en las mezclas, evaluando el porcentaje óptimo de adición según la resistencia de diseño.</p> <p>Realizar inicialmente la caracterización de los materiales al igual que la ejecución de pruebas piloto en morteros para encontrar los rangos de adición de sílice coloidal útiles en la búsqueda del incremento en las ventajas de las mezclas en cuanto a sus propiedades, posibilitando la determinación de las variables de estudio (tipo de cemento, porcentaje de adición de sílice coloidal, relación agua-material cementante, inclusión de plastificante).</p> <p>Rescatar la acción de densificación de la sílice coloidal que con el valor óptimo de adición de l en peso de cemento incrementó la resistencia a compresión de los morteros y concretos r+A236e s p e c t i v a m e n t e , además de lograr una reducción de la permeabilidad.</p> <p>Identificar deficiencias respecto a la reducción de la manejabilidad de las mezclas en estado fresco haciendo necesaria la inclusión de un agente plastificante, al igual que el encuentro de valores similares alcanzados en cuanto a la resistencia a flexión del concreto hidráulico sin evidenciar alguna mejora significativa.</p>	<p>La manejabilidad para los tres cementos en las mezclas de morteros presenta un comportamiento similar, ya que esta se reduce a medida que se incrementa el porcentaje de adición de sílice coloidal, la manejabilidad se reduce entre un 11 y 19% para el cemento 1, para el cemento 2 se reduce entre un 8 y 21% y para el cemento 3, se reduce entre un 10 y 23% con las adiciones de sílice coloidal entre un 5 y 9% respectivamente.</p> <p>La manejabilidad en los concretos presenta una disminución con la adición de sílice coloidal, la cual fue controlada con el plastificante, ya que para alcanzar el asentamiento objetivo de 10 centímetros en la muestra patrón se incluyó 0.15% de plastificante y para este mismo asentamiento en la mezcla con 8% de adición de sílice se incluyó 0.5% de plastificante.</p> <p>Para las mezclas en concreto en estudio con el cemento 1, se evidencia que no existe una variación significativa en cuanto a la temperatura máxima presentada, como tampoco algún cambio en el tiempo de fraguado para las mezclas con adición óptima de sílice coloidal (8%) en contraste con las muestras patrón sin adición.</p> <p>El desarrollo de las resistencias a la compresión en morteros para las edades de 7, 28 y 56 días de curado, presentan un comportamiento similar entre los morteros sin adición y los morteros con los diferentes porcentajes de adición, con lo cual se establece que la inclusión de sílice coloidal no genera incrementos significativos en la resistencia a edades antes mencionadas.</p> <p>Del mismo modo, se detecta que el concreto para las edades de 7, 28 y 56 días de curado incremento en la resistencia se da de manera similar a las mezclas con 0 y 8% de adición de sílice. Debido a esto, se establece que la inclusión de sílice coloidal en el concreto no influye apreciablemente en el encuentro de mayores resistencias a compresión a las edades en estudio.</p> <p>Respecto al alcance de resistencia a la compresión de los morteros realizados con los tres cementos colombianos en estudio, se evidenció que el cemento 1 es el que presenta mejor desempeño con la adición de sílice coloidal, ya que se alcanzaron incrementos de resistencias hasta del 15.2%.</p> <p>El alcance de resistencia del cemento 1 en concretos con el 8% de adición de sílice, se incrementó hasta un 24.4% a la edad de 28 días de curado, lo que evidencia que el comportamiento de la sílice coloidal en diferente en morteros y concretos.</p> <p>Con relación a la ganancia de resistencia a la flexión en concretos realizados con la adición óptima de sílice coloidal (8% en peso de cemento), se evidencia una reducción hasta de un 9% respecto a las muestras patrón sin adición. Esta condición permite afirmar que bajo las mismas consideraciones de densificación del concreto adicionado con sílice coloidal, el material aumenta su rigidez y se produce la falla frágil del concreto sometido a la aplicación de una menor carga.</p>

Fuente. El Autor

Cuadro 6. Efecto de Algunas Adiciones Minerales Colombianas en la Fabricación del Clinker para Cemento Portland I

TITULO DEL TRABAJO	EFECTO DE ALGUNAS ADICIONES MINERALES COLOMBIANAS EN LA FABRICACIÓN DEL CLINKER PARA CEMENTO PORTLAND I	
AUTORES	Olga Patricia Restrepo B. Ingeniera Civil; Jorge Ivan Tobón Geólogo prof. Asociado ; Oscar Jaime Restrepo B. Ingeniero de Minas.	
UNIVERSIDAD	U. Nacional de Colombia	
DIRECTOR	Facultad de minas Revista Dyna ISSN 0012-7353 Versión impresa	
CIUDAD-FECHA	Medellin 2007	
FUENTE	http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49615225	
	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
	<p>Describir el proceso de sinterización dentro de la fabricación del cemento, el que consume mayor cantidad de energía y por esta o clinkerización es, razón, muchos estudios se enfocan a buscar la reducción del calor consumido por tonelada de clinker producida.</p> <p>Enunciar el procedimiento de acuerdo con el diagrama de flujo, en él que se presentan las diferentes actividades realizadas, herramientas y productos obtenidos.</p> <p>Suministro de materiales empleados, utilizando una pasta cruda para la realización de las pruebas se suministrada por el Grupo Argos, Planta Cementos El Cairo.</p> <p>Resultados de la caracterización de materiales: la pasta cruda, la fluorita, el feldespato, el manganeso (selección de la temperaturas de quema) el caracterización del clinker.</p>	<p>Con la adición de 0,5% de fluorita se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a formación de alita, belita y contenido de fase vítrea y de cal libre. Con este porcentaje de adición, la temperatura de cocción en el horno fue 1320°C, es decir 130°C por debajo de lo que requiere una pasta sin adición. El porcentaje de alita fue del 51% y el de belita de 29%.</p> <p>En general, para la adición de fluorita, a medida que aumentó el porcentaje de adición, disminuyeron la cantidad de cal libre en las mismas condiciones de tiempo en el horno y la temperatura de cocción, buen comportamiento como mineralizantes pues aunque se logró bajar</p> <p>la temperatura de clinkerización con el uso de éstos, la formación de las fases minerales no fue adecuada.</p> <p>Los valores de temperatura encontrados para la quema en el horno mediante la técnica de DTA y el tiempo de residencia en el horno fueron apropiados para las condiciones de este trabajo, lo cual fue verificado con los ensayos de DRX.</p> <p>En los análisis de DTA, para las adiciones de fluorita y feldespato se encontró que el pico endotérmico correspondiente al efecto producido por descarbonataciones se formó a una menor temperatura a medida que se añadió el mineralizante.</p>

Fuente. El Autor

Cuadro 7. Análisis de la Resistencia a la Compresión del Concreto al Adicionar Limalla Fina en un 3-4% Respecto al Peso de la Mezcla

TITULO DEL TRABAJO	ANALISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO AL ADICIONAR LIMALLA FINA EN UN 3-4% RESPECTO AL PESO DE LA MEZCLA	
AUTORES	Juan Sebastian Reyes Bautista; Yamid Alonso Rodríguez Pineda	
UNIVERSIDAD	Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga	
DIRECTOR	Claudia Patricia Retamoso Lamas Mic. Ingeniería Civil	
CIUDAD-FECHA	Bucaramanga 2010	
FUENTE	http://repositorio.upb.edu.co:8080/ispui/bitstream/123456789/1360/1/digital_19885.pdf	
OBJETIVOS		CONCLUSIONES
<p>OBJETIVO GENERAL Establecer por medio de ensayos de laboratorio la composición óptima de agregados para una mezcla de concreto adicionado con el 3-4% de limalla fina, con el fin de reducir el uso de recursos no renovables en la fabricación de la mezcla (fomentando el desarrollo sostenible en la industria del concreto) y aumentar considerablemente o mantener la resistencia a la compresión del concreto.</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS Analizar la variación de la resistencia a la compresión del concreto, comparado mezclas convencionales de concreto y de mezclas de concreto adicionados con limalla fina.</p> <p>Realizar diferentes mezclas de concreto para un mismo porcentaje de limalla fina (3%, 4%, 5%) disminuyendo en 5% el contenido de agregado grueso y aumentando el mismo porcentaje de agregado fino respectivamente en cada mezcla.</p> <p>Ejecutar ensayos de resistencia a la compresión, a edades de siete (7), catorce (14), y veintiocho (28) días, con el fin de registrarlos.</p> <p>Realizar el análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos, con el fin de determinar la composición óptima de agregados (Diseño de mezcla óptima), para el porcentaje de limalla adicionada.</p> <p>Definir el porcentaje de limalla óptimo el cual proporcione el aumento más significativo en la resistencia a la compresión del concreto respecto a los demás porcentajes ensayados.</p>		<p>De manera general se concluye por medio de la ejecución de este trabajo que la adición de limalla a las mezclas convencionales de concreto, proporciona un aumento significativo de la resistencia a la compresión del mismo. La máxima resistencia se logra adicionando 4% de limalla respecto al peso de la mezcla y haciendo uso de la proporción óptima de agregados, la cual consta de 65% de agregado grueso (grava), 31% de agregado fino (arena) y el porcentaje de limalla anteriormente mencionado, proporciones correspondientes a la mezcla número dos (m2) del respectivo diseño de mezcla. Por ende, se garantizan resultados óptimos con el uso de residuos industriales (limalla) no biodegradables y altamente perjudiciales con el medio ambiente, en la fabricación de mezclas de concreto, se mitigan los efectos negativos que surgen de la mala disposición de dicho residuo y se reduce de cierta manera la explotación desconsiderada de recursos naturales tendientes en la obtención de agregados pétreos y material cementante.</p> <p>Según el análisis de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, se pudo estimar que el porcentaje óptimo de adición de limalla, respecto a los demás porcentajes trabajados durante este estudio, corresponde al 4% puesto que proporcionó un valor máximo de resistencia equivalente a 30,47 Mpa comparando con un esfuerzo de 22,17 Mpa resistido por la mezcla convencional correspondiente. Además, con la adición de dicho porcentaje en proporciones correspondientes a la mezcla número dos (m2), se logró un comportamiento de la resistencia similar al de las mezclas convencionales de concreto estableciendo teóricamente (0,6f'c; 0,85f'c y f'c para 7, 14, 28 días.</p>

Fuente. El Autor

Cuadro 8. Comportamiento del Concreto Reforzado con Fibras de Acero ZP-306 Sometido a Esfuerzos de Compresión

TITULO DEL TRABAJO	COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO ZP-306 SOMETIDO A ESFUERZOS DE COMPRESIÓN	
AUTORES	Lina P. Gallo Arciniegas Auxiliar de investigación, Programa de Ingeniería Civil, U. Militar Nueva Granada. Giovanni González Peñuela Esp., Profesor Investigador, Programa de Ingeniería Civil, U. Militar Nueva Granada. Julian Carrillo León PhD., Profesor Investigador, Programa de Ingeniería Civil, U. Militar Nueva Granada.	
UNIVERSIDAD	U. Militar Nueva Granada	
DIRECTOR	Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Volumen 23-1	
CIUDAD-FECHA	Bogotá D.C. 2013	
FUENTE	http://www.umng.edu.co/documents/10162/4585612/articulo_8.pdf	
	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
	<p>Presentar los resultados de una investigación experimental y analítica sobre los comportamientos del CRFA elaborado con fibras ZP-306, sometidas a los esfuerzos de compresión.</p> <p>Revisar y discutir los modelos disponibles en la literatura, así como un programa experimental que incluye el ensayo de 48 especímenes.</p> <p>Proponer ecuaciones para estimar las principales propiedades mecánicas del CRFA, tales como resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y relación de Poisson.</p>	<p>En el artículo se han presentado los resultados de un estudio analítico y experimental para evaluar el comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306, sometido a esfuerzos de compresión. En el estudio se ha evaluado la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad y la relación de Poisson. La investigación incluyó la discusión de cinco modelos para predecir la curva esfuerzo-deformación del CRFA, de seis modelos para predecir la resistencia a la compresión para cuatro modelos para predecir el módulo de elasticidad. El programa experimental comprendió el ensayo de 48 muestras en forma de cilindros. A partir de las tendencias de los resultados experimentales, se propusieron correlaciones numéricas para estimar las principales propiedades mecánicas del CRFA. Las conclusiones de la investigación se presentan a continuación.</p> <p>El valor de la masa unitaria del CRFA permaneció casi constante a medida que se incrementó el volumen de fibras en la mezcla. Sin embargo, el contenido de aire aumentó con el incremento del volumen de fibras de agregado a la mezcla. Este aire es introducido al momento de mezclado de las fibras de concreto.</p> <p>Las Fibras de acero le generan un efecto de confinamiento al concreto, ya que al incrementar el contenido de fibras, disminuye la relación de Poisson.</p> <p>Se considera que los modelos de predicción disponibles en la literatura para estimar f'_c son de aplicación sencilla, ya que las ecuaciones incluyen ecuaciones fácilmente identificables por el diseñador.</p> <p>Las ecuaciones de los modelos disponibles en la literatura para predecir la curva esfuerzo-deformación tienen un formato práctico y variables que incluyen el efecto de las fibras en la forma de la curva. Sin embargo la dispersión de los resultados de la deformación es significativamente alta. Por tanto en estudios experimentales futuros se debe concluir la medición de la curva completa esfuerzo-deformación del CRFA sometidos a esfuerzos de compresión, para así plantear una ecuación que se ajuste las tendencias de los materiales de construcción del país.</p>

Fuente. El Autor

Cuadro 9. Uso del Silicato de Sodio como Adición Natural del Concreto Hidráulico

TÍTULO DEL TRABAJO	USO DEL SILICATO DE SODIO COMO ADICIÓN NATURAL DEL CONCRETO HIDRAULICO	
AUTORES	Nestor Andres Amaris Martinez	
UNIVERSIDAD	Universidad de lasalle	
DIRECTOR	Director temático Ing. Manuel Santiago Ocampo Asesora metodológica Mag. Rosa Amparo Ruiz Saray	
CIUDAD-FECHA	BOGOTÁ D.C. 2009	
FUENTE	http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/15398/2/T40.09%20A13u.pdf	
	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar la diferencia del silicato en la resistencia del concreto.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Clasificar, seleccionar y determinar las características propias de los agregados utilizados para la elaboración de una mezcla de concreto hidráulicos.</p> <p>Elaborar el diseño de mezcla correspondiente a un concreto hidráulico de 3000 psi y 4000 psi.</p> <p>Determinar la variación en la resistencia la compresión de cilindros de concreto hidráulico de 3000psi y 4000psi al adicionarles silicato de sodio.</p> <p>Establecer cuáles serían los beneficios económicos que tendría la elaboración del concreto hidráulico al adicionarle silicato de sodio.</p> <p>Verificar la variación del asentamiento que presentan las mezclas de concreto hidráulico con la adición de silicato de sodio.</p>	<p>El presente trabajo investigativo complemento los conocimientos educativos teórico-prácticos, adquiridos durante el proceso de formación en el claustro universitario, con un enfoque investigativo desde el punto de vista de la ingeniería civil.</p> <p>Los ensayos de laboratorio realizados a los materiales que componen el concreto hidráulico, como son los agregados pétreos y el cemento, permitieron clasificar y determinar las propiedades físicas de estos, indicando que son materiales óptimos para la elaboración de concretos de alta resistencia ya que los resultados obtenidos cumplen con los rangos requeridos por la Norma NTC, lo que garantiza la correcta elaboración de las mezclas de concreto, las cuales fueron diseñadas para alcanzar 3000 p.s.i y 4000 p.s.i de resistencia.</p> <p>El diseño de la mezcla se hizo siguiendo el método ACI 211.1, ya que este se aplica para materiales bien gradados y controlados, salvo que los materiales colombianos no siempre cumplen con estas especificaciones a menos que se realicen controles de calidad y se encuentren dentro de los rangos exigidos por las Normas Técnicas Colombianas, sin embargo este método es el más usado en las cementeras de nuestro país como es el caso de Cemex, Argos y Holcim, entre otros, encargadas de la fabricación de concretos de alta y mediana resistencia, por lo que es un método general en donde se pueden diseñar diferentes concretos hidráulicos de acuerdo a las especificaciones de los materiales, las condiciones ambientales y el tipo de construcción u obra en el que se vaya a emplear.</p> <p>La resistencia a la compresión de los cilindros de concreto hidráulico fallados a los 7, 14 y 28 días de 3000 p.s.i. y 4000 p.s.i., presentaron una mejoría debido a la adición de Silicato de Sodio en diversas proporciones, trayendo consigo mismo un beneficio económico, ya que el Silicato de Sodio es un aditivo natural fácil de conseguir y su abundante uso en diferentes industrias, lo hace un material competitivo frente a otro tipo de aditivos utilizados para mejorar la resistencia del concreto hidráulico más costosos, de compleja utilización y manipulación; pero que dan las expectativas de incrementar el tiempo de falla de las muestras, para obtener datos de resistencia a largo plazo, y así ver cómo se comportan las estructuras construidas con este concreto modificado.</p> <p>Los cilindros de concreto hidráulico que tienen la adición de silicato de sodio, son muestras que presentan una disminución en su manejabilidad, ya que este se comporta como un acelerante, por lo que es necesario tener cuidado en el proceso de mezclado, evitando el rápido fraguado de la mezcla.</p>

Fuente. El Autor

Cuadro 10. Evaluación del Desempeño del Cemento Portland Tipo III

TITULO DEL TRABAJO	EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL CEMENTO PÓRTLAND TIPO III ADICIONADO CON SÍLICE DE DIFERENTES TAMAÑOS DE PARTÍCULA	
AUTORES	Laura Maria Montoya Tobón	
UNIVERSIDAD	U. Nacional de Colombia	
DIRECTOR	Jorge Iván Tobón, M. Sc.	
CIUDAD-FECHA	Medellín 2009	
FUENTE	http://www.bdigital.unal.edu.co/876/1/43271665_2009.pdf	
	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar los efectos sobre las propiedades mecánicas de las adiciones de sílice comerciales de diferentes tamaños de partícula y grados de porosidad en un cemento Portland Tipo III buscando producir cementos colombianos de alto desempeño.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Evaluar el efecto sobre el desarrollo de resistencias a la compresión y a la flexión del cemento con los diferentes tipos de adiciones silíceas.</p> <p>Analizar comparativamente la actividad puzolánica de cada una de las adiciones con base en el desarrollo mineralógico y de resistencia durante el proceso de hidratación del cemento.</p>	<p>CONCLUSION GENERAL</p> <p>La "Evaluación del desempeño del cemento Portland tipo III adicionado con sílice de diferentes tamaños de partículas", permitió reconocer al Humo de Sílice y al Piroxil como adiciones activas al cemento. Esto debido a las características propias de los materiales, tales como estructura amorfa, de media (caso HS) a muy alta (caso PS) área superficial y tamaño de partícula, lo cual hace que la reactividad sea apropiada entre los materiales.</p> <p>CONCLUSIONES EN PASTAS</p> <p>El Humo de Sílice demanda más agua que el cemento y tiene mayores tiempos de fraguado por su área superficial, pero al compararlo con el Piroxil éste último demanda más cantidad de agua debido a su gran área superficial, su reología y a su carácter amorfo.</p> <p>La fijación del hidróxido de calcio del HS y del PS se da a un ritmo muy similar comenzando con un 15% a 1d hasta un 40% a 28 d de hidratación, para formar tobermorita y portlandita.</p>

Fuente. El Autor

Cuadro 11. Uso de Fibras de Carbono como Reforzamiento a Corte

TITULO DEL TRABAJO	USO DE FIBRAS DE CARBONO COMO REFORZAMIENTO A CORTE
AUTORES	José Rafael Contreras Rincón
UNIVERSIDAD	Universidad de la Salle
DIRECTOR	Director temático Ing. Jorge Mario Cueto Baiz Asesora metodológica Mag. Marlene Cubillos Romero
CIUDAD-FECHA	Bogotá D.C. 2011
FUENTE	https://biblioteca.uniandes.edu.co/visor_de_tesis/web/?SessionID=L1Rlc2l2xZyMDEwMTEwMC85NDkucGRm
OBJETIVOS	CONCLUSIONES
<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar el comportamiento de vigas reforzadas con fibras de carbono sometidas a corte.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Diseñar una serie de vigas en concreto para reforzarla con fibras de carbono.</p> <p>Comprender el criterio básico de la colaboración de las fibras de carbono para resistir el corte en la viga.</p> <p>Diseñar una serie de vigas en las cuales fallen por corte antes de que se produzca la falla por flexión.</p> <p>Identificar el comportamiento a corte de una viga reforzada con fibra de carbono.</p> <p>Analizar la eficiencia del reforzamiento con fibras de carbono cuando se instalan sobre elementos en estado fisurado y no fisurado.</p>	<p>Del análisis hecho para las vigas reforzadas con Sikawrap 103C, adherencias de la matriz epóxica Sikadur 301, y los resultados obtenidos de los ensayos para las vigas, testigo, reforzamiento preventivo y reforzamiento correctivo, se concluye que:</p> <p>El uso de materiales compuestos por fibra de carbono, en este caso SikaWrap 103C adherido en una matriz de epóxico Sikadur - 301, como reforzamiento a corte en elementos de concreto armado es muy eficiente en cuanto a la magnitud de carga de aumento, sobre todo al plantearlo como una alternativa a los métodos estructurales de reforzamiento tradicionales, desde que se garantiza una adecuada adherencia (En el caso de la tela SikaWrap), este reforzamiento es más efectivo para todos los reforzamientos de elementos que requieran un incremento en su resistencia al corte.</p> <p>A pesar de que se estimaba que la falla a corte sería súbita e instantánea durante los 3 ensayos se observó un previo aviso que no afectaría la funcionalidad de la viga, por medio de fisuras, ruidos internos, y pequeños agrietamientos con dirección de 45º cerca a los apoyos.</p> <p>El traslape que se coloca a las telas como elemento envolviendo la viga es muy importante, ya que esto mejora la funcionalidad de la fibra como reforzamiento al corte, por economía estos valores se estiman, ya para un proyecto de mayor tamaño es imprescindible involucrar esta variable.</p> <p>El incremento de la resistencia a corte fue notable en la viga con reforzamiento correctivo ya que se presentó un incremento del 6.0 Ton con respecto a la carga 119 de falla sin reforzamiento sin presentar ningún tipo de grieta considerable, lo cual nos lleva a concluir que pudiera resistir más de las 10 Ton estimadas.</p> <p>A pesar de la cristalización de la tela SikaWrap 103C de la viga con reforzamiento preventivo debido a la sobresaturación del epoxico, la fibra mostro un aporte considerable de más de 3 Ton a la resistencia al corte de la viga, esto mostrado en la ausencia de fisuras y grietas.</p> <p>Para realizar el reforzamiento a corte con telas en fibra de carbono es necesario tener en cuenta que la aplicación de este sistema se debe realizar en húmedo desde el momento que se prepara la superficie, pero con un porcentaje de humedecimiento tanto de la fibra, como de la superficie, ya que esto ofrece una mayor efectividad en la adherencia y evita el desprendimiento de la CFRP del sustrato de concreto en los apoyos como en la zona donde se presentan las solicitaciones a corte, esto sí, considerando las observaciones y recomendaciones del fabricante .</p> <p>Es importante de que el diseñador del reforzamiento en fibra de carbono conozca el método de diseño europeo Fib Technical Report, bulletin 14 (Federation Internationale du Beton), y el método americano de la ACI 440.2R (American Concrete Institute); para comprender el comportamiento del reforzamiento, aunque de forma simple se entiende como un elemento sometido a tensión inducida, y la fibra es un material que tiene resistencias a tensión mayores a las que el acero.</p> <p>Al modelar y construir elementos estructurales a escala real, en este caso vigas de concreto armado de 25x50x 3.00m, permiten visualizar de manera acertada los resultados que el reforzamiento preventivo y correctivo son muy considerables e importantes en cuestiones de aumento de carga en Toneladas, lo 120 cual llevará los dimensionamientos de las estructuras a algo más a condiciones y escalas reales, además lo mencionado al comienzo nos da para constatar y resolver los cuestionamientos enunciados</p>

Fuente. El Autor

Cuadro 12. Desarrollo Material Polimérico Reforzado con Fibras Naturales

TITULO DEL TRABAJO	DESARROLLO MATERIAL POLIMÉRICO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES	
AUTORES	Diego Andrés Parra Páez	
UNIVERSIDAD	Universidad EAN	
DIRECTOR	Ing. Diego Adolfo Rodríguez Cantor	
CIUDAD-FECHA	Bogotá D.C 2012	
FUENTE	http://repository.ean.edu.co/bitstream/10882/2903/6/ParraDiego2012.pdf	
	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Investigar y experimentar la aleación de un polímero fortaleciéndolo con diferentes tipos de fibras naturales y concluir si es posible lograr una reducción de los costos de producción.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.</p> <p>Realizar un diseño de experimentos para calcular el número de pruebas necesarias y determinar el correcto manejo de materiales y tiempos reduciendo pérdidas.</p> <p>Analizar los datos obtenidos a partir de las pruebas.</p> <p>Proponer nuevas técnicas de reforzamiento con fibras naturales.</p> <p>Realizar un análisis de viabilidad en cuanto a costos.</p>	<p>La propiedad mecánica al impacto de las fibras del coco, sábila y hoja de plátano reforzando la resina poliéster han sido investigadas.</p> <p>La resina reforzada presentó mejoras frente a la resina sola, lo cual demuestra que el estudio tuvo los resultados esperados y que un siguiente paso es realizar otro estudio para observar en qué aplicaciones puede ser utilizada.</p> <p>Como se puede observar la resina poliéster reforzada con las fibras de sábila demostró mayor resistencia al impacto con valores máximos de 15J/m en comparación con los de más materiales compuestos.</p> <p>Otro material con buena resistencia al impacto fue la resina reforzada con fibras de coco y sábila la cual contó con valores máximos de 14,6J/m como se puede observar.</p> <p>Para poder realizar el material compuesto se debe efectuar un tratamiento previo a la fibra pues esta posee un porcentaje alto de agua y provocaría burbujas o grietas dentro del material y provocar la ruptura del material.</p> <p>Luego de realizar las probetas de los materiales compuestos se puede concluir que sería recomendable realizar el moldeo de las probetas bajo presión, lo cual permitirá aumentar las capacidades de resina y fibra natural asimismo la adherencia entre la fibra y la matriz.</p> <p>El estudio de las propiedades mecánicas efectuado con el péndulo de impacto Charpy a las probetas fue satisfactorio y se recolectaron datos importantes que reflejan el potencial de las fibras naturales en aplicaciones que no requieran de grandes esfuerzos y se servirá de referencia a posteriores trabajos que se realicen en la universidad.</p> <p>El material compuesto frente a la resistencia a la tensión no mejora mucho pero si se obtiene una mayor deformación antes de que se rompa. El tamaño de la fibra no influyó en el resultado de la prueba mecánica al impacto.</p> <p>Según las pruebas realizadas se demostró que la resina reforzada con fibra de vidrio es mejor que la reforzada con fibras naturales.</p>

Fuente. El Autores

Cuadro 13. Efecto Híbrido de los Nanotubos de Carbono y la Nano Sílice sobre las Propiedades Mineralógicas y Mecánicas de Morteros de Cemento Portland

TITULO DEL TRABAJO	EFECTO HÍBRIDO DE LOS NANOTUBOS DE CARBONO Y LA NANOSÍLICE SOBRE LAS PROPIEDADES MINERALÓGICAS Y MECÁNICAS DE MORTEROS DE CEMENTO PÓRTLAND	
AUTORES	Oscar Aurelio Mendoza Reales	
UNIVERSIDAD	U. Nacional de Colombia	
DIRECTOR	Director: Ph. D, Jorge Iván Tobón Codirector: Ph. D. Germán Sierra Gallego	
CIUDAD-FECHA	Medellín 2013	
FUENTE	http://www.bdigital.unal.edu.co/9733/	
	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar el efecto híbrido de la adición de nanotubos de carbono y nanosílice sobre las propiedades mineralógicas y mecánicas de morteros de cemento Portland.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Establecer si existe una interacción entre los nanotubos de carbono funcionalizados y la nanosílice.</p> <p>Identificar y valorar cuál es la influencia de la combinación de nanotubos de carbono y la nanosílice sobre el proceso y los productos de hidratación de pastas de cemento Portland.</p> <p>Determinar cuál es la influencia de la combinación de nanotubos de carbono y la nanosílice sobre la resistencia a compresión y flexotracción de morteros de cemento Portland.</p>	<p>CONCLUSIONES GENERALES</p> <p>Existe un efecto híbrido entre los MWCNT y la NS, el cual es positivo sobre las propiedades de pastas y morteros de cemento Portland solo durante las primeras 24 horas de hidratación, luego de este tiempo dicho efecto se vuelve negativo, inhibiendo incluso la actividad puzolánica de la NS.</p> <p>La combinación de MWCNT y NS acelera la cinética del proceso de hidratación del cemento, aumentando la cantidad de productos de hidratación pero sin modificar el tipo de hidratos que se generan.</p> <p>Las resistencias mecánicas de morteros de cemento Portland tipo III se ven influenciadas negativamente por la adición combinada de MWCNT y NS para edades mayores a 1 día de hidratación.</p> <p>CONCLUSIONES PARTICULARES</p> <p>La sonicación es un método de dispersión efectivo para los MWCNT, se encontró que aplicar 40000 J de energía genera un balance entre el grado de dispersión deseado y el daño inducido sobre los MWCNT, lo cual garantiza que estos tendrán un desempeño mecánico adecuado cuando se introduzcan en una matriz cementante y se expongan a esfuerzos de tensión. 104 Efecto híbrido de los nanotubos de carbono y la nanosílice.</p> <p>Los MWCNT alcanzan su dispersión máxima en agua cuando a un valor bajo de energía aplicada (10000 J) cuando se usa sonicado como método de dispersión, dicha dispersión es reversible en el tiempo. Es necesario el uso de un agente dispersante para aumentar el grado de dispersión mediante la exfoliación de las aglomeraciones de MWCNT y retardar el proceso de re-aglomeración.</p>

Fuente. El Autor

Cuadro 14. Evaluación de las Propiedades Físicas y Fotocatalíticas del Cemento Adicionado con Nano Partículas de Dióxido de Titanio

TITULO DEL TRABAJO	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y FOTOCATALÍTICAS DE CEMENTO ADICIONADO CON NANOPARTÍCULAS DE DIÓXIDO DE TITANIO	
AUTORES	Carolina Cárdenas Ramírez	
UNIVERSIDAD	U. Nacional de Colombia	
DIRECTOR	Directora: Ph. D Claudia Patricia García García Codirector: Ph. D Jorge Iván Tobón	
CIUDAD-FECHA	Medellín 2012	
FUENTE	http://www.bdigital.unal.edu.co/7354/1/1128264701_2012.pdf	
	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar el efecto fotocatalítico sobre pastas de cemento, al agregarles nanopartículas de dióxido de titanio, en fase anatasa y rutilo, con el fin de lograr materiales amigables con el medio ambiente, autolimpiantes y bactericidas.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Comprender las propiedades, fenómenos y principios que rigen las interacciones de nanopartículas de dióxido de titanio con el ambiente (contaminantes) y con la materia orgánica.</p> <p>Estudiar el efecto de la mineralogía de nanopartículas de dióxido de titanio (tres fuentes comerciales) y su comportamiento fotocatalítico en pastas de cemento.</p> <p>Desarrollar y optimizar un ensayo para la evaluación de la fotocatalisis mediante el uso de un montaje óptico que permita buenas condiciones de exposición a una fuente de radiación ultravioleta de las probetas de pasta de cemento adicionadas con dióxido de titanio.</p> <p>Planear, ejecutar y analizar los ensayos de medición de fotocatalisis propuestos mediante un diseño de experimentos adecuado que permita una correcta interpretación de los resultados obtenidos, y una aproximación a las condiciones óptimas de adición y de mezcla de fases requeridas.</p>	<p>Mediante la degradación del colorante orgánico Rodamina B y la degradación de los óxidos de nitrógeno (NOx) se demostró que todas las pastas de cemento que contenían nanopartículas de dióxido de titanio exhibían propiedades fotocatalíticas, sin importar el tipo de fase cristalina presente o el porcentaje total adicionado.</p> <p>Los cementos modificados con fotocatalizadores pueden ser empleados para diseñar materiales para la construcción amigables con el medio ambiente ya que degradan contaminantes y compuestos orgánicos que pueden deteriorar la parte estética de las estructuras.</p> <p>El incremento del porcentaje de adición del TiO2 a las pastas de cemento, incrementa la cantidad de NOx eliminado, siendo las muestras con un 5% de adición aquellas con la mayor actividad fotocatalítica, tanto a edades tempranas como tardías.</p> <p>A edades tempranas se observó que las muestras que degradaban mayor cantidad de NOx fueron aquellas con una relación anatasa:rutilo de 85:15, mientras que a edades tardías las muestras con 100:0 presentaron la mayor actividad fotocatalítica.</p> <p>A edades tempranas se observó que las muestras que degradaban mayor cantidad de Rodamina B fueron aquellas con una relación anatasa:rutilo de 100:0, mientras que a edades tardías las muestras con 50:50 presentaron la mayor actividad fotocatalítica.</p>

Fuente. El Autor

Cuadro 15. Uso de Fibra de Estopa de Coco para Mejorar las Propiedades Mecánicas del Concreto

TITULO DEL TRABAJO	USO DE FIBRA DE ESTOPA DE COCO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO	
AUTORES	<p>Sandra Liliana Quintero García Ingeniera Agroindustrial, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.</p> <p>Luis Octavio González Salcedo Ingeniero Civil, MSc. Civil Engineering. Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.</p>	
UNIVERSIDAD	Universidad del Norte	
DIRECTOR	INGENIERÍA & DESARROLLO Número 20 Julio-Diciembre, 2006 ISSN: 0122-3461	
CIUDAD-FECHA	Valle del cauca, Palmira 2006	
FUENTE	http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/20/uso_de_la_fibra_de_coco.pdf	
	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
	<p>realizar procesos industriales para la obtención de grasas, aceites comestibles, confites y copra; sin embargo, también está constituido por la estopa o mesocarpio, que se encuentra entre el exocarpio duro o cubierta externa, y el endocarpio o envoltura dura, que encierra la semilla; el valor de ésta estopa en su contenido de fibra (fibra bonote), de la cual se pueden distinguir tres tipos principales: una larga y fina, una tosca y una más corta, material que se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa como agregado liviano, en la industria del concreto aligerado, con un doble fin: de disminuir el peso de las estructuras y proporcionar un grado aceptable de resistencia.</p>	<p>Las más bajas deformaciones se obtuvieron en mezclas con longitud de fibra 5 cm, siendo inferior para un volumen de adición de 1.5%. La resistencia a la compresión más elevada se obtuvo con los compuestos reforzados con volumen de fibra 1.5%, siendo superior para la longitud 2 cm. La única mezcla que presentó resistencia a la tracción indirecta mayor que el concreto fue la que contenía fibra de 5 cm, en un volumen de 0.5%. La adición de fibra afectó positivamente la resistencia a la flexión; el mayor valor de resistencia a la flexión lo presentó el concreto de V0.5% y L5 cm.</p> <p>Los resultados obtenidos fueron concordantes con observaciones de experimentos realizados con anterioridad y bibliografía consultada, en los que se corrobora que los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz, ya que una grieta que se mueva a través de la matriz encuentra una fibra; si la unión entre la matriz y la fibra no es buena, la grieta se ve obligada a propagarse alrededor de la fibra, a fin de continuar el proceso de fractura. Además, una mala unión ocasiona que la fibra empiece a separarse de la matriz. Ambos procesos consumen energía, e incrementan, por lo tanto, la tenacidad a la fractura. Finalmente, al iniciarse la grieta en la matriz, fibras aun no rotas pueden formar un puente sobre la grieta, lo cual proporciona un esfuerzo compresivo que evita que la grieta se abra.</p> <p>De acuerdo con el efecto que sobre las propiedades mecánicas del concreto puede tener la adición de fibra de estopa, una aplicación adecuada de este tipo de compuesto (concreto - fibra de estopa) es la construcción principalmente de elementos sometidos a flexión (vigas y losas).</p>

Fuente. El Autor

Cuadro 16. Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras de Bagazo de Caña de Azúcar

TITULO DEL TRABAJO	COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	
AUTORES	Jairo Alexander Osorio Saraz Facultad de Ciencias, Agropecuarias Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.	
	Freddy Varón Aristizabal Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.	
	Jhonny Alexander Herrera Mejía Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.	
UNIVERSIDAD	U. Nacional de Colombia	
DIRECTOR	Revista U. Nacional de Colombia, Open Jurnal System, ISSN: 2346-2183	
CIUDAD-FECHA	Medellín 2007	
FUENTE	http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/943/11634	
	OBJETIVOS	CONCLUSIONES
	<p>Preparar un material compuesto de fibra de bagazo de caña y concreto, donde las fibras presenten una distribución aleatoria dentro del compuesto.</p> <p>Estudiar la influencia del tamaño y de la adición de fibras expresadas en porcentaje del peso total, en la resistencia a compresión y en la densidad del material.</p>	<p>La fibra de bagazo de caña utilizada en la elaboración del concreto reforzado a compresión, le imparte propiedades mecánicas importantes al compuesto, principalmente las probetas con adiciones de fibra entre el 0,5 y 2,5% en relación al peso total del agregado grueso, y cuyas fibras con longitudes entre 15 y 25 mm son retenidas en el tamiz N°6, las cuales alcanzan resistencia a compresión a los 14 días de fraguado entre 8,6 y 16,88 MPa, estando por encima de probetas sin adición de fibras.</p> <p>El material compuesto con fibras de bagazo con porcentajes de fibra entre el 0,5 y 2,5% en relación al peso total del agregado grueso, permiten reducciones en la densidad del material que varían entre 141 y 336 Kg/m³, con respecto a probetas patrones con densidades promedio de 2400 Kg/m³, aspecto importante para la consideración de cargas muertas por peso propio en estructuras.</p> <p>La resistencia a compresión del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña es inversamente proporcional al porcentaje de la fibra adicionada y al diámetro de las partículas, aspecto que coincide con lo encontrado en ensayos realizados en otras fibras como el coco, el bambú, entre otros.</p> <p>El tratamiento aplicado a las partículas o fibras de bagazo con Hidróxido de calcio al 5,0% durante 24 horas a una temperatura de laboratorio de 24°C, y con cloruro de calcio al 3,0% en relación a la masa de cemento como acelerante del fraguado, presento un comportamiento aceptable, permitiendo baja degradación de la fibra en la matriz del compuesto.</p>

Fuente. El Autor

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El siguiente Cuadro hace referencia a las propiedades mecánicas que fueron evidenciadas en las tesis consultadas, lo anterior tomado como base del estado del arte realizado (véase el Cuadro 17).

Cuadro 17. Propiedades Mecánicas que Fueron Evidenciadas en las Tesis Consultadas

TESIS	PROTECCIÓN EN EL ACERO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	RESISTENCIA A LA TENSION	RESISTENCIA AL CORTANTE	DURABILIDAD	MEJOR HIDRATACIÓN DEL CONCRETO	CLASE DE POLÍMERO
ESTADO DEL ARTE USO DE NANOTUBOS DE DE CARBONO PARA LAS MEJORAS DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO		x			x		NATURAL
ERECTOS DE ALGUNAS ADICIONES MINERALES COLOMBIANAS EN LA FABRICACIÓN DEL CLINKER PARA CEMENTO PORTLAND I		X			X		NATURAL
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO CEMENTO PORTLAND ADICIONADO CON NANO PARTÍCULAS DE SILICE	X	X	X		X		NATURAL
EFFECTOS DE LA SILICE COLOIDAL EN LAS PROPIEADES EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO DEL MORTERO Y CONCRETO HIDRÁULICO		X					NATURAL
ÁNALISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DEL CONCRETO AL ADICIONAR UMALLA FINA EN UN 3-4% RESPECTO AL PESO DE LA MEZCLA		X					NATURAL
COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO 2P-306 SOMETIDO A ESFUERZOS DE COMPRESIÓN		X					NATURAL
USO DE SILICATO DE SODIO COMO ADICIÓN NATURAL DEL CONCRETO HIDRÁULICO		X					NATURAL
USO DE FIBRAS DE CARBONO COMO REFORZAMIENTO A CORTE				X			NATURAL
DESARROLLO MATERIAL POLÍMÉRICO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES			X				NATURAL
EFFECTO HIBRIDO DE LOS NANO TUBOS DE CARBONO Y LA NANOSILICE SOBRE LAS PROPIEDADES MINERALOGICAS DE MORTEROS EN EL CEMENTO PORTLAND						X	NATURAL
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL CEMENTO PORTLAND III		X	X	X	X		NATURAL
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y FOTOCATOLITICAS DE CEMENTO ADICIONADO CON NANO PARTÍCULAS DE DIOXIDO DE TITANIO					X		NATURAL
USO DE ESTOPA DE COCO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO		X	X	X			NATURAL
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR		X	X			X	NATURAL
CARACTERIZACIÓN DE FISURAS EN VIGAS DE CONCRETO REFORZADO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO SOMETIDAS A FLEXIÓN DINÁMICA		X			X		SINTÉTICO
NÚMERO DE TESIS QUE APLICAN	1	11	5	3	6	2	
PORCENTAJE QUE APLICA	6.67%	73.33%	33.33%	20.00%	40.00%	13.33%	
NÚMERO DE TESIS QUE NO APLICA	14	6	11	14	12	15	
PORCENTAJE QUE NO APLICA	93.33%	40.00%	73.33%	93.33%	80.00%	100.00%	
NÚMERO DE TESIS INVESTIGADAS	15	15	15	15	15	15	
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

Fuente. El Autor

➤ En Colombia el uso de polímeros naturales, según los análisis realizados en las investigaciones de los trabajos de grados encontrados, se ha desarrollado el uso de polímeros de polímeros naturales en adiciones respectivas al volumen de la mezcla.

➤ De las 15 tesis encontradas, en el 90% de ellas se trabajó con polímeros naturales tales como

✓ Silicato de sodio (6-9-12% de la mezcla)

✓ Nanotubos de carbono (7-15% de la mezcla)

✓ Manganeso, feldespato (0.2-0.5-1-1.5-2%)

✓ Nano partículas de sílice (5-12% del total de la mezcla)

✓ Sílice coloidal (1-3-5-10 del total de la mezcla)

✓ Fibras de carbono (1% del peso de la mezcla)

✓ Sílice (5-10% de la mezcla)

✓ Fibras de coco (0.5-1.5% del peso de la mezcla)

✓ Fibras de bagazo de caña de azúcar (3% del peso de la mezcla)

➤ Dentro del 10% restante relaciona haber trabajado con polímeros sintéticos.

✓ Fibras de acero ZP-306

✓ Limalla fina (3-4% respecto al peso de la mezcla)

✓ Fibras de propileno (0.9 kilogramos por metro cúbico)

➤ Dentro de las propiedades que se evaluaron para la reducción de patologías, están:

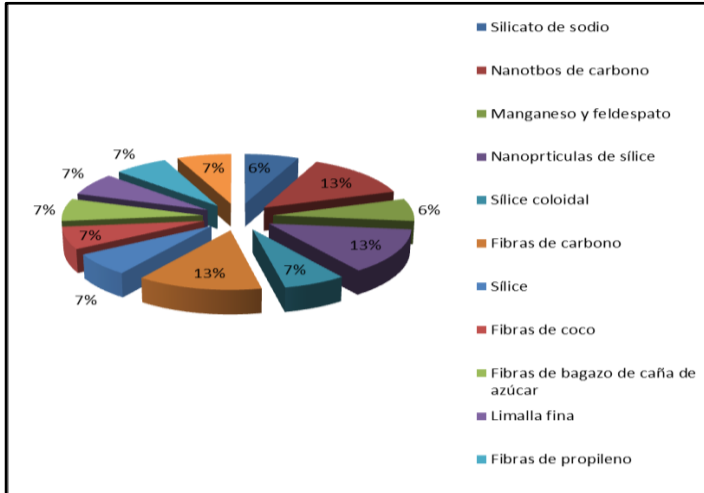
✓ Resistencia (compresión, flexión, cortante.)

✓ Durabilidad de la estructura.

✓ Protección en el acero.

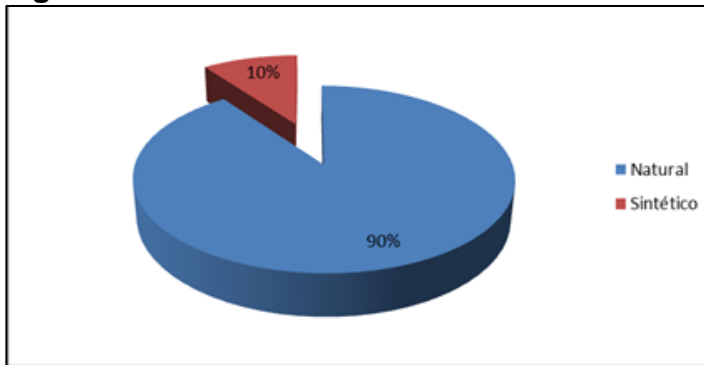
✓ Mejora en la hidratación del concreto.

Figura 1. Tipos de Polímeros



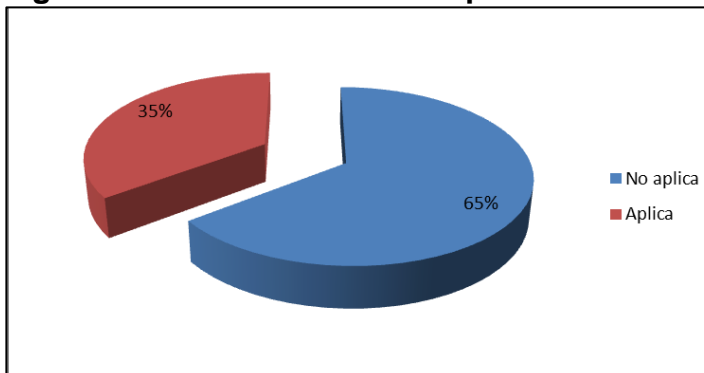
Fuente. El Autor

Figura 2. Clase de Polímero



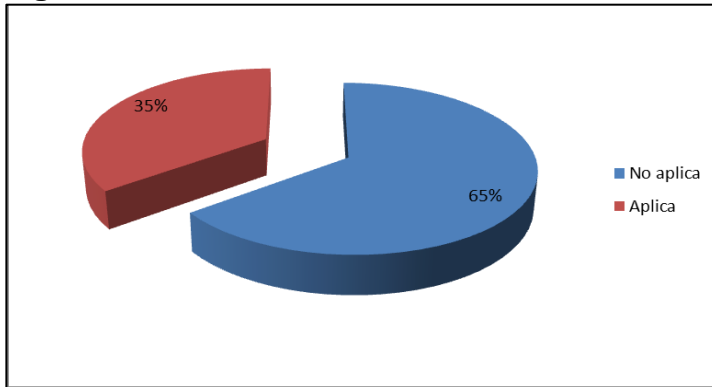
Fuente. El Autor

Figura 3. Resistencia a la Compresión



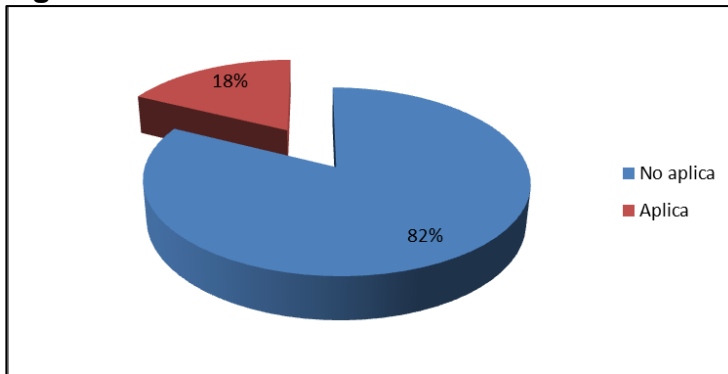
Fuente. El Autor

Figura 4. Resistencia a la Tensión



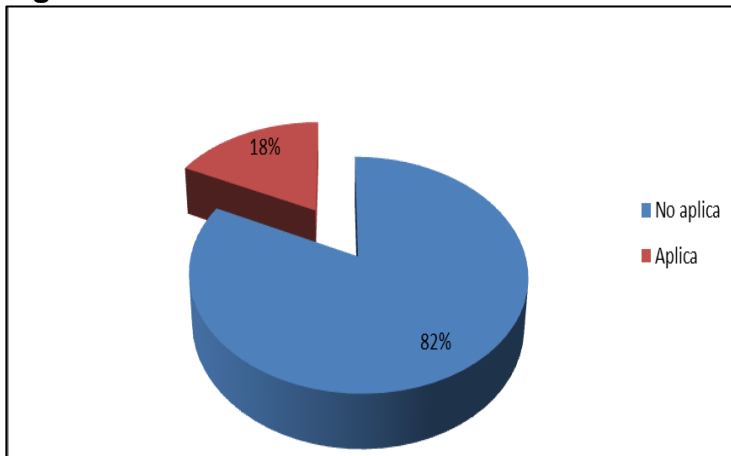
Fuente. El Autor

Figura 5. Resistencia al Corte



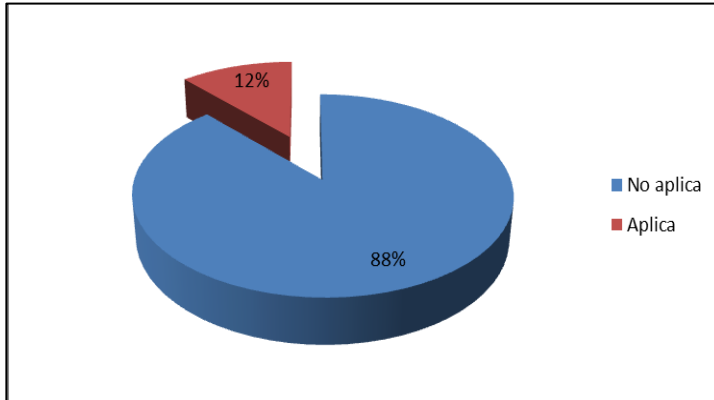
Fuente. El Autor

Figura 6. Protección en el Acero



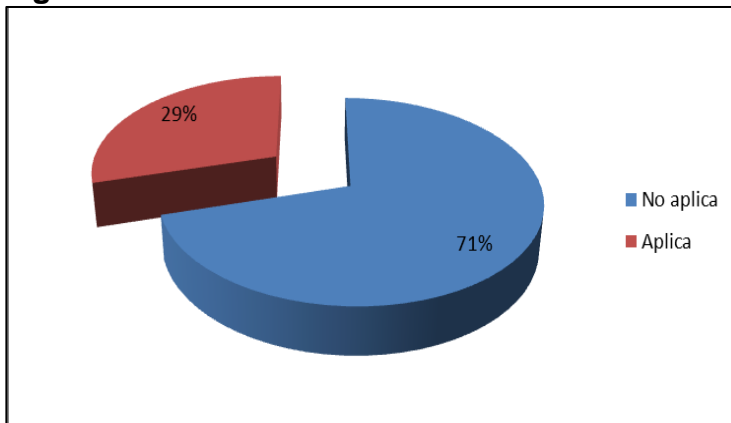
Fuente. El Autor

Figura 7. Mejora la Hidratación



Fuente. El Autor

Figura 8. Durabilidad



Fuente. El Autor

9. CONCLUSIONES

- El uso de polímeros en Colombia es un tema muy complejo, su utilización e investigación en estructuras de concreto se está empezando a estudiar y a ensayar, no es un fuerte en la construcción de elementos estructurales tales como vigas y columnas, más bien se le ha dado aplicación en pisos industriales.
- Como se puede apreciar en el estado del arte Universidades tales como, U. Nacional, U. Javeriana, U. del Valle, U. de la Salle, U. Pontificia Bolivariana, U. EAN, y la U. Católica de Colombia han aportado en la investigación de aditivos dentro del origen Químico en el concreto, haciendo el mayor aporte en este tema la U. Nacional de Colombia.
- El uso de polímeros, bien sea naturales o sintéticos en concretos convencionales, mejoran sus propiedades mecánicas.
- La durabilidad de un concreto modificado con polímeros naturales, aumenta hasta un 20% en cuanto al diseño de la estructura.
- Dentro de las propiedades, que mas aportan el uso de sílice, es la resistencia a la compresión aumentándola hasta un 25%, por otro lado, el uso de este mismo reduce la resistencia a la tensión hasta un 9%.
- El uso de fibras de polipropileno en el concreto permite reducir la fisuración del concreto y la permeabilidad, lo que genera la reducción en la corrosión de la armadura de acero.
- El humo de sílice aporta hasta un 40% en la hidratación del concreto, en el transcurso de los 28 días genera una exudación positiva debido a la gran cantidad de absorción de agua.
- Con el uso de fibras de carbono en el concreto se reflejo el aumento de la resistencia a corte en vigas, en un incremento de 6 Ton con respecto a la carga de falla sin verse reflejada en ella ningún tipo de fisuración.
- La resistencia a la compresión con el uso de fibras de coco mostró que se presenta una alta resistencia con un volumen de 1.5 % de la mezcla, evitando la fisuración inmediata de la misma.
- La fibra de bagazo de caña de azúcar aporta resistencia al concreto con un porcentaje comprendido entre el 0.5 y 2.5 del volumen del agregado grueso, una resistencia a la compresión a los 14 días de fraguado de 8.6 a 16.88 MPa con respecto a la muestra sin fibras.

- La resistencia a la compresión con fibras de carbono aportan resistencia al cortante en más de 3 Ton, con respecto a la prueba patrón.
- Con la adición de un 8% de sílice con respecto al volumen de la muestra aumenta la resistencia a la compresión hasta un 24.4% a los 28 días de curado del concreto.
- Al hacer uso de sílicatos de sodio se aumenta la resistencia a la compresión, esto se evidenció en muestras de concretos de 3000 y 4000 psi, fallados a los 7, 14, 28 días dando diferentes proporciones en los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

AMARIS, Néstor Andrés y RONDÓN, Vladimir. Uso del silicato de sodio como adición natural del concreto hidráulico. Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Modalidad Trabajo de Grado, 2009. 174 p.

ÁNGEL ARANGO, Alejandro y LOPERA RENDÓN, DANIEL. Estudio de factibilidad para producción de fibras de acero para refuerzo del concreto, caso: TRETECSA S.A.S.. Envigado: Escuela de Ingeniería de Antioquia. Facultad de Ingeniería Administrativa. Modalidad trabajo de grado, 2013. p. 44

ARIZA, Andrés y CASAS, Julio Cesar. Estado del arte uso de nanotubos de carbono para las mejora de las propiedades en los concretos. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa Ingeniería Civil. Modalidad Trabajo de Grado, 2013. 60 p.

BARÓN, Omar Alberto y MERCADO, Yamil José. Efecto de la sílice coloidal en las propiedades en estado fresco y endurecido del mortero y concreto hidráulico. Bogotá: Universidad Pontificia Javeriana. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2012. 65 p.

CÁRDENAS, Carolina. Evaluación de las propiedades físicas y fotocatalíticas del cemento adicionado con nano partículas de dióxido de titanio. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Modalidad trabajo de grado, 2012. 100 p.

CONTRERAS, José Rafael. Uso de fibras de carbono como reforzamiento a corte. Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería. Modalidad Trabajo de Grado, 2011. 124 p.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN. Hormigón de ultra-alta resistencia con resinas acrílicas. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2010. 98 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio tesis y otros trabajos de grado. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008. 36 p.

LIÉVANO, María de los Ángeles y GUTIÉRREZ, Ángela. Caracterización de fisuras en vigas de concreto reforzado con adición de fibras de polipropileno sometidas a flexión dinámica. Bogotá: Universidad Pontificia Javeriana. Facultad de Ingeniería. Modalidad Trabajo de Grado, 2011. p124.

LÓPEZ, Patricia. Logra mexicano nuevos nanotubos [en línea]. México: Universidad [citado 5 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://noticias.universia.net.mx/ciencianntt/noticia/2005/02/10/110327/logra-mexicano-nuevosnanotubos.html>>.

MENDOZA, Oscar Aurelio. Efecto híbrido de los nanotubos de carbono y la nano sílice sobre las propiedades mineralógicas y mecánicas de morteros de cemento Portland. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Modalidad trabajo de grado, 2013. 112 p.

MICROSOFT. Enciclopedia Encarta [CD-ROM]. [Bogotá]: Microsoft, 2009. Procesos térmicos

MONTEJO FONSECA, Alfonso; MONTEJO PIRATOVA, Francy y MONTEJO PIRATOVA, Alejandra. Tecnología y Patología del Concreto Armado. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2013. 544 p.

MONTOYA, Laura María. Evaluación del desempeño del cemento portland Tipo III adicionado con sílice de diferentes tamaños de partícula. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Modalidad Trabajo de Grado, 2009. 39 p.

PARRA, Diego Andrés. Desarrollo de material polimérico reforzado con fibras naturales. Bogotá: Universidad EAN. Facultad de Ingeniería, Ingeniería de Producción. Modalidad Trabajo de Grado, 2012. 90 p.

PEÑUELA GONZÁLEZ, G.; CARRILLO León, J.; GALLO ARCINIEGAS, L.P. Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306 sometido a esfuerzos de compresión p117-133 [en línea]. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada [citado 4 marzo, 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.umng.edu.co/documents/10162/4585612/articulo_8.pdf>

PINZÓN RODRÍGUEZ, Jesús Antenor y ORTEGA S., Miguel A. Influencia el aditivo Melmet en la resistencia del concreto. Bogotá: Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Modalidad Trabajo de grado, 1981. 120 p.

REVISTA DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Noviembre, 2009. no. 19.

REVISTA DYNA. Julio, 2007. vol. 74, no. 152

REVISTA DYNA. Noviembre, 2007. vol. 74, no. 153

REVISTA EIA. Diciembre, 2008. no. 10

REVISTA INGENIERÍA & DESARROLLO. Diciembre, 2006. no. 20

REYES BAUTISTA, Juan Sebastián y RODRÍGUEZ PINEDA, Yamid Alfonso. Análisis de la resistencia a la compresión al adicionar limalla fina en un 3, %, 4%; 5% respecto del peso de la malla. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Civil. Modalidad Trabajo de grado, 2010. 147 p.

TOBÓN, Jorge Iván. Evaluación del cemento portland adicionado con nano partículas de sílice. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Modalidad Trabajo de Grado, 2010. 110 p.