

**ESTADO DEL ARTE SOBRE LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE
CONCRETO CON AGREGADOS NO CONVENCIONALES EN AMERICA PARA
EL PERIODO 2000 - 2010**

**CARLOS ANDRÉS BARAJAS ALVARADO
DIANA CAROLINA OQUENDO VARGAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2011**

**ESTADO DEL ARTE SOBRE LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE
CONCRETO CON AGREGADOS NO CONVENCIONALES EN AMERICA PARA
EL PERIODO 2000 - 2010**

**CARLOS ANDRÉS BARAJAS ALVARADO
DIANA CAROLINA OQUENDO VARGAS**

**Proyecto de grado como requisito para optar por el título de Especialista en
Gerencia e Interventoría de Obras Civiles**

**Directora:
MARIA FERNANDA SERRANO GUZMAN
PhD. Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2011**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, Octubre de 2011

DEDICATORIAS

Este trabajo lo dedico a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a este gran logro.

***A DIOS**, primero que todo por darme la vida y permitirme lograr esta meta.*

***A MIS PADRES**, Marco Tulio y Ana Silvia, porque desde la distancia siempre estuvieron a mi lado en pensamiento apoyándome en todo.*

***A MIS HERMANITAS**, Ingrid Johana y Daniela porque son unas personitas maravillosas.*

*Y aquella persona que estuvo a mí lado todo este tiempo, a quien amo y dedico este triunfo **A.F.F.M***

Diana Carolina

El presente trabajo de monografía está

*dedicado a todos mis colegas, compañeros
y nuevos amigos de la VI Cohorte de la
Especialización en Gerencia e Interventoría de
Obras Civiles, con quienes compartimos mucho
mas que el interés de obtener el título de
Especialista.*

***A DIOS,** por brindarme todo lo que he
requerido en beneficio de la consecución de
mis objetivos profesionales y personales.*

***A MIS PADRES,** Mariela y Numael,
por todo su apoyo y buenos deseos que
siempre mantienen desde la distancia.*

*Finalmente a todas aquellas personas que de
alguna u otra manera permitieron que llegara hasta
aquí dando un paso más en mi vida profesional.*

Carlos Andrés

AGRADECIMIENTOS

Se presentan los más sinceros agradecimientos en primer lugar a la Doctora María Fernanda Serrano Guzmán, directora de la presente Monografía y quien durante el transcurso de la ejecución de la misma, siempre estuvo atenta y presta a brindar su colaboración a través de su invaluable experiencia, amplio conocimiento y dominio del tema para la consecución de los objetivos trazados.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por la acogida brindada como miembros de una gran familia, a la Ingeniera Silvia Juliana Tijo López Coordinadora de la Especialización en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles y al Director de la facultad de Ingeniería Civil, Ing. Aldemar Remolina por su gran apoyo y colaboración durante el tiempo que duró la especialización.

A las familias, amigos y compañeros del ámbito laboral y universitario de cada ejecutor del presente trabajo, quienes siempre estuvieron presentes para ofrecer y brindar su apoyo en todo momento durante más de un año.

Tabla de contenido	pág.
INTRODUCCIÓN	6
1. ¿POR QUE REVISAR EL ESTADO DEL ARTE?	7
1.1 ALCANCE	7
1.2 JUSTIFICACIÓN	8
1.3 OBJETIVOS	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2Objetivos específicos	8
1.3.3 Metodología empleada.....	9
2 EL CONCRETO Y LOS AGREGADOS.....	10
3 AGREGADOS NO CONVENCIONALES MÁS COMUNES	14
3.1 FIBRAS COMO AGREGADO PARA CONCRETOS	14
3.1.1 Fibras sintéticas como agregado para concretos.....	15
3.1.2 Las fibras naturales como agregado para concretos	17
3.2 ESCORIAS COMO AGREGADOS PARA CONCRETOS.....	19
3.3 AGREGADOS PROVENIENTES DE CONCRETO RECICLADO.....	20
3.4 PAPEL MOLIDO COMO AGREGADO PARA CONCRETOS	21
3.5ESCOMBROS COMO AGREGADO PARA CONCRETOS	23
4 ESTUDIOS Y CONCLUSIONES MÁS RELEVANTES EN AMERICA PARA EL PERIODO 2000 – 2010.	23
4.1ESTUDIOS EJECUTADOS CON FIBRAS SINTETICAS	23
4.1.1 Estudio: influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido	23
4.1.2 Estudio: mejoramiento de un concreto de 3000 psi con adición de viruta de acero con porcentajes de 6%, 8% y 10% respecto al agregado fino de la mezcla	24
4.1.3 Estudio: análisis, observación y comportamiento estadístico en función del tiempo de una mezcla de concreto de 3000 psi con adición de viruta de acero en porcentajes de 9%, 10% y 11% respecto al agregado	25
4.2 ESTUDIOS EJECUTADOS CON FIBRAS NATURALES	25
4.2.1 Estudio: uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto	25

4.2.2 Estudio: uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto	26
4.2.3 Estudio: comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar	27
4.3 CONCRETOS PREPARADOS CON AGREGADOS DE ESCORIAS	28
4.3.1 Estudio: reciclaje de escoria granulada de fundición (Egf) como sustitución de parte del cemento en hormigón	28
4.3.2 Efecto en la resistencia de las escorias de fundición de cobre como agregado fino en el comportamiento resistente del hormigón.....	30
4.3.3 Estudio: propiedades mecánicas, volumen de poros permeables, permeabilidad frente al ión cloruro de geoconcretos obtenidos mediante la activación de una escoria siderúrgica de alto horno colombiana (aasc) y análisis de su desempeño comparado con concretos tradicionales de opc	32
4.4 CONCRETOS RECICLADOS COMO AGREGADO	33
4.4.1 Estudio: el concreto reciclado como agregado	33
4.4.2 Estudio: agregados no convencionales para concreto no estructural	34
4.4.3. Estudio: efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigón	36
4.4.4 Estudio: comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados	38
4.4.5 Estudio: comportamiento físico-mecánico de hormigones reciclados con canto rodado	40
4.4.6 Estudio: propuesta de ecuación para la estimación del módulo de elasticidad del concreto preparado con material reciclado	41
5 EMPLEO DE CONCRETOS CON AGREGADOS NO CONVENCIONALES PARA EL CASO DE COLOMBIA.....	44
5.1 ESTUDIO: PROPUESTA DE ECUACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO PREPARADO CON MATERIAL RECICLADO	44
5.2 ESTUDIO: LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO ADITIVO EN EL DISEÑO DE CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA	46
5.3 ESTUDIO: CONCRETO PREPARADO CON RESIDUOS INDUSTRIALES.....	50
6. CUADRO COMPARATIVO	49
7 CONCLUSIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	64

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Componentes principales del cemento.....	14
Tabla 2. Ventajas y desventajas del uso de las fibras sintéticas	18
Tabla 3. Ventajas y desventajas del uso de las fibras naturales	21
Tabla 4. Resultados de la resistencia a la compresión.....	25
Tabla 5. Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido.....	26

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

TÍTULO: ESTADO DEL ARTE SOBRE LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON AGREGADOS NO CONVENCIONALES EN AMERICA PARA EL PERIODO 2000 – 2010.

AUTOR(ES): CARLOS ANDRÉS BARAJAS ALVARADO
DIANA CAROLINA OQUENDO VARGAS

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR(A): MARIA FERNANDA SERRANO GUZMAN

RESUMEN

En la última década se han desarrollado diferentes estudios para lograr un aprovechamiento de agregados no convencionales en la preparación de mezclas de concreto. Lo anterior porque la producción masiva de concreto ha generado un sobreconsumo de agregados naturales. Estudios previos demostraron que han sido utilizados agregados en mezclas de concreto tales como fibras de polipropileno, que aumentan en un 100% la resistencia al impacto; viruta de acero que mejora la resistencia a compresión: lechuguilla, estopa de coco, bagazo de cana que mejoran la resistencia a la flexión; escoria de fundición que mejoran la trabajabilidad; residuos industriales como la limalla y los escombros que aportan a la disminución de costos en mezclas de concreto manteniendo resistencias a compresión similares a las mezclas testigo.

Los estudios realizados permitieron conocer alternativas de materiales a ser utilizados en mezclas de concreto. Vale la pena resaltar que dentro de los estudios consultados, se hizo énfasis especial en algunos que se han ejecutado en el país, los cuales permiten hacer un diagnóstico preliminar del estado de la investigación sobre el tema frente a otros países de mayor trayectoria en la misma área. Por ultimo es claro que se deja una herramienta de consulta para la comunidad científica.

PALABRA CLAVES: Estudios, fibras, resistencia, escoria de fundición, trabajabilidad, costos, materiales, agregados

GENERAL SUMMARY OF WORK OF DEGREE

TÍTULO: STATE OF THE ART OF THE DEVELOPMENT OF CONCRETE MIXES ADDED UNCONVENTIONAL AMERICA FOR THE PERIOD 2000 TO 2010.
AUTOR(ES): CARLOS ANDRÉS BARAJAS ALVARADO
DIANA CAROLINA OQUENDO VARGAS
FACULTAD: CIVIL ENGINEERING
DIRECTOR(A): MARIA FERNANDA SERRANO GUZMAN

ABSTRACT

In the last decade several studies have been developed to achieve better use of non-conventional aggregates in the preparation of concrete mixtures, due to massive production of concrete that had led to an overconsumption of natural aggregates. Previous studies showed that aggregates have been used in concrete mixtures such as polypropylene fibers, which increase by 100% the impact resistance; steel shaving improves the compressive strength: lettuce, Coconut and sugar cane bagasse to improve bending strength, foundry slag improves the workability, industrial waste such as swarf and rubbish that contribute to cost reduction in concrete mixtures while maintaining compressive strength similar to the control mixtures.

Studies find alternative materials allowed to be used in concrete mixtures. It is worth noting that in the consulted studies, there was special emphasis in those that have been executed in the country, which allow making a preliminary diagnosis of the state of research on the subject compared to other countries with greater experience in the same area. Finally, it is clear that this research will be a useful consult tool for the scientific community.

KEYWORDS: Studies, fibers, strength, foundry slag, workability, cost, materials, aggregates.

INTRODUCCIÓN

La importancia que actualmente ha venido adquiriendo el reemplazo de materiales de construcción convencionales de origen no renovable (como el caso del agregado pétreo en los concretos), ha generado bastantes adeptos y seguidores del tema, enfocado a la reutilización de algunos materiales que permitan un mejoramiento en el proceso constructivo, encaminado hacia la sostenibilidad en el proceso y al aprovechamiento de los desperdicios, que habitualmente constituyen un problema importante dentro de cualquier proyecto de construcción.

A través del tiempo, el concreto ha sido uno de los principales materiales empleados en la construcción de diferentes tipos de obras de ingeniería, debido a que culturalmente el constructor se ha familiarizado, dominado y adaptado a los diversos sistemas constructivos que impliquen la utilización de este tipo de material, frente a otros de menor utilización. En el caso particular de nuestro país, el concreto se ha posicionado como el material más utilizado en las obras de construcción, debido a las privilegiadas condiciones geológicas en varias zonas del país que determinan una cierta abundancia de la materia prima para la elaboración del cemento, componente principal de éste, ésta condición lo hace relativamente más económico frente a otros tipos de materiales de construcción (acero, madera, etc.). Debido a la composición de este material (el concreto) y por la necesidad de abastecer la gran demanda en diversos proyectos de construcción (infraestructura, vivienda, etc.), se vienen ocasionado daños irreversibles en la fuente de explotación de las materias primas, muchas veces debido a la manera incontrolada y desmesurada del proceso, sin tener en cuenta que todos los recursos que se emplean no son renovables.

Por las razones expuestas anteriormente, se considera que el tema propuesto es de gran importancia para la ejecución de la monografía y como requisito para la obtención del título de Especialista en Gerencia e Interventoría de Obras civiles, no solo por involucrar la búsqueda de información relacionada con la implementación de agregados no convencionales en las mezclas de concreto; sino también por brindar una herramienta de consulta a la comunidad educativa interesada en profundizar en el tema propuesto y en cierta medida con la intención de generar conciencia en la necesidad de prever proyectos que sean amigables con el entorno y el medio ambiente donde se desarrollarán..

1. ¿POR QUE REVISAR EL ESTADO DEL ARTE?.

La opción de llevar a cabo la revisión del estado del arte para éste tema en particular, surge debido a la cantidad de estudios y de avances que se han venido dando en las últimas décadas a nivel mundial sobre el uso de agregados que difieren a los que comúnmente se han denominado convencionales (grava y arena). En cierta medida con la ejecución de un compendio de información al respecto del tema eje del desarrollo del presente trabajo de grado, se busca poder brindar una herramienta de consulta a la comunidad educativa y en general a cualquier persona o profesional involucrado en el área de la ingeniería, que tenga inquietud o que desee conocer un poco mas al respecto de la tendencia que nace a partir de la necesidad del ser humano de innovar el empleo de nuevos materiales que sean determinantes en los procesos constructivos que habitualmente hacen parte de la evolución de nuestra sociedad.

Otra parte importante a tener en cuenta y que actualmente se ve reflejada en la mayoría de los procesos constructivos es la problemática ambiental, que ha generado una explotación y uso desmesurado de los recursos naturales renovables, no renovables y la inadecuada disposición de éstos (residuos de la construcción), específicamente en el desarrollo de la mayoría de los proyectos de construcción.

Por las razones anteriormente citadas, surge la necesidad de tener una orientación acerca de los estudios relacionados con el uso de agregados para el concreto que se denominarán no convencionales (por su origen y por que difieren a los que habitualmente se han empleado a lo largo de la evolución del concreto como material de construcción) y tener un elemento que permita ejecutar un paralelo entre el uso frecuente de los concretos convencionales y los no convencionales frente al desarrollo de los proyectos en los cuales el ingeniero civil interactúa al ejercer su profesión.

1.3 ALCANCE

Este trabajo presenta los casos más representativos de algunos de los agregados no convencionales que de alguna manera presentan el mayor índice de estudio en la preparación de concretos, citando casos de estudios nacionales e internacionales, así como algunas experiencias para el caso del entorno

colombiano. Esta revisión menciona concretos preparados con los agregados que presentaron mayor cantidad de estudios luego de haber efectuado la recopilación de información propuesta en la metodología de trabajo para el intervalo de tiempo elegido. Se espera que en estudios posteriores se aborden otro tipo de agregados y estudios, así como otros periodos anteriores al elegido, el cual corresponde al 2000-2010.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

La importancia en el desarrollo de una mentalidad sostenible a nivel de construcción en el mundo, ha generado un gran número de propuestas innovadoras enfocadas en el empleo de tecnologías y sistemas constructivos limpios, ambientalmente responsables y sostenibles. Por este motivo se han trabajado iniciativas a nivel internacional dignas de imitar e implementar a escala nacional y local. Uno de estos casos es la utilización de agregados no convencionales para la elaboración de mezclas de concreto, pretendiendo aprovechar materiales que anteriormente eran desechados o que sencillamente no se proyectaban como útiles dentro de la gama de materiales para la construcción.

El presente proyecto de monografía surge de la necesidad de realizar un análisis comparativo de las diferentes conclusiones obtenidas de los estudios consultados acerca de la elaboración de mezclas de concreto empleando agregados no convencionales, para ofrecer una herramienta de consulta que presente el estado del avance de los estudios en este campo y que sirva de orientación para posteriores estudios en el área.

1.3 OBJETIVOS.

Para el desarrollo de la presente monografía se presentan los siguientes objetivos.

1.3.1 Objetivo general

- Identificar los agregados no convencionales más utilizados en la elaboración de concretos en el periodo comprendido entre el 2000 y el 2010.

1.3.2 Objetivos específicos. Los cuales se encuentran especificados así:

- Mencionar y describir los agregados no convencionales más comunes empleados en las mezclas de concreto.
- Realizar un análisis comparativo de las conclusiones obtenidas en los estudios consultados, relacionados con la utilización de agregados no convencionales en las mezclas de concreto en América para el periodo 2000 – 2010, enunciando las ventajas y desventajas de cada tipo de material.
- Describir casos específicos en los que actualmente se estén utilizando concretos preparados con agregados no convencionales para el caso Colombia.

1.3.3 Metodología empleada. Dentro de las etapas que acompañaron este trabajo de grado se pueden citar:

- **RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN:** Se consultaron estudios, investigaciones, artículos, exposiciones, proyectos de grado tanto en pregrado como en posgrado, etc. El material consultado fue clasificado según la relevancia del tema.
- **CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN:** La información se clasificó de acuerdo con los objetivos específicos planteados, de tal manera que permitiera estructurar el presente trabajo de grado. Vale la pena resaltar que uno de los criterios dominantes para la clasificación de la información fue la cantidad de estudios encontrados para los agregados no convencionales en general.
- **ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN:** Una vez se clasificó la información, se procedió a analizarla de acuerdo con los temas que se querían abordar específicamente, con el fin de obtener las conclusiones representativas producto de la revisión del estado del arte para el presente tema, en función de la cantidad de estudios y la relevancia de los mismos.

2 EL CONCRETO Y LOS AGREGADOS.

Como parte esencial del tema abordado, no se puede dejar a un lado el concepto de concreto y de su composición, desde luego hay que retomar en cierta medida algunos datos importantes en la evolución del mismo como referencia y como una forma de evidenciar el constante cambio que ha tenido el material en mención a través del tiempo hasta la actualidad.

El concreto es un material que se ha sido utilizado y estudiado por cientos de años, ya que tiene la propiedad de permitir ser moldeado en estado fresco y de adquirir dureza y resistencia en estado endurecido. Es un material de gran aplicación a nivel de la construcción y que puede proveer acabados estéticos a un precio relativamente económico [1]. El concreto, en los tiempos modernos conserva las propiedades mecánicas del pasado pero adicionalmente puede ser modificado, dependiendo su uso futuro, mediante aditivos y variaciones en sus elementos constitutivos [2].

El concreto es definido en la terminología de ASTM (C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates) como un material compuesto que consiste en un medio de enlace dentro del cual se embeben partículas o fragmentos de agregado [3].

El concreto se produce a partir de un diseño de mezclas que consiste en la selección de los constituyentes disponibles (cemento, agua, agregados y aditivos) y su dosificación en cantidad relativas para producir, tan económicamente como sea posible, una mezcla con ciertas propiedades. De tal manera que los factores básicos en el diseño de una mezcla de concreto son los siguientes [32]:

- Economía
- Facilidad de colocación y consolidación
- Velocidad del fraguado
- Resistencia
- Durabilidad
- Impermeabilidad
- Peso unitario
- Estabilidad de volumen
- Apariencia adecuada.

Estos factores o características requeridas están determinadas por el uso al que estará destinado el concreto y por las condiciones esperadas al momento de su colocación. [32]

El principal componente del concreto, es el cemento Portland, el cual ocupa entre el 7% y 15% del volumen de la mezcla y tiene propiedades de adherencia y cohesión que proveen buena resistencia a la compresión [4]. El cemento es conocido por ser una de las materias primas más utilizada y por ende indispensable en la construcción. Habitualmente no existe obra alguna en la cual, la presencia del cemento no sea protagonista. Es considerado por excelencia como el pegante mas económico y versátil, y todas las propiedades con las que cuenta, permite su aprovechamiento en cualquier cantidad de usos [32].

Al mencionar la palabra cemento en el medio de la construcción, y más específicamente en el de la fabricación de concreto para estructuras, implícitamente ésta hace referencia a cemento Portland o cemento a base de portland, el cual tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua ya que reacciona químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes. El cemento Portland tiene propiedades de adhesión y cohesión, que permiten aglutinar los agregados para conformar un concreto con resistencia y durabilidad adecuadas [32].

Tabla 1. Componentes principales del cemento

Componente	Nivel de reacción	Calor liberado	Clase de cemento
Silicato Trialcico C3S	Medio	Medio	Bueno
Silicato Di cálcico C2S	Bajo	Pequeño	Bueno
Aluminio Trialcico	Rápido	Grande	Pobre
Aluminoferototetracálcico C4AF	Lento	Pequeño	Pobre

Fuente: Muñoz, 2011

El segundo componente son los agregados que ocupan entre el 59% y 76% del volumen de la mezcla, son esencialmente materiales inertes, naturales y artificiales, de forma granular, que para una mejor conveniencia se separan en partes finas que son las arenas, y las gruesas que son las gravas [4]. La forma, textura y angularidad entre otras características del material pétreo tienen especial efecto en la resistencia y durabilidad del concreto [5]. Los agregados pueden ser definidos como aquellos materiales inertes de forma granular que poseen una

resistencia propia suficiente, que no perturban ni afectan el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico y que garantizan una adherencia con la pasta del cemento endurecida. [32].

La razón principal para utilizar agregados dentro del concreto, es que estos actúan como material de relleno, haciendo más económica la mezcla. Los agregados, en combinación con la pasta fraguada, proporcionan parte de la resistencia a la compresión.

Existen agregados cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas, colaborando con la resistencia mecánica del concreto, sin embargo existen agregados que presentan elementos nocivos que reaccionan afectando la estructura interna y las propiedades del concreto como los compuestos sulfurados. Los agregados provienen de una masa mayor que puede haberse fragmentado por procesos evolutivos, o por medio de la trituración mecánica [32].

Basados en la gravedad específica (densidad relativa) los agregados se dividen en dos tipos: La mayoría de agregados de minerales naturales tienen gravedades específicas en el rango de 2.4 a 2.9 y densidades aparentes en el rango de 95 a 105 pcf, y caen en la categoría de peso normal:

- Agregado liviano
- Agregados de pesos normal
- Agregados pesados.

El agregado liviano (cualquier agregado con densidad aparente menor que 70 pcf ó 0.1120 kg/m^3) es usado como material crudo en la manufactura del concreto liviano, igualmente se usa en la producción de bloques de albañilería liviana para mejorar las características térmicas, aislantes. [33]

La gravilla, el granito triturado y la arena ordinaria son agregados de peso normal. Ellos son comúnmente usados en la manufactura de concretos de peso normal, concreto asfáltico y subbase de calzada. Los valores promedios de la gravedad específica para arena y granito son 2.6 y 2.65 respectivamente. [33]

Por otra parte el agregado pesado es un agregado de alta densidad que se utiliza principalmente para la fabricación de hormigón pesado y para la protección contra la radiación nuclear. [33]

El tercer componente es el agua que ocupa entre el 14% y 18% del volumen de la mezcla e hidrata al cemento portland por medio de complejas reacciones químicas [4]. Es un ingrediente fundamental en la elaboración del concreto y mortero debido a que desempeña una función importante que al mezclarse le da la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido. Generalmente se hace referencia a su papel en cuanto a la cantidad para proveer una relación agua/ cemento acorde con las necesidades de trabajabilidad y resistencia, pero no solo su cantidad es importante, sino su calidad física y química. [32]

Adicionalmente, el concreto contiene cantidad de aire atrapado normal pero también puede ser intencional, el aire normal atrapado en el concreto oscila entre el 1% y 3% del volumen de la mezcla, y el incluido intencionalmente esta entre el 2% y 7% del volumen de la mezcla [4].

Los aditivos son materiales diferentes del agua, de los agregados y del cemento hidráulico que se utilizan con ingredientes del concreto y que se añaden a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado, con el objetivo de modificar sus propiedades para que esta sea más adecuada a las condiciones de trabajo o simplemente para reducir los costos de producción del concreto. En términos de función estos pueden ser retardantes o acelerantes.

3 AGREGADOS NO CONVENCIONALES MÁS COMUNES.

Las industrias de cemento y del concreto han hecho importantes esfuerzos por incorporar los criterios de sostenibilidad en sus procesos de fabricación y por reducir el impacto ambiental que puedan causar las estructuras hechas con el material durante su vida útil y su demolición final. [6]. En América latina, la sostenibilidad es objeto permanente de foros en la Federación Iberoamericana del cemento (FICEM) entidades en que participan productores de concreto y cemento de la región. [6].

En Colombia la sostenibilidad ha formado parte de la agenda de las industrias del cemento y el concreto desde hace muchos años. Varias plantas colombianas realizaron procesos de reconversión para disminuir sus emisiones de CO₂ y así mismo para utilizar en sus procesos residuos industriales como combustible, entre otros, llantas usadas y cascarilla de arroz, mediante tecnología avanzada y sin afectar la calidad de los productos. [6].

A continuación, se mencionarán algunos de los tipos de agregados no convencionales, que de acuerdo con la información encontrada están en concordancia con lo propuesto en los objetivos específicos de la presente monografía.

3.1 FIBRAS COMO AGREGADO PARA CONCRETOS

La Norma Técnica Colombiana NTC No. 5721 define las fibras como filamentos delgados y alargados en forma de haz, malla o trenza de cualquier material natural o fabricado que pueden ser distribuidos dentro del concreto mezclado en estado fresco.

Las fibras empleadas como agregados no convencionales para la preparación de mezclas de concreto pueden ser sintéticas orgánicas (polipropileno, carbón), sintéticas inorgánicas (acero, vidrio) o naturales (lechuguilla, cortezas, etc.).

3.1.1 Fibras sintéticas como agregado para concretos. Las fibras sintéticas orgánicas se fabrican de materiales tales como acrílico, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno. En general, las fibras sintéticas se caracterizan por tener elevada resistencia a la tensión y entre ellas se definen dos categorías las de alto y las de bajo modulo de elasticidad. [7].

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
FIBRAS SINTETICAS [7]	<ul style="list-style-type: none"> - En estado endurecido incrementa la tenacidad y la resistencia al impacto y en estado fresco ayuda en el control de la contracción plástica. - Controla la aparición de fisuras durante la vida útil de la estructura y brinda mayor resistencia a la fatiga. 	Elevado costo

Tabla 2. Ventajas y desventajas del uso de las fibras sintéticas

El uso de polímeros en el concreto ha venido creciendo rápidamente y hoy en día tienen diversas aplicaciones estructurales. Los polímeros pueden ser usados efectivamente en elementos prefabricados, como: box culverts, paneles de edificios y elementos relacionados con estructuras de transporte (paneles de puentes, traviesas en ferrocarriles y elementos en túneles), es empleado también para reparar superficies averiadas de pavimentos, puentes, pisos y presas [8].

Dentro de las ventajas que presenta su utilización se encuentran: el curado rápido, ayuda a reducir la polución en el ambiente, se obtienen excelentes propiedades mecánicas y se adquiere entre el 70 y el 80% de la resistencia a los 7 días, en un día. La desventaja que presenta es su elevado costo comparado con los concretos preparados con agregados convencionales. [8].

Dentro de las fibras de polímeros las más empleadas son las de polipropileno las cuales se utilizan para mejorar las propiedades de contracción inicial y aumentar la resistencia al fuego. Durante los últimos años se han realizado diversos estudios para evaluar las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno, en los que el porcentaje de fibras ha variado entre 0.1 y 10% del volumen. Algunos de estos resultados son contradictorios respecto a los efectos de las fibras de polipropileno en las resistencias a compresión y flexión del concreto. Algunos estudios indican que la presencia de las fibras tiene efectos negativos en la resistencia a compresión, aunque se alcanzan ligeros incrementos

en la resistencia a flexión, cuando el contenido de fibra es relativamente alto. Otros estudios presentan efectos favorables de la adición de fibra sobre la tenacidad e incremento en la resistencia a compresión, del orden de 25%, cuando se emplea un porcentaje volumétrico de 0.5% de fibras de polipropileno [7].

El uso de concreto reforzado con fibra ha pasado de la experimentación a pequeña escala a aplicaciones de rutina en plantas de prefabricados y en campo que incluye la colocación de muchos miles de metros cúbicos en todo el mundo. En la práctica actual de la construcción a la matriz de concreto se añaden fibras discontinuas en volúmenes relativamente bajos, usualmente en porcentajes menores a 2%, aunque lo más común es que varíe entre 0.1 y 0.7%. [7].

Dentro de las fibras sintéticas inorgánicas se encuentra el vidrio y el acero. El vidrio molido se ha implementado para mejorar el desarrollo de tensión y flexión de las mezclas de concreto. Una de sus ventajas es la fácil consecución y el relativo bajo costo para el mejoramiento de estas propiedades. Una de las desventajas es que es necesario un control muy detallado en el proceso de dosificación y preparación de la mezcla. Las propiedades mecánicas de un elemento estructural se mejoran en función de la localización, orientación y concentración del vidrio que se utilice como agregado para la preparación de las mezcla de concreto. [9]

La norma Colombiana NTC 5214 clasifica las fibras de acero con base en el producto proceso usado como fuente de la siguiente manera: como piezas de alambre estirado en frío con superficies lisas o deformadas, piezas de lamina cortada con superficies lisas o deformadas, fibras extraídas por fundición, fibras de corte de laminación o de alambre estirado en frío modificado, las cuales son lo suficientemente pequeñas para ser dispersadas aleatoriamente en una mezcla de concreto. [10].

Las fibras de acero presentan ciertas deformaciones, por ejemplo extremos más anchos, terminación en forma de gancho u ondulaciones, entre otros. Estas deformaciones tienen el fin de incrementar la resistencia al desprendimiento de la fibra con la matriz cementante [10].

En Colombia el uso tanto de las fibras metálicas como sintéticas, se ha vuelto frecuente en la construcción, pero debido a que es una tecnología reciente en el país, se han generado grandes interrogantes sobre las dosificaciones adecuadas, criterios de uso y medición de las propiedades de un concreto reforzado con fibras (CRF). [10].

En nuestro país actualmente existe la siguiente normativa relacionada con el tema:

NTC 5214- Fibras de acero para refuerzo de concreto.

NTC 5241- Concretos reforzados con fibra

NTC 5721- Método de ensayo para determinar la capacidad de absorción de energía (tenacidad) de concreto reforzado con fibra.

3.1.2 Las fibras naturales como agregado para concretos. Pueden ser una posibilidad real para los países en desarrollo, ya que están disponibles en grandes cantidades y representan una fuente renovable continua. La fibra es afectada principalmente por la alcalinidad de la matriz de concreto. La durabilidad del compuesto dependerá entonces de la protección que tenga la fibra y de las características de impermeabilidad propias de la matriz. [11]

A partir de que las fibras de asbesto fueron relacionadas con potenciales peligros para la salud, se inició la búsqueda de posibles sustitutos que le proporcionaran al concreto las propiedades tan favorables que el asbesto le daba, además de ser competitivos en calidad y precio. Un grupo de fibras llamadas naturales o vegetales han sido motivo de varios estudios para su posible aplicación como refuerzo del concreto. [11]

Materiales reforzados con fibras naturales se pueden obtener a un bajo costo usando la mano de obra disponible en la localidad y las técnicas adecuadas para su obtención. Estas fibras son llamadas típicamente fibras naturales no procesadas. Sin embargo, las fibras naturales pueden ser procesadas químicamente para mejorar sus propiedades, generalmente derivadas de la madera. [11]

Aunque históricamente muchas fibras han sido usadas para reforzar varios materiales de construcción, ha sido hasta años recientes que los científicos se han dedicado a estudiar a las fibras naturales como refuerzo, ya que anteriormente su uso se limitaba exclusivamente a la producción de ropa, colchones y cobijas. [11]

A finales de los años 60s, se llevó a cabo en otros países una evaluación sistemática de las propiedades de ingeniería de las fibras naturales y de los compuestos formados por estas fibras con el cemento. Los resultados de las investigaciones indican que las fibras pueden ser usadas con éxito para fabricar materiales de construcción. Posteriormente se desarrollaron procesos de

manufactura apropiados para la producción comercial en varios países de América Central, África y Asia. [11]

Los productos hechos con cemento portland y fibras naturales no procesadas tal como el sisal, coco, caña de azúcar, bambú, yute, madera etc., se han probado para determinar sus propiedades de ingeniería y su posible uso en la construcción en al menos 40 diferentes países. Aunque los resultados fueron alentadores, se encontraron algunas deficiencias respecto a su durabilidad. Estas deficiencias al parecer son resultado de la reacción entre la alcalinidad de la pasta de cemento y las fibras, además de la susceptibilidad al ataque de microorganismos en presencia de la humedad. [11]

Investigaciones con fibras vegetales dentro de matrices cementicias han sido realizadas en Colombia por el Grupo de Investigación del Departamento de Materiales de Ingeniería de la Universidad del Valle, durante varios años y con el financiamiento de Colciencias y el Fondo de Fomento Agropecuario del Ministerio de Agricultura, grupo que ha desarrollado procesos para su aplicación como material de fibro – refuerzo en la fabricación de tejas [12].

La capacidad de refuerzo de una fibra depende del grado en que los esfuerzos pueden serle transferidos desde la matriz, grado que a su vez está regido por las características intrínsecas de la fibra, como: resistencia a la tensión más resistente que la matriz; capacidad de resistir deformaciones muy superiores a la deformación en que la matriz se agrieta; módulo de elasticidad alto para aumentar el esfuerzo que soporten en un elemento bajo carga, siempre y cuando las fibras y la matriz se conserven totalmente adheridas; adherencia adecuada con la pasta de cemento; relación de Poisson menor que la de la matriz para aumentar fricción de adherencia; y relación longitud / diámetro adecuada para que conserve su capacidad de absorción de esfuerzos. [12].

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
FIBRAS NATURALES	- Competitividad en calidad y precio	- Deficiencias respecto a su durabilidad.

Tabla 3. Ventajas y desventajas del uso de las fibras naturales

3.2 ESCORIAS COMO AGREGADOS PARA CONCRETOS

El ámbito de la construcción es especialmente adecuado para reutilizar residuos industriales tales como: cenizas volantes, humo de sílice, escoria siderúrgica de alto horno, entre otros; pues con ello se consigue un efecto doblemente positivo: dejan de utilizarse materias primas naturales y se valoriza un residuo cuya eliminación generaría gastos adicionales y cierto impacto ambiental [13].

El cemento Pórtland ordinario (CPO), es uno de los materiales para la construcción más empleados en la producción de concreto, debido fundamentalmente, a las excelentes propiedades mecánicas que presenta en estado endurecido, a su relativo bajo costo y versatilidad. Sin embargo, la producción del CPO es una de las prácticas más contaminantes ya que cerca del 5% de la contaminación atmosférica es atribuida a esta industria [13].

Entre estos materiales, conocidos como suplementarios o adiciones, la escoria granulada de alto horno (FGBS en ingles: *Fly ash and granulated blast furnace slag*) se ha empleado con éxito como sustituto parcial y total del cemento Pórtland Ordinario dentro de las mezclas de concreto, dando lugar a materiales con mejores desempeños mecánicos y de durabilidad [9].

Este material, formado básicamente por óxidos de Si, Al y Ca, posee propiedades hidráulicas latentes, y en general su naturaleza vítrea lo hace un material apto para ser activado alcalinamente, dando lugar a los denominados Geoconcretos [10].

Los cementantes basados en la activación alcalina de escoria siderúrgica de alto horno fueron desarrollados en la antigua USSR en 1957 y hasta la fecha se han publicado diversas investigaciones donde resaltan el desempeño mecánico y de durabilidad de estos materiales frente a los producidos con CPO [10].

La FGBS, utilizada sin cemento Pórtland, experimenta una hidratación rápida cuando es mezclada con un activador adecuado, tal como una solución de silicato del sodio, y si se mezcla con los agregados puede producir un concreto que desarrolla una resistencia mecánica elevada a edades tempranas y genera un concreto que es denso e impermeable.¹ Por otra parte, este nuevo tipo de cementante contribuye con el desarrollo sostenible gracias a la disminución en las emisiones de CO₂ y un menor consumo de recursos naturales (Aperador et al., 2009) [10].

¹ (Shi 1996; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A; Puertas, F 2003; Fernández-Jiménez A., Palomo A 2009)

3.3 AGREGADOS PROVENIENTES DE CONCRETO RECICLADO

Por las presiones económicas y ambientales se considera justificable el uso del concreto reciclado como fuerte alternativa de nuevos agregados, no obstante el concreto reciclado puede tener algunas propiedades diferentes al hecho con los agregados naturales, se puede usar para fabricar concretos fuertes y durables con la debida atención en las pruebas de laboratorio, diseño de mezcla y construcción. En áreas donde existe una baja disponibilidad de agregados vírgenes, o el abastecimiento del mismo es costoso por los altos costos de la tierra, o existe una regulación ambiental adversa, reciclar es la única solución económicamente viable [11].

Los propósitos iniciales del reciclaje del concreto como material de agregado ha generado una serie de cuestionamientos. Primero ¿la calidad del nuevo concreto que contiene el material reciclado en comparación con el concreto viejo o con el concreto hecho con agregado natural? ¿Puede el concreto triturado dar agregados de calidad? ¿Pueden los refuerzos ser fácilmente removidos? ¿Podría el reciclaje para estos propósitos ser una alternativa económicamente viable contra un material natural? Las anteriores preguntas y muchas otras sobre el reciclaje de concreto han sido contestadas en los últimos 15 años. [11].

En una reciente publicación del Journal of the Transportation Research Board (N° 2205) se trata el tema específico relacionado con el uso de materiales reciclados en la construcción de pavimentos en países en vía de desarrollo, se menciona como en varios apartes de éste trabajo de grado, la problemática originada por algunos procesos constructivos (escombros) propios de la ejecución de proyectos de ingeniería, básicamente se habla de la posibilidad de reutilizar escombros y residuos de procesos constructivos en la conformación de una superficie de rodadura con características similares a las que se obtendrían con materia prima virgen, con esto se ven afectados de forma positiva los costos y el impacto al medio ambiente. Se cita específicamente el caso de Colombia en función del desarrollo y crecimiento de la infraestructura vial, la cual va de la mano con las posibilidades de crecimiento económico que se asocia a la competitividad de cualquier región. Entre otras razones como los elevados costos del transporte de carga y el mal estado de algunas importantes vías en el país, se visualiza de manera acertada y realista la posibilidad de tener vías construidas con bloques de concreto (adoquines) elaborados con materiales reciclados, los cuales están en capacidad de competir de manera rentable frente a otros tipos de vías, teniendo ventajas dominantes como lo es el caso del mantenimiento en comparación con otro tipo de proceso constructivo aplicado a vías.

En varios países suramericanos se han venido utilizando bloques de concreto en la construcción de vías, lo cual con el tiempo ha obtenido un auge que ha llevado a generar una producción de manera más tecnificada y controlada para garantizar un producto adecuado a las necesidades viales para las cuales se emplean. El principal objetivo del estudio se basó en 3 cosas fundamentales:

- Identificar los principales productos de construcción y demolición producidos en diferentes proyectos.
- Establecer las proporciones de los agregados (natural y reciclado) para definir una mezcla de concreto con comportamiento similar a la hecha con materiales tradicionales.
- Determinar las propiedades mecánicas elegidas para un diseño y su respectivo control de calidad.

El estudio tuvo en cuenta una caracterización del agregado para obtener un diseño óptimo con variables significativas como el slump, tamaño máximo del agregado, contenido de agua y aire respectivo, relación agua cemento, entre otras. Dentro de los resultados más relevantes se observó un comportamiento muy similar al de un concreto hecho con los componentes habituales, no obstante con la ventaja de tener un comportamiento amigable con el medio ambiente, se puede afirmar que no hay ninguna desventaja frente a los concretos hechos con materiales tradicionales.[34]

Finalmente estas preguntas son las que se quiere que dejen huella en la mentalidad de los profesionales que quieren optar por incursionar en éste tipo de alternativa en los diferentes procesos constructivos que empleen concreto como material.

3.4 PAPEL MOLIDO COMO AGREGADO PARA CONCRETOS

Se ha empleado efectivamente en aquellos sitios en donde se presentan condiciones de congelamiento y descongelamiento, ayudando a detener o a propagar más lentamente las fisuras provocadas por efecto de este fenómeno, incrementando así la durabilidad del concreto. Este agregado ayuda a reducir la polución ya que puede ser obtenido a partir de residuos cotidianos. Una desventaja sería el riguroso control en la dosificación de este agregado para preparar mezclas de concreto. [14]

3.5 ESCOMBROS COMO AGREGADO PARA CONCRETOS

Los escombros son considerados residuo de actividades como demolición, remodelación y construcción. Normalmente, los escombros se clasifican como residuos urbanos, aunque están más relacionados con una actividad industrial que doméstica. Una de las principales ventajas es que mediante el reciclaje de escombros se contribuye al aumento de la vida útil de los rellenos sanitarios y se evita la degradación de recursos naturales no renovables. [15]

A continuación se presentan los resultados obtenidos de Resistencia a la compresión para algunas determinadas mezclas (Tabla 4). [32].

MEZCLAS	RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/cm ²)		
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
D3 (Arena 30%; Ag. Grueso 60%; Lad. Grueso 10%)	108,23	126,43	169,92
B7 (Arena 20%; Ag. Grueso 60%; Esc. Grueso 10%)	123,99	165,21	153,97
B7 (Arena 30%; Ag. Grueso 60%; Lad. Fino 10%)	130,8	179,95	190,12
E4 (Arena 40%; Ag. Grueso 60%)	150,83	177,66	200,68
B7 (Arena 40%; Ag. Grueso 60%; Esc.. Grueso 10%)	156,6	173,47	223,56

Tabla 4. Resultados de la resistencia a la compresión

4 ESTUDIOS Y CONCLUSIONES MÁS RELEVANTES EN AMERICA PARA EL PERIODO 2000 – 2010.

A continuación se presentan los estudios que de acuerdo con la recopilación de información, han tenido mayor concentración de esfuerzos científicos enfocados al uso de éstas como agregado para la elaboración del concreto, se hará una introducción breve relacionada con el tipo de agregado y luego se citarán los aspectos mas importantes del estudio en sí hasta llegar a citar sus conclusiones.

4.3 ESTUDIOS EJECUTADOS CON FIBRAS SINTETICAS

41.1 Estudio: influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido [7]. Se presentan los resultados de un estudio experimental realizado en el Laboratorio de Materiales del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el que se evalúa el comportamiento del concreto por la adición de fibras de polipropileno. El estudio comprende la fabricación de mezclas de concreto con dos tamaños de agregado grueso (9.5 y 19.0 mm), y cuatro contenidos de fibra de polipropileno (0, 1, 3 y 5 kg/m³), en mezclas con revenimiento promedio de 100 mm y una resistencia nominal a compresión de 300 kg/cm². Se evalúan las propiedades, en estado plástico, de revenimiento, masa unitaria, aire atrapado y agrietamiento por contracción plástica, así como las propiedades mecánicas de resistencia a compresión, a tensión por compresión diametral, a flexión, al impacto, módulo elástico, contracción por secado y tenacidad. (Ver Tabla 5.)

PROPIEDAD	CONCLUSION
Agrietamiento por contracción plástica	Reducen en forma importante el agrietamiento por contracción plástica cuando la proporción de fibras de polipropileno son igual o mayor a 3 kg/m ³ de concreto, reducen en forma importante
Consistencia	Se modifica la consistencia del concreto cuando la proporción de de fibra es elevada (del orden de 5 kg/m ³ o superiores)
Masa unitaria y contenido de aire atrapado	Se modifica ligeramente
Resistencia a compresión, Módulo de elasticidad,	No se modifican en forma significativa por la inclusión de fibras hasta para consumos

Relación de Poisson y Deformación unitaria a la falla por compresión.	de 5 kg/m ³ .
Resistencia a tensión por flexión	Se modifica, aunque la tendencia no queda definida totalmente ya que en algunos casos la incrementa y en otros la reduce.
Resistencia al impacto	Se incrementa en forma significativa con el consumo de fibras de polipropileno, siendo en algunos casos, mayor al doble para proporciones de fibra de 5 kg/m ³ de concreto.
Tenacidad	Se incrementa en forma importante con el consumo de fibra, sobre todo en las mezclas con agregado grueso de 9.5 mm y arena lavada.
Contracción por secado	se reduce en forma importante con el consumo de fibras, sobre todo en las mezclas con agregado grueso de 9.5 mm y arena lavada

Tabla 5. Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido

4.1.2 Estudio: mejoramiento de un concreto de 3000 psi con adición de viruta de acero con porcentajes de 6%, 8% y 10% respecto al agregado fino de la mezcla [17]. El presente estudio muestra las conclusiones obtenidas de la elaboración de una mezcla de concreto con porcentajes de adición de viruta de 6%, 8% y 10%, las cuales fueron ensayadas a compresión a una edad de 3,7 y 28 días.

Las conclusiones obtenidas son las siguientes:

- ✓ El porcentaje de adición de viruta que arroja menores resultados es el de adición del 10%, alcanzando a los 28 días de edad una resistencia promedio de 36 Mpa y alcanzando un incremento con respecto a la muestra patrón del 62%.
- ✓ Cuando se observa el porcentaje de aumento de la resistencia en cada una de las edades de los diferentes porcentajes de adición de viruta se pudo observar que a las edades tempranas se logra un aumento mayor que el

que presenta a los 28 días, a los 3 y 7 días respectivamente hay un incremento del 86% y 85% y a los 28 días un 62%.

- ✓ La adición de viruta de acero a las mezclas de concreto no afecta en nada su manejabilidad, ni su fluidez.
- ✓ Con los resultados obtenidos y realizando un estudio detallado se pueden hacer diseños de mezclas más económicos y que se comporten de forma más eficaz.

4.1.3 Estudio: análisis, observación y comportamiento estadístico en función del tiempo de una mezcla de concreto de 3000 psi con adición de viruta de acero en porcentajes de 9%, 10% y 11% respecto al agregado fino [18]. El presente estudio muestra las conclusiones obtenidas del análisis, observación y comportamiento estadístico en función del tiempo de una mezcla de concreto de 3000 psi con adición de viruta de acero en porcentajes de 9%, 10% y 11% respecto al agregado fino, se tomaron muestras representativas sobre los diferentes porcentajes de adición de viruta, para los cuales se consideraron 120 cilindros para cada porcentaje.

Las conclusiones obtenidas son las siguientes:

- ✓ La adición de viruta no representa un cambio en las propiedades físicas del concreto, las muestras presentaron una estabilidad en su densidad dando como dato promedio 2,4 Mg/m³, lo que indica que este tipo de concreto no presenta variabilidad en su peso.
- ✓ Con la adición de 9% y 11% de viruta de acero respecto al agregado fino de la mezcla, se mejora la resistencia respecto a la mezcla estándar.
- ✓ A los 3 y 7 días, se pudo observar que en las mezclas con adición de viruta de los tres porcentajes presentaron un aumento significativo respecto a la muestra estándar.

4.4 ESTUDIOS EJECUTADOS CON FIBRAS NATURALES

4.2.1 Estudio: uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto [19]. Se tomó como referencia una investigación pretendía encontrar los tratamientos adecuados en la fibra, que permitan aumentar la durabilidad del

compuesto reduciendo el deterioro que sufre la misma en el medio alcalino propio del concreto.

La investigación consistió en pruebas a las fibras y ensayos en los especímenes de concreto reforzado con fibras naturales (CRFN). Para la caracterización de las fibras se obtuvo su diámetro, longitud promedio, % de absorción de agua, densidad absoluta y porosidad. También, se observó su morfología con micrografías de la sección transversal de la fibra. Las propiedades mecánicas obtenidas fueron el esfuerzo último a la tensión y la elongación a la ruptura. Para minimizar el deterioro de las fibras se propuso impregnarlas con seis diferentes sustancias repelentes al agua que fueran económicas y no dañaran al concreto. Para una impregnación más eficiente se estudió la variación de la tensión superficial y la altura de capilaridad con relación a la temperatura de estas sustancias.

Las conclusiones obtenidas se resumen a continuación:

- ✓ Las fibras de lechuguilla tienen significativas propiedades físico mecánicas tal como su resistencia última a tensión, que les permite ser consideradas como posible refuerzo en el concreto.
- ✓ El tratamiento protector con parafina, le permite a la fibra reducir su capacidad de absorción de agua. Además, de mantener un porcentaje aceptable de su resistencia última a la tensión después de haber estado expuesta durante un año a un ambiente húmedo y alcalino, lo que resulta sumamente crítico.
- ✓ La fibra de lechuguilla permite un comportamiento dúctil después del agrietamiento de la matriz de concreto.
- ✓ Las fibras largas adicionadas en bajas cantidades, es decir, con porcentajes bajos del volumen total de la mezcla, proporcionan al concreto la capacidad para soportar mayores cargas de flexión en comparación con el concreto simple.

4.2.2 Estudio: uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto [20]. En este estudio se evaluaron las propiedades físicas, químicas y mecánicas, para la correcta caracterización de la fibra de la estopa de coco (*Cocus nucifera*), obtenida como residuo de la industria alimenticia en el Valle del Cauca, así como las propiedades físicas y mecánicas de morteros

reforzados con volúmenes de fibra de estopa de coco de 0.5 y 1.5% y longitudes de 2 y 5 cm.

Se presentan los resultados obtenidos en los compuestos, los cuales fueron probados a compresión axial, tracción indirecta y flexión, y en los cuales la incorporación de fibras disminuyó en todos los casos la deformación máxima.

Las conclusiones obtenidas se resumen a continuación:

- ✓ 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 L=5 cm.
- ✓ 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.
- ✓ 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).

4.2.3 Estudio: comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar [21]. Se preparó un material compuesto de fibra de bagazo de caña, donde las fibras presentaron una distribución aleatoria dentro del compuesto. Se estudió 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.

Las conclusiones obtenidas se resumen a continuación:

- ✓ 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 el 2,5% en relación al peso total del agregado grueso, y cuyas fibras con longitudes entre 15 y 25mm son retenidas en el tamiz No.6, las cuales alcanzan resistencia a compresión a los 14 días de fraguado entre 8.6 y 16.88 MPa, estando por encima de las probetas sin adición de fibras.
- ✓ El material compuesto de fibras de bagazo con porcentajes entre el 0,5 y el 2,5% en relación al peso total del agregado grueso, permiten reducciones entre 141 y 336 Kg/m³, con respecto a probetas patrones con densidades promedias de 2400 Kg/m³, aspecto importante para la consideración de cargas muertas por peso propio en estructuras.
- ✓ 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.
- ✓ El tratamiento aplicado a las partículas o fibras de bagazo con Hidróxido de calcio al 5,0 % durante 24 horas a una temperatura de 24°C, y con cloruro de calcio al 3,0 % en relación a la masa de cemento como acelerante del fraguado, presentó un comportamiento aceptable, permitiendo baja degradación de la fibra en la matriz del compuesto.

4.5 CONCRETOS PREPARADOS CON AGREGADOS DE ESCORIAS

4.3.1 Estudio: reciclaje de escoria granulada de fundición (Egf) como sustitución de parte del cemento en hormigón [22]. El reciclaje de residuos sólidos industriales se ha vuelto una práctica indispensable en la preservación de los recursos naturales, en la minimización de los costos y en la reducción del impacto ambiental.

La utilización de materiales alternativos en la industria de la construcción civil es una práctica económicamente atractiva y ambientalmente correcta. Siendo así, el empleo de escorias como materia prima en carreteras, hormigón y cemento ya es una práctica corriente, en la cual, el destino más noble de estos materiales

reciclables depende de la existencia de características adecuadas al uso propuesto.

La escoria granulada de fundición (EGF) es un residuo generado en el proceso de fusión de chatarras de hierro fundido en horno cubilote. Estudios anteriores apuntaron que esta escoria, cuando es finamente molida, presenta buenas propiedades piroclásticas (de tipo puzolana). Además, su estructura amorfa, resultante del proceso de generación a través del enfriamiento brusco y la composición química adecuada, permiten una aplicación más noble de este residuo, como sustituto del cemento.

Este trabajo tiene como objetivo estudiar el desempeño de hormigones con la utilización de escoria granulada de fundición como sustitución de parte del cemento, a través de la evaluación de sus propiedades mecánicas.

Para ello fueron moldeados cuerpos de prueba de hormigón con diferentes combinaciones de tenores de sustitución de cemento por escoria granulada de fundición (10%, 30% y 50%), en volumen, y relaciones agua/aglomerante (0,40; 0,55 0,70), a ser comparadas con el hormigón de referencia (sin EGF). Para cada edad de hormigón (7, 28 y 91 días) se realizaron ensayos mecánicos, tales como la resistencia a la compresión uniaxial, resistencia a la tracción por compresión diametral y resistencia a la tracción en la flexión. Resultados muestran que la escoria granulada de fundición presenta adecuado desempeño (propiedades mecánicas) en relación a la aplicación propuesta.

Las conclusiones obtenidas se resumen a continuación:

- Observando a los resultados obtenidos, queda evidente que los valores de las resistencias a la compresión uniaxial con el grado de 10% de sustitución de cemento por EGF se aproximan de los valores de referencia (con 0% de sustitución) a medida que la relación agua/aglomerante aumenta (de 0,40 para 0,70), quedando prácticamente iguales para la relación agua/aglomerante (a/agl.) de 0,70. Como era esperado, se verifica que la resistencia a la compresión es directamente proporcional al grado de hidratación (y proporcional a la edad) del hormigón.
- Pueden ser percibidos los efectos de la interacción del grado de sustitución de cemento por EGF y de la edad (grado de hidratación) sobre las resistencias a la tracción por compresión diametral y a la tracción en la

flexión, respectivamente, del hormigón. Se observó más una vez el buen desempeño de la resistencia, en este caso para las resistencias a la tracción por compresión diametral y a la tracción en la flexión, ante la utilización del grado de 10% de sustitución de cemento por EGF, obtienen doce valores similares al de referencia (0%).

- Se verifica que el consumo de cemento disminuye a medida que se aumenta el grado de sustitución de cemento por EGF, lo que además de representar una ganancia significativa con la economía de cemento, también representa una ganancia técnica, ya que se minimizan los perjuicios de durabilidad causados al hormigón durante la hidratación del cemento, cuando el consumo de cemento se vuelve muy elevado.
- Los resultados presentados demuestran la viabilidad del reciclaje de EGF como sustitución de parte del cemento en hormigones, en relación a las propiedades mecánicas investigadas. El grado de 10% de sustitución de cemento por EGF presentó resultados de resistencia del hormigón similares a los del hormigón de referencia. Además, independientemente del grado de sustitución de cemento por EGF utilizado, se obtuvo significativa economía en el consumo de cemento, habida cuenta de que para todos los grados este consumo disminuyó.

4.3.2 Efecto en la resistencia de las escorias de fundición de cobre como agregado fino en el comportamiento resistente del hormigón [23]. Las escorias de fundición de cobre son residuos industriales provenientes de la fundición del cobre, las cuales procesadas en forma de granallas y sometidas a un proceso de molienda adquieren características similares a las de un árido fino. La presente investigación estudia la influencia que tiene su incorporación en el comportamiento mecánico a flexotracción y compresión en hormigones que emplean como árido fino una combinación de arenas del río Bío-Bío con proporciones de 25%, 40% y 50% en volumen de escorias de fundición de cobre. El árido fino resultante se utiliza en la confección de hormigones dosificados para relaciones de agua cemento de 0,45 y 0,52 asociadas a resistencias especificadas a la flexotracción de 3,6 y 4.3 MPa. Se mide la trabajabilidad en el hormigón fresco, la densidad, la carga de rotura por flexotracción y la carga de rotura por compresión en el hormigón endurecido comparando los resultados con un hormigón de referencia que no contiene escorias. Los resultados señalan que la docilidad de la mezcla se incrementa debido a la textura lisa de las escorias, se produce un aumento de la densidad del hormigón endurecido y las resistencias tanto a flexotracción como compresión se incrementan en función del contenido de escorias de fundición de cobre utilizado en la mezcla.

El propósito de la presente investigación se centra en el estudio experimental de la resistencia a la flexotracción de hormigones fabricados con un árido fino obtenido a partir de la combinación de arena Bío-Bío con granalla de EFC en distintas proporciones en volumen (25%,40% y 50%) para dos relaciones de agua cemento (0.45 y 0.52) [9]. A través de este estudio se busca validar las experiencias previas desarrolladas por Moura². Al-Jabri [61] en cuanto a la trabajabilidad en el hormigón fresco, la densidad y resistencia a la flexotracción en el hormigón endurecido cuando se utilizan como materia prima granallas de EFC provenientes de la fundición Caletones (El Teniente. Codelco. Chile).

Las conclusiones obtenidas se resumen a continuación:

- La incorporación de EFC afecta la trabajabilidad de la mezcla, se observa un incremento de la docilidad del hormigón con contenido de EFC en relación al hormigón de referencia. Esto se atribuye a la textura de las EFC que resultan ser más lisas que la de las arenas utilizadas.
- Se observa un aumento de la exudación en los hormigones que contienen EFC con respecto al hormigón de referencia, siendo este proporcional al contenido de las mismas. Este incremento se atribuye al alto peso específico de EFC en relación al resto de los materiales y a que la absorción de las partículas de EFC es muy baja.
- En el hormigón endurecido se observa que sustitución de arena por un determinado porcentaje de EFC genera un incremento proporcional en la densidad del hormigón, alcanzando valores superiores a 2600 kg/m³ cuando se utiliza un 50% de EFC. Lo anterior se atribuye al alto peso específico que presenta la escoria, la cual genera un aumento de la densidad media a medida que se incrementa el porcentaje de EFC.
- La resistencia a la flexotracción y compresión del hormigón aumenta en todos los casos estudiados, en función del porcentaje de incorporación de EFC. Se concluye que la principal ventaja de las EFC desde el punto de vista de la resistencia es el incremento de la capacidad de carga con respecto al hormigón de referencia.
- Los valores máximos de la resistencia tanto a flexotracción como compresión se alcanzan para contenidos de EFC del 40% y 50%. Sin embargo, después de un análisis de la desviación normal de los valores

² W. Moura and D. Coutinho. 'influence of copper slag admixture in concrete in durability properties". Ambiente Construido. Porto Alegre. Vol. 4 N° 2, pp. 41-56. April 2004.

medios no es posible concluir cual de ambos contenidos de EFC genera la tensión de rotura mayor.

4.3.3 Estudio: propiedades mecánicas, volumen de poros permeables, permeabilidad frente al ión cloruro de geoconcretos obtenidos mediante la activación de una escoria siderúrgica de alto horno colombiana (aasc) y análisis de su desempeño comparado con concretos tradicionales de opc [10]. En la que se encuentra la siguiente:

Metodología: Como activadores alcalinos para la producción de los Geoconcretos se empleó Hidróxido de Sodio (NaOH) y waterglass ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$). Se determinó la resistencia mecánica a diferentes edades de curado, junto con algunas propiedades de durabilidad. Los resultados fueron comparados con mezclas de referencia de concreto de Cemento Pórtland, con cantidad de cementante (340Kg/m^3) y relaciones agua/cementante equivalentes a los concretos activados alcalinamente [10].

Las conclusiones obtenidas se resumen a continuación:

- Los concretos activados con waterglass presentaron las mejores propiedades de resistencia mecánica, seguido del concreto de referencia y AAS activado con NaOH.
- A pesar de que el concreto de AAS activado con NaOH reportó menores resistencias a edades avanzadas de curado, su estructura más densa y menos porosa lo cataloga como un concreto más durable que el concreto de OPC.
- El tipo de activador alcalino empleado para la elaboración de Geoconcretos a partir de una escoria siderúrgica de alto horno, no es un factor que afecte significativamente los valores de porosidad, succión capilar y permeabilidad a los iones cloruros, sin embargo se ve una diferencia notoria entre estos dos materiales cuando son expuestos a una solución de sulfato de sodio, donde el concreto activado con NaOH presenta una mayor expansión y una mayor pérdida de resistencia mecánica.
- En términos generales, los concretos de AAS, y en especial los activados con waterglass, presentan cualidades mecánicas y de durabilidad que lo catalogan como un material de excelente calidad.

4.4 CONCRETOS RECICLADOS COMO AGREGADO.

4.4.1 Estudio: el concreto reciclado como agregado “sus propiedades y usos como una alternativa de agregados para el concreto de los pavimentos rígidos”. [11]. Los estudios iniciales fueron realizados por Alan Buck de la Estación experimental Waterways del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (WES), quien examinó las propiedades del agregado a partir de concreto triturado con contenido de gravas chert (grueso) y arenas naturales (finos) y un segundo agregado a partir de un concreto triturado con caliza (grueso) y arena natural (finos). Estos agregados manufacturados fueron ensayados y comparados con agregados naturales y fueron incorporados en mezclas de concreto para futuras comparaciones.

A continuación se describen algunas de las conclusiones basados en diversos estudios realizados:

- Las partículas de agregados producidas por el concreto triturado tienen un buen tamaño, alta absorción y baja gravedad específica, comparada con agregados minerales naturales.
- El concreto hecho con agregado fino y grueso del concreto reciclado tiene menores asentamientos y mayores contenidos de cemento comparado con mezclas hechas con cualquier agregado y arena natural fina.
- El concreto a partir del material agregado reciclado tiene resistencias a la compresión de 300 a 1300 psi (2068 a 8962 kPa) menos que el concreto de referencia durante el periodo de prueba (edades mayores a 180 días).
- El cambio de volumen en respuesta a los cambios de temperatura o incremento en la humedad era similar para las mezclas de concretos reciclados y para las de control.
- El uso de concreto triturado como agregado no tiene un efecto significativo sobre las proporciones en las mezclas o en su trabajabilidad comparadas con las mezclas de control.
- Cuando el concreto triturado se usa como agregado fino, la mezcla es menos trabajable y necesita mayor cantidad de agua y a veces mas cemento. Pero al sustituir el agregado fino del reciclado por arena natural en un 30%, la trabajabilidad del concreto resultante alcanza los niveles de una mezcla convencional.

- El uso de material reciclado de concretos con baja resistencia no resulta en la reducción de la resistencia a la compresión del concreto.

El uso de reductores de agua adicionada a la mezcla para bajar el contenido de agua es eficiente en el incremento de resistencias de mezclas de concreto que contienen reciclado como agregado.

4.4.2 Estudio: agregados no convencionales para concreto no estructural. [24]. La necesidad de buscar alternativas para la elaboración de concreto con agregados no convencionales, nace de la preocupación socio-económica que vislumbra el medio, es por eso que se deben buscar soluciones inmediatas a estos inconvenientes. El cambio radica básicamente, en el aprovechamiento de materiales e insumos, producto de algún deshecho constructivo, generando así una opción valiosa para los agregados del concreto; se esta hablando, de reemplazar, arena por polvo de ladrillo y/o materiales finos; grava por fragmentos de ladrillo y/o concreto, todo esto proveniente de los escombros; y porque no, tal vez, pensar en el posible mejoramiento estético del producto, aprovechando la capacidad de pigmentación del polvo de ladrillo.

Aunque la idea es clara, es preciso puntualizar, en que aportaría esta concepto al desarrollo tecnológico del país; bueno, es por demás decir, que los materiales producto de desechos constructivos (escombros), son extremadamente económicos y no requerirán mayor proceso de reciclaje y preparación, y mas aún, tendrían uso en obras no estructurales que requieran de concreto, por ejemplo, andenes, canchas deportivas, etc. Es así como se propone una idea que aporte una salida económica en las obras civiles y arquitectónicas, y se pueda así tener una industria tecnificada para este evento.

Los escombros constructivos son materiales determinantes en el equilibrio ambiental del planeta, producen contaminación visual, erosión, impiden la siembra y definitivamente producen afecciones a la salud humana a largo plazo; pero, visualizando desde otra perspectiva, este material es aprovechable casi en un cien por ciento, en cuanto a construcción se requiere, es por esto, que se muestra la idea de aplacar el problema ambiental, con una solución, que aprovecharía económicamente el sector de la construcción.

La rehabilitación del material ya nombrado, es una solución para un doble problema: primero, el de disminuir el impacto ambiental, reduciendo el volumen de material de deshecho; segundo, el alivio económico que generaría al ámbito de construcción, en cuanto al ahorro de los agregados para el concreto.

El objeto de estudio de la presente investigación fue la de realizar un análisis mediante ensayos de laboratorio (Normas ICONTEC) al escombros proveniente de demoliciones (edificios y pavimento hidráulico), para utilizar este material en la elaboración de concreto simple y compararlo con el concreto convencional.

Utilizando un método convencional de diseño (método A.C.I.), se obtuvo una dosificación de cemento, agua, arena y grava (1:2.8:1.7); que muestra un contenido alto de arena, debido a que se obtuvieron partículas de gran diámetro, ya que, el tamaño máximo real y el tamaño máximo nominal son muy bajos. Esta cantidad de más en la arena cumple de alguna manera la función de grava, buscando compensar la deficiencia de ésta, dando la resistencia deseada o un valor muy aproximado a ésta. Como es descrito en el análisis de resultados, el valor del concreto realizado con escombros como agregado, es más bajo que el agregado convencional, ya que, el precio del escombros es más bajo que el agregado convencional (grava y arena). Además del precio más bajo, se considero nuevamente y como lo ha sido durante todo el desarrollo de esta investigación, que el impacto ambiental se vera afectado, ya que, en la actualidad muchos de estos escombros son ubicados en lugares que no están destinados para ello y podrían ser de utilidad para nuevas construcciones. Las recomendaciones que se deben tener para este concreto, están descritas en el capítulo de recomendaciones; y en cuanto a sus aplicaciones, según los resultados obtenidos sería un concreto que podría tener los usos de un concreto convencional. Aunque por seguridad, se recomienda utilizarlo como concreto no estructural, es decir, para obras tales como pavimentación de entradas a viviendas, construcción de canchas multifuncionales (polideportivos), reconstrucción de fachadas., etc. Lo anterior no impide que no se pueda utilizar en obras con algún grado de requerimiento estructural; siempre y cuando se atiendan las recomendaciones descritas en el proyecto.

- Los resultados que se obtuvieron, como ya fue mencionado, fueron bastante satisfactorios, lo cual a sido gratificante para el grupo de trabajo, tanto como trabajo de investigación, como proyecto de trabajo a futuro, ya que la resistencia obtenida fue muy cercana a la de diseño; aunque se debería realizar ensayo con resistencias más altas y verificar lo expuesto en este trabajo de investigación.

La practica de las recomendaciones plasmadas a continuación, representan un claro y significativo aporte a la resistencia final del material “concreto estructural con agregado a base de escombros”:

Retirar partículas, desechos, u objetos orgánicos del escombro a trabajar (madera, cartón, papel, tierra, fibras naturales, etc), y otros perjudiciales (vidrio, latas, telas, icopor, plástico, etc). Lavar con agua limpia el material de escombro, para retirar cualquier partícula adherida al granular. Triturar el material para lograr un TMN de ½". Retirar el exceso de finos del tamiz T – 200. No agregar arena, gravilla, aditivos u otro agregado; ya que la mezcla está probada para trabajar únicamente con el conjunto escombro – agua – cemento, y en donde el exceso de partículas pequeñas (pasa tamiz T – 100), reemplaza en parte la arena. Al momento de fundir un elemento, no pinchar ni compactar el concreto; se permite únicamente el uso de vibrador (máx. 10 seg), y martillo de goma. El cemento a emplearse en las mezclas de concreto, será Cemento Pórtland tipo I, Normal, ASTM C-150, o similar aprobado. Deberá llegar al sitio de la construcción en sus envases originales y enteros, ser completamente fresco y no mostrar evidencias de endurecimiento. Todo cemento dañado o ya endurecido, será rechazado. El cemento se almacenará en bodegas secas, sobre tarimas de madera en estibadas de no más de 10 sacos. El agua empleada en la mezcla de concreto deberá ser potable, limpia y libre de grasa o aceites, de materias orgánicas, álcalis, asientos o impurezas que puedan afectar la resistencia y propiedades del concreto.

La mezcla deberá hacerse en una mezcladora mecánica con no menos de 1 ½ minutos de revolución continua, una vez que todos los ingredientes hayan sido introducidos dentro de la mezcladora.

Se tendrá especial cuidado durante la operación de no mezclar con tierra e impurezas. Se podrá usar este concreto en elementos estructurales y fundaciones, siempre que el solicitante garantice su calidad con un testigo o cilindro de prueba para ser fracturado en un laboratorio de suelos.

El concreto que se haya endurecido parcialmente, o que haya contaminado con materiales extraños, no debe colocarse en la estructura.

Se cuidará de mantener continuamente húmedo y arriba de los 10 grados centígrados la superficie de concreto, mojándola tres veces al día por 7 días.

4.4.3. Estudio: efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigón [25]. La utilización de agregados reciclados obtenidos de la trituración de hormigones de desecho para la elaboración de nuevos hormigones permite disminuir la cantidad de residuos de construcción a la vez que disminuye la cantidad de materias primas a extraer, preservando así los recursos no renovables. Las propiedades de los agregados reciclados dependen de las

características de la roca original y de las propiedades de los hormigones que les dieron origen. En este trabajo se evalúan las propiedades físico-mecánicas de diferentes muestras de agregados gruesos reciclados, obtenidos de la trituración de hormigones de desecho de características tecnológicas desconocidas.

Con dichos agregados se elaboraron hormigones de distinta relación a/c, reemplazando un 75% en volumen de agregado grueso natural por agregado grueso reciclado. Se evaluaron distintas propiedades en estado fresco y endurecido, de manera comparativa con hormigones convencionales de similares características. Se observa una disminución en la calidad de los agregados reciclados respecto a los naturales debido principalmente al mortero adherido que los mismos presentan. El comportamiento resistente de los hormigones reciclados resultó semejante al del hormigón convencional, mientras que algunos de los parámetros dependientes de la densidad del material, como la velocidad del pulso ultrasónico y los módulos de elasticidad, resultaron inferiores a los del hormigón convencional.

Los estudios consistieron en la generación de un acopio de agregados reciclados a partir de la trituración de hormigones de desecho de diferentes características tecnológicas, los cuales provenían de orígenes variados. Para la trituración se empleó una trituradora a mandíbulas, obteniéndose un agregado con tamaño máximo de 25 mm. Se tuvo en cuenta que todos los hormigones triturados hubieran sido elaborados con agregados gruesos naturales del mismo tipo (granítico), ya que este hecho tiene influencia sobre las propiedades de los AR, y que los mismos estuvieran libres de contaminantes.

Los hormigones se trituraron periódicamente durante 9 meses habiéndose extraído un total de 12 muestras de agregados gruesos reciclados (AGR), a cada una de las cuales se les determinaron las propiedades físico-mecánicas tales como granulometría, peso específico, absorción de agua en 24 hs, pérdida de peso en el ensayo de desgaste "Los Ángeles" y contenido de material que pasa el tamiz de 74 mm.

Cada muestra de AGR fue utilizada en un 75% en volumen, en reemplazo del agregado grueso natural (AGN), para la elaboración de hormigones de distinta relaciones a/c cuyas propiedades en estado fresco (PUV, asentamiento y aire) y en estado endurecido (velocidad ultrasónica, módulos de elasticidad dinámico y estático y resistencia a compresión), fueron evaluadas comparativamente con las de hormigones convencionales de similares características.

- De los resultados obtenidos sobre diferentes propiedades de los agregados gruesos reciclados (AGR), procedentes de la trituración de hormigones desconocidos, como así también del comportamiento de los diferentes hormigones reciclados (HR) con ellos elaborados, empleándolos en un 75% en volumen en reemplazo del agregado grueso natural, puede concluirse que:
- La presencia de mortero como parte constituyente de los agregados gruesos reciclados, produce modificaciones en sus propiedades con relación a las del agregado grueso natural. De los 12 muestreos realizados surge que la calidad del AGR tiene influencia sobre alguna de sus propiedades, principalmente sobre la capacidad de absorción de agua, el desgaste "Los Angeles" y el pasa tamiz de 74 mm.
- El empleo de los agregados gruesos saturados (naturales y reciclados) conduce a que los asentamientos determinados en los hormigones HC y HR elaborados con las diferentes muestras, resulten similares entre sí. Los pesos por unidad de volumen muestran también una baja variación para cada hormigón HR.
- La velocidad del pulso ultrasónico y módulos de elasticidad dinámico y estático de los HR son inferiores al de los HC para cada una de las razones a/c estudiadas, observándose también una baja dispersión entre los valores determinados para cada hormigón. Las resistencias a compresión de los HR correspondientes a cada una de las razones a/c evaluadas son semejantes a las de los HC, motivo por el cual la relación $f'c-a/c$ es prácticamente la misma.
- Debe resaltarse que, en base a lo indicado en los puntos anteriores, las variaciones observadas en las propiedades de los AGR evaluados en este estudio no se ven reflejadas en las diferentes características de los hormigones con ellos elaborados.

4.4.4 Estudio: comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados [26]. El desperdicio producido por las plantas premezcladoras de concreto representa un problema de residuos sólidos que necesita solución. Este concreto puede ser utilizado para fabricar agregados. En este trabajo, se presenta el desempeño de concretos fabricados con agregados reciclados obtenidos a partir de cilindros de concreto premezclado y diferentes consumos de cemento. Los resultados experimentales mostraron que el comportamiento del concreto con agregados reciclados es similar al del concreto con agregados naturales, lo que sugiere que puede ser utilizado como un concreto

clase dos, de acuerdo con el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF).

Las plantas premezcladoras de concreto generan un porcentaje importante de desperdicio (estimado en un 10%) del concreto producido. Esto representa una pérdida de las materias primas que componen el concreto, principalmente del agregado natural, ya que este insumo es un recurso natural no renovable. Además, este desperdicio también implica la necesidad de un sitio para su disposición final, lo que a su vez, representa un problema debido a la escasez de áreas disponibles para ello. Por lo tanto, resulta imperativo dar una solución al problema. En este trabajo se propone el reciclaje del concreto premezclado para fabricar agregados gruesos como una posible solución. Para mostrar la factibilidad de la propuesta, en esta investigación se evaluaron las propiedades mecánicas de concretos elaborados con agregados gruesos producto del reciclaje de especímenes de concreto premezclado, y se compararon, ante igualdad de condiciones de fabricación, con las propiedades de concretos naturales (hechos con agregados naturales). Las propiedades mecánicas comparadas fueron el módulo de elasticidad y las resistencias a la compresión, tensión y flexión, todas obtenidas mediante pruebas de laboratorio. Los resultados experimentales obtenidos mostraron que los agregados, producto del reciclaje de concreto premezclado, producen concretos reciclados que pueden utilizarse como concretos clase dos, de acuerdo con el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF, 2003). Estos resultados muestran la factibilidad del reciclaje de concreto como una solución al problema, reutilizando el concreto premezclado y el obtenido de la demolición de estructuras existentes.

Las conclusiones más relevantes al respecto se presentan a continuación:

- ✓ El reciclaje de concreto para fabricar agregado grueso y sustituir al natural es una práctica que debe empezar a realizarse a la brevedad posible, ya que la disponibilidad de bancos de materiales pétreos es cada día más escasa.
- ✓ Este trabajo de investigación reveló que el agregado reciclado con granulometría adecuada produce mezclas de buena calidad y con un comportamiento mecánico similar al de los concretos naturales.
- ✓ Los concretos reciclados pueden ser utilizados como concretos clase dos, lo que lo convierte en un concreto con una cantidad de aplicaciones nada despreciables.

- ✓ En las resistencias a la tensión y flexión, se encontró que para consumos de cemento de 300 kg/m^3 y mayores, la relación $f_t/f_c^{1/2}$ y $M_R/f_c^{1/2}$ eran menores para los concretos reciclados, lo que se puede deber a que a bajas relaciones agua-cemento, domina el comportamiento del agregado grueso y a altas relaciones agua-cemento domina el de la pasta. Lo que conlleva a pensar que el agregado reciclado tiene su mejor aplicación en consumos de cemento bajos hasta 300 kg/m^3 , debido a que para consumos mayores pueden resultar mezclas antieconómicas.

4.4.5 Estudio: comportamiento físico-mecánico de hormigones reciclados con canto rodado [27]. Uno de los factores a tener en cuenta en la resistencia del hormigón es la textura superficial del agregado grueso, la cual actúa sobre la zona de interfase modificando la adherencia entre éste y el mortero. Los agregados reciclados obtenidos de la trituración de hormigones de desecho presentan, debido a su composición, una mayor porosidad y una textura superficial más rugosa que los agregados naturales, hecho que afecta tanto a las propiedades y características de los agregados reciclados como así también a las de los hormigones con ellos elaborados. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en hormigones elaborados con 50, 75 y 100% de reemplazo del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado proveniente de la trituración de un hormigón elaborado con canto rodado, comparativamente con los obtenidos en un hormigón convencional (con agregado grueso natural). Se observa que los hormigones reciclados presentan niveles resistentes similares al del hormigón convencional, siendo también satisfactorio su comportamiento durable frente a diferentes mecanismos de transporte.

Los resultados alcanzados en este estudio sobre hormigones elaborados con agregados gruesos reciclados obtenidos mediante la trituración de un hormigón convencional elaborado con agregado grueso natural de forma redondeada y textura lisa, permiten concluir que:

- El agregado grueso reciclado presenta menor densidad y mayor absorción de agua y pérdida de peso por abrasión que el agregado grueso natural debido a la presencia de mortero como parte constituyente de dichos agregados.
- En estado fresco, se observa una clara reducción del asentamiento a medida que se incrementa el porcentaje de agregado grueso reciclado utilizado, lo cual pone de manifiesto una notable influencia de la textura superficial de los mismos. Este hecho es atribuido a que el agregado natural está constituido por partículas de forma redondeada y textura lisa, mientras que el agregado reciclado presenta una mayor rugosidad superficial e irregularidad producto del mortero adherido.

- Los hormigones reciclados elaborados con hasta un 75% de agregados gruesos reciclados presentan un comportamiento resistente similar o superior al del HC, hecho que debe ser atribuido a una mayor adherencia entre la nueva matriz cementicia y el agregado reciclado, a pesar de poseer este último una calidad inferior respecto al agregado natural. Sin embargo, debe considerarse que en los HR se produce una disminución del módulo de elasticidad estático, la cual es más importante cuando se incrementa el porcentaje de agregado reciclado.
- Respecto al desempeño durable de los HR, se observa un comportamiento satisfactorio y similar al del HC frente al transporte de agua bajo presión, mientras que en el ensayo de absorción de agua por capilaridad se advierte un aumento significativo en los valores de la velocidad y capacidad de succión capilar para reemplazos superiores al 50%, cuestión que está directamente vinculada con la mayor porosidad de los agregados reciclados.
- Considerando los resultados indicados anteriormente, puede inferirse que hormigones de razones agua/cemento iguales o menores a 0.50 y elaborados con agregados gruesos reciclados de similares características a los utilizados en este estudio en porcentajes menores al 50%, presentarían un adecuado comportamiento resistente y durable. Por lo tanto, su empleo en la industria de la construcción constituye una alternativa ventajosa tanto desde el punto de vista económico como ecológico.

4.4.6 Estudio: propuesta de ecuación para la estimación del módulo de elasticidad del concreto preparado con material reciclado [28]. En el ejercicio profesional de las actividades propias de los ingenieros y arquitectos y en general de constructores, se generan escombros generados en las distintas etapas de los proyectos. Se propone la reutilización de estos escombros para la producción de concreto. Se presenta la metodología para evaluar la resistencia del concreto y estimar el módulo de elasticidad del concreto en función de la resistencia obtenida en las mezclas de diferentes fracciones de agregados. Estos valores pueden ser utilizados para recomendar una ecuación que pueda ser utilizada por los calculistas diseñadores, con miras a aprovechar los escombros como agregados para concretos o morteros.

El concreto como material compuesto, presenta un comportamiento mecánico a compresión proporcionado por la mezcla de agua, cemento, agregados y aditivos, cuando estos últimos se requieren. Teniendo en cuenta que los materiales pétreos provienen de diferentes fuentes y de diferentes mecanismos de explotación, el proceso de obtención de los mismos puede alterar las propiedades de los agregados. Por lo tanto, cambios en los agregados, afectan el comportamiento

final de las estructuras de concreto, comportamiento que es evaluado mediante el desarrollo de pruebas de resistencia y otras propiedades físico mecánicas como el Módulo de Elasticidad. La preparación de mezclas de concreto en la cual una fracción de los agregados es reemplazada por escombros altera la resistencia, y por tanto el valor del módulo de Elasticidad.

El módulo de elasticidad del concreto (E) es utilizado por los ingenieros calculistas en diseños estructurales en los cuales se deben estimar las derivas y las deflexiones a que puede estar sometida una construcción. Es entendible que imprecisiones en el valor utilizado del módulo de elasticidad del concreto aumentan la incertidumbre en la estimación de la rigidez de los distintos elementos de la estructura.

Por otro lado, aunque han sido varias las ecuaciones que se han planteado para determinar el módulo de elasticidad del concreto en el mundo [1] la forma más común usada por los ingenieros calculistas es determinar el módulo de elasticidad como función de la resistencia a la compresión. [26]

Actualmente la expresión $E=12,500\sqrt{f'_c}$ (kg/cm²) se plantea para ser usada en Colombia, sin distinguir el tipo de agregado. Teniendo en cuenta que los agregados aportan en un setenta por ciento a la resistencia del concreto conveniente evaluar la incidencia de las propiedades físicas y mecánicas del concreto cuando se modifican los agregados que convencionalmente se usan en las mezclas.

Las conclusiones más relevantes del estudio son:

- La actividad de la construcción, en sus distintas etapas, genera residuos que pueden ser recuperados y reutilizados dentro de la misma obra. El ajuste de estos residuos a tamaños adecuados para las mezclas de concreto, permite el aprovechamiento de estos escombros para la preparación de estas mezclas.
- Es importante por tanto implementar normas de calidad para la fabricación de estos concretos, lo cual exige la ejecución de ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión de las mezclas diseñadas.

- De la misma manera que el valor de la resistencia de un concreto convencional afecta el valor de elasticidad del concreto, este valor también se verá afectado si el concreto no es fabricado con los agregados naturales.
- Se presenta en este artículo una propuesta metodológica para la determinación de una ecuación que permita estimar el módulo de elasticidad del concreto en función de la resistencia a la compresión de cilindros preparados con mezclas cuyos agregados involucran fracciones de escombros.

5 EMPLEO DE CONCRETOS CON AGREGADOS NO CONVENCIONALES PARA EL CASO DE COLOMBIA.

De acuerdo con la metodología planteada y de acuerdo con el reciente auge de la investigación relacionada con el tema en mención, a nivel de Colombia, se han hecho estudios de un buen nivel de relevancia, la mayoría de ellos a nivel de pregrado en diferentes Universidades del país, por tal razón a continuación se muestran en resumen algunos de éstos con el fin de tener presente que se ha venido trabajando en pro de generar el uso de materiales sostenibles y amigables con el medio ambiente, que puedan ser empleados en cualquier proyecto de ingeniería.

5.1 ESTUDIO: PROPUESTA DE ECUACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO PREPARADO CON MATERIAL RECICLADO [29]

Se presentan resultados parciales de un proyecto de investigación en el cual se están caracterizando los materiales pétreos a ser utilizados en la preparación de una mezcla de concreto, en la que se utiliza una fracción de escombros. Se incluyen entonces, los ensayos de pruebas físico mecánicas tales como granulometría y masa unitaria, y los resultados experimentales de la distribución de vacíos con las distintas proporciones de mezcla de agregados. Con las muestras seleccionadas se prepararán testigos de concreto con agregados naturales y con mezclas de diferentes fracciones de agregado, escogiéndose para la preparación de la mezcla la fracción que arroje el menor porcentaje de vacíos $\pm 10\%$.

Así mismo, durante se realizó una visita a una escombrera autorizada en el Área Metropolitana de Bucaramanga, la cual aunque está cumpliendo internamente las normas ambientales para el funcionamiento, tiene unas vías de acceso que no tienen capa de rodadura lo cual permite que el material de subbase esté permanentemente expuesto (el nombre de la escombrera es reservado). Se pudo apreciar que en las inmediaciones de la escombrera, algunos transportadores de escombros descargan el material en la vía de acceso.

La generación de residuos es tan antigua como el mismo hombre. Lo que ha variado a través del tiempo es la cantidad y composición química y física de los residuos, la cual está estrechamente ligada con la evolución cultural y tecnológica

de la civilización y está particularmente relacionada con el nivel de ingreso [El aumento de contaminación, los problemas de salud, el deterioro del espacio público, y la necesidad de soluciones ecoeficientes son algunos de los problemas identificados por la acumulación indiscriminada de residuos [27].

La actividad de la construcción genera producción de escombros provenientes de las distintas actividades que se realizan. Pedazos de cerámica, mampuestos, concreto y madera, son algunos de los residuos mas comunes. Existen centros destinados para el acopio y disposición de estos materiales, los cuales son depositados en las zonas indicadas por las autoridades ambientales. Sin embargo, la falta de conciencia cívica ha generado que se dispongan indiscriminadamente todo tipo de desechos en las escombreras causando vectores de transmisión y malos olores en algunos de los sitios autorizados.

En Colombia, aunque existe normatividad que regula la disposición de escombros, la gestión integral de los residuos de construcción ha sido muy deficiente [7 de [27]]. Es responsabilidad de las autoridades ambientales generar mecanismos de control para garantizar el cumplimiento de la normatividad de las escombreras. Entre tanto, desde la academia, se puede proponer el desarrollo de tecnologías que permitan el aprovechamiento de los escombros como agregados de concreto para el desarrollo de adoquines, mampuestos, o inclusive concreto para andenes y sardineles. Este artículo presenta un avance de la investigación para el aprovechamiento de escombros en la preparación de un concreto para adoquines.

Las conclusiones del estudio concluyeron lo siguiente:

Se realizó visita de reconocimiento a las escombreras del Área Metropolitana de Bucaramanga. Es importante destacar que solamente se permitió el acceso a una sola de ellas, y que se solicitó mantener confidencial el nombre de la empresa. En la escombrera visitada, se pudo observar que las vías perimetrales requieren de pavimentación.

Internamente, la escombrera cuenta con los equipos y maquinaria para hacer la compactación del material que reciben, aunque se evidenció que no se hace selección del material entrante. Los escombros que se aprovecharon cumplen las características mecánicas para ser utilizados como agregados en mezclas. La preparación de las muestras testigo de concreto se ejecutará en cuanto se terminen los ensayos químicos de estos agregados.

Existe una matriz experimental desarrollada para realizar mezclas de concreto a ser ensayadas y con la mezcla que arroje el mejor comportamiento se prepararán adoquines. Esta es una alternativa de aprovechamiento de escombros, que mitiga factores ambientales externos de alteración al paisaje.

5.2 ESTUDIO: LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO ADITIVO EN EL DISEÑO DE CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA [30]

La ceniza de cascarilla de arroz es un material apropiado para ser utilizado como aditivo en el diseño de concretos de alta resistencia, ante esta situación, ingenieros de la Universidad del Valle realizaron una investigación para diseñar mezclas de concreto de alta resistencia con aplicación práctica en la región con materiales económicos y de fácil consecución en el mercado local.

Para la investigación se utilizaron agregados selectos como arena extraída de una de las zonas no contaminadas del río Cauca y varios agregados que incrementan la resistencia del material, el más importante de estos aditivos es la ceniza de cascarilla de arroz.

Este material es de fácil transporte y consecución pues es producido a gran escala en el departamento del Tolima y en los Llanos Orientales. Además la utilización de la ceniza de cascarilla de arroz favorece el establecimiento de industrias para su obtención.

Es la primera vez que en Colombia se utiliza la ceniza de cascarilla de arroz para diseñar concretos. Los hormigones siempre se han elaborado con humo de sílice obtenido de las fundiciones de silicio. Este elemento al no encontrarse en el país debe ser importado del exterior lo que ocasiona un incremento en los costos de la obra.

El procedimiento se inició con la quema de la cascarilla de arroz, para eliminar el compuesto orgánico de la misma. Luego, la ceniza se sometió a un proceso químico para extraer la sílice y adicionarlo, en pequeñas cantidades al cemento. Luego de varias pruebas y de cambios, se obtuvo, en el laboratorio, una muestra del nuevo cemento compuesto, con una mejora del 20 por ciento de la resistencia a la compresión, en comparación con el Pórtland tradicional.

Pero, además de mejorar la compresión, el nuevo compuesto cementante obtenido mostró una mejor durabilidad y un excelente desempeño en ambientes marinos.

El cemento con la adición, es menos permeable a los iones cloruros que son los que facilitan la corrosión del acero, que recubierto de concreto, funciona como la columna vertebral de las construcciones.

5.3 ESTUDIO: CONCRETO PREPARADO CON RESIDUOS INDUSTRIALES [31]

Este trabajo presenta los resultados obtenidos en el comportamiento mecánico del concreto preparado con una proporción de agregados no convencionales, representados en residuos inertes: escombros y limalla. se analizaron un total de 4 diferentes proporciones de agregados y limalla y se prepararon un total de 144 muestras de concreto.

Las conclusiones que arrojó el presente estudio se mencionan a continuación:

- La caracterización mecánica de los escombros de demolición de concreto y la limalla muestran que estos agregados no convencionales pueden ser utilizados para preparación de mezclas de concreto. Se destaca ue los escombros derivados del concreto presentan gravedades específicas similares a las gravedades específicas de los agregados naturales, mientras que la limalla presenta valores mayores; lo anterior puede explicarse en razón a las características metálicas de este material resultante de la fusión a altas temperaturas de la limadura de hierro, lo cual le confiere una mejor acomodación de las partículas que la conforman aumentando con ello la gravedad específica.
- Para el diseño de mezclas de concreto se utilizó el criterio del menor porcentaje de vacíos en las cantidades de los agregados. Tanto en la mezcla preparada con escombros como la mezcla preparada con escombros y limalla el porcentaje de vacíos de los agregados osciló entre 30 y 42%, y que en las proporciones evaluadas en este estudio la resistencia del concreto estuvo por encima del valor de la resistencia del concreto normal (210 kg/ cm²). La mezcla 7 (23% fino, 61% Grueso, 10% Escombros y 6% Limalla fina A/C 0.4) y la mezcla (40% fino, 50% Grueso,

10% Escombros A/C 0.4) presentaron valores de resistencia a compresión superiores a los valores requeridos en la mezcla original (210 kg/cm²). Los resultados preliminares de este estudio permiten concluir que la adición de limalla y escombros permite un aumento de la resistencia del concreto y un aprovechamiento de dos residuos sólidos provenientes de actividades industriales.

- La determinación del E_c experimental en los especímenes que fueron preparados con escombros y limalla arrojó errores frente a los valores estimados con el código colombiano de construcciones sismoresistentes NSR-2010. Sin embargo, es recomendable replicar el estudio incrementando el número de muestras mejorando las técnicas seguidas en el laboratorio para aumentar la confiabilidad en la técnica utilizada.
- Los escombros que se seleccionaron, ladrillo y residuos de demolición y la limalla son agregados no convencionales que fueron utilizados para la preparación de concreto para adoquines. Esto refuerza la posibilidad de uso de este tipo de materiales en aplicaciones constructivas. Además, la utilización de estos residuos se perfila como una alternativa ambiental y próspera de la cual se pueden beneficiar un grupo numeroso de personas que podría encargarse de la separación *in situ*.
- Así mismo, tanto el concreto producido con escombros como el concreto producido con escombros y limalla presentan una disminución en costos del concreto en obra. Esto demostró, que el aprovechamiento de residuos sólidos inertes representa un beneficio ambiental que conlleva a ahorros para la empresa.
- El uso de agregados no convencionales (residuos industriales inertes como escombros y limalla) es una práctica factible en la la preparación de concretos. La propuesta es la utilización de estas mezclas en andenes y sardineles, y una vez perfeccionada la dosificación probar la mezcla a nivel estructural (cortante, esfuerzo cortante y torsión).

6 COMPARATIVO DE LOS ESTUDIOS.

A continuación se resumen las conclusiones más relevantes tomadas de los estudios analizados para el presente trabajo de grado, tomando como referencia la bibliografía encontrada durante la etapa de consecución de la misma y posterior clasificación:

NOMBRE DEL ESTUDIO	AUTORES	AÑO	UNIVERSIDAD/PAIS	AGREGADO EMPLEADO	CONCLUSIONES RELEVANTES
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADOS PLÁSTICO Y ENDURECIDO	MENDOZA, C.J., AIRE C. Y DÁVILA P	2011	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM) – MEXICO	FIBRAS DE POLIPROPILENO	<ul style="list-style-type: none"> • Reducen en forma importante el agrietamiento por contracción plástica cuando la proporción de fibras de polipropileno son igual o mayor a 3 kg/m³ de concreto. • Se modifica la consistencia del concreto cuando la proporción de fibra es elevada (del orden de 5 kg/m³ o superiores). • La resistencia al impacto se incrementa en forma significativa con el consumo de fibras de polipropileno, siendo en algunos casos, mayor al doble para proporciones de fibra de 5 kg/m³ de concreto. • La tenacidad se incrementa en forma importante con el consumo de fibra, sobre todo en las mezclas con agregado grueso de 9.5 mm y arena lavada. • La contracción por secado se reduce en forma importante con el consumo de fibras, sobre todo en las mezclas con agregado grueso de 9.5 mm y arena lavada.

<p>MEJORAMIENTO DE UN CONCRETO DE 3000 PSI CON ADICION DE VIRUTA DE ACERO CON PORCENTAJES DE 6%, 8% Y 10% RESPECTO AL AGREGADO FINO DE LA MEZCLA.</p>	<p>CÓRDOBA GARCÍA, H.A, GUTIÉRREZ SARMIENTO, J. E</p>	<p>2008</p>	<p>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA - COLOMBIA</p>	<p>VIRUTA DE ACERO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El porcentaje de adición de viruta que arroja menores resultados es el de adición del 10%, alcanzando a los 28 días de edad una resistencia promedio de 36 Mpa y alcanzando un incremento con respecto a la muestra patrón del 62%. • Cuando se observa el porcentaje de aumento de la resistencia en cada una de las edades de los diferentes porcentajes de adición de viruta se pudo observar que a las edades tempranas se logra un aumento mayor que el que presenta a los 28 días, a los 3 y 7 días respectivamente hay un incremento del 86% y 85% y a los 28 días un 62%. • La adición de viruta de acero a las mezclas de concreto no afecta en nada su manejabilidad, ni su fluidez.
<p>ANALISIS, OBSERVACION Y COMPORTAMIENTO ESTADISTICO EN FUNCION DEL TIEMPO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO DE 3000 PSI CON ADICION DE VIRUTA DE ACERO EN PORCENTAJES DE 9%, 10% Y 11% RESPECTO AL AGREGADO FINO.</p>	<p>SUAREZ GONZÁLEZ, O.A, VARGAS RINCÓN, A.M.</p>	<p>2008</p>	<p>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA - COLOMBIA</p>	<p>VIRUTA DE ACERO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El mejor comportamiento de mezcla se obtuvo con la adición de viruta del 10% respecto al agregado fino, obteniendo una mejora de la resistencia respecto a la mezcla estándar así: a los 3 días aumenta un 453.69%, a los 7 días aumenta en un 50.00%, a los 28 días en un 44,98% y a los 56 días aumenta en un 40.82%. • Con la adición de 9% de viruta de acero respecto al agregado fino de la mezcla, se mejora la resistencia respecto a la mezcla estándar, a los 3 días aumenta un 33.73%, a los 7 días aumenta en un 31.39%, a los 28 días en un 32,38% y a los 56 días aumenta en un 31.70%. • Con la adición de 11% de acero respecto al agregado fino de la mezcla, se mejora la resistencia respecto a la mezcla estándar, a los 3 días aumenta un 39.72%, a los 7 días aumenta en un 41.92%, a los 28 días en un 26,98% y a los 56 días aumenta en un 26.01%. • A los 3 y 7 días, se pudo observar que en las

					mezclas con adición de viruta de los tres porcentajes presentaron un aumento significativo respecto a la muestra estándar, a los 28 y 56 días se puede observar que se presenta estable este aumento de resistencia, por lo cual se considera que esto se presenta por la utilización de un cemento tipo III en la mezcla de concreto, el cual logra mayores resistencias a tiempos iniciales.
USO DE FIBRAS NATURALES DE LECHUGUILLA COMO REFUERZO EN CONCRETO	JUÁREZ ALVARADO, CÉSAR A., RODRÍGUEZ LÓPEZ P	2003	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN MÉXICO – MEXICO	LECHUGUILLA	<ul style="list-style-type: none"> • Aportan significativas propiedades físico mecánicas tal como su resistencia última a tensión, que les permite ser consideradas como posible refuerzo en el concreto. • Se recomienda efectuar una protección con parafina, con lo cual la fibra reduce la capacidad de absorción de agua, además, ayuda a mantener un porcentaje aceptable de su resistencia última a la tensión. • La fibra de lechuguilla permite un comportamiento dúctil después del agrietamiento de la matriz de concreto. • Las fibras largas adicionadas en bajas cantidades, es decir, con porcentajes bajos del volumen total de la mezcla, proporcionan al concreto la capacidad para soportar mayores cargas de flexión en comparación con el concreto simple en un 20%.
USO DE FIBRA DE ESTOPA DE COCO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO	REVISTA CIENTÍFICA INGENIERÍA & DESARROLLO	2006	UNIVERSIDAD DEL NORTE - COLOMBIA	ESTOPA DE COCO	<ul style="list-style-type: none"> • 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

				<p>la flexión lo presentó el concreto de V0.5% y L=5 cm.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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• 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>COMPORTAMIENTO MECANICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR</p>	<p>OSORIO SARAZ J.A., VARÓN ARISTIZABAL, F., HERRERA MEJÍA, J.A</p>	<p>2007</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA-SEDE MEDELLÍN - COLOMBIA</p>	<p>BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 el 2,5% en relación al peso total del agregado grueso, y cuyas fibras con longitudes entre 15 y 25mm son retenidas en el tamiz No.6, las cuales alcanzan resistencia a compresión a los 14 días de fraguado entre 8.6 y 16.88 MPa, estando por encima de las probetas sin adición de fibras. • El material compuesto de fibras de bagazo con porcentajes entre el 0,5 y el 2,5% en relación al peso total del agregado grueso, permiten reducciones entre 141 y 336 Kg/m³, con respecto a probetas patrones con densidades promedias de 2400 Kg/m³, aspecto importante para la consideración de cargas muertas por peso propio en estructuras. • 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

					<p>como el coco, el bambú, entre otros.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El tratamiento aplicado a las partículas o fibras de bagazo con Hidróxido de calcio al 5,0 % durante 24 horas a una temperatura de 24°C, y con cloruro de calcio al 3,0 % en relación a la masa de cemento como acelerante del fraguado, presentó un comportamiento aceptable, permitiendo baja degradación de la fibra en la matriz del compuesto.
<p>RECICLAJE DE ESCORIA GRANULADA DE FUNDICIÓN (EGF) COMO SUSTITUCIÓN DE PARTE DEL CEMENTO EN HORMIGON</p>	<p>CECCATO, D.M.; MASUERO, A.B.; MORAES, C.A.M. and VILELA, A.C.F.</p>	<p>2009</p>	<p>UNIVERSIDAD DO VALE DO RIO DOS SINOS - BRASIL</p>	<p>ESCORIA GRANULADA DE FUNDICION</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Observando a los resultados obtenidos, queda evidente que los valores de las resistencias a la compresión uniaxial con el grado de 10% de sustitución de cemento por EGF se aproximan de los valores de referencia (con 0% de sustitución) a medida que la relación agua/aglomerante aumenta (de 0,40 para 0,70), quedando prácticamente iguales para la relación agua/aglomerante (a/agl.) de 0,70. Como era esperado, se verifica que la resistencia a la compresión es directamente proporcional al grado de hidratación (y proporcional a la edad) del hormigón. • Pueden ser percibidos los efectos de la interacción del grado de sustitución de cemento por EGF y de la edad (grado de hidratación) sobre las resistencias a la tracción por compresión diametral y a la tracción en la flexión, respectivamente, del hormigón. Se observó más una vez el buen desempeño de la resistencia, en este caso para las resistencias a la tracción por compresión diametral y a la tracción en la flexión, ante la utilización del grado de 10% de sustitución de cemento por EGF, obtienen doce valores similares al de referencia (0%). • Se verifica que el consumo de cemento disminuye a medida que se aumenta el grado de sustitución de cemento por EGF, lo que además de representar una ganancia significativa con la economía de cemento, también representa una ganancia técnica, ya que se

				<p>minimizan los perjuicios de durabilidad causados al hormigón durante la hidratación del cemento, cuando el consumo de cemento se vuelve muy elevado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los resultados presentados demuestran la viabilidad del reciclaje de EGF como sustitución de parte del cemento en hormigones, en relación a las propiedades mecánicas investigadas. El grado de 10% de sustitución de cemento por EGF presentó resultados de resistencia del hormigón similares a los del hormigón de referencia. Además, independientemente del grado de sustitución de cemento por EGF utilizado, se obtuvo significativa economía en el consumo de cemento, habida cuenta de que para todos los grados este consumo disminuyó.
<p>EFFECTO EN LA RESISTENCIA DE LAS ESCORIAS DE FUNDICIÓN DE COBRE COMO AGREGADO FINO EN EL COMPORTAMIENTO RESISTENTE DEL HORMIGÓN</p>	<p>REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA, VOL. 17 N° 1.</p>	<p>2009</p>	<p>UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN - CHILE</p>	<p>ESCORIAS DE FUNDICION DE COBRE</p> <ul style="list-style-type: none"> • La incorporación de EFC afecta la trabajabilidad de la mezcla, se observa un incremento de la docilidad del hormigón con contenido de EFC en relación al hormigón de referencia. Esto se atribuye a la textura de las EFC que resultan ser más lisas que la de las arenas utilizadas. • Se observa un aumento de la exudación en los hormigones que contienen EFC con respecto al hormigón de referencia, siendo este proporcional al contenido de las mismas. Este incremento se atribuye al alto peso específico de EFC en relación al resto de los materiales y a que la absorción de las partículas de EFC es muy baja. • En el hormigón endurecido se observa que sustitución de arena por un determinado porcentaje de EFC genera un incremento proporcional en la densidad del hormigón, alcanzando valores superiores a 2600 kg/m³ cuando se utiliza un 50% de EFC. Lo anterior se atribuye al alto peso específico que presenta la escoria, la cual genera un aumento de la

					<p>densidad media a medida que se incrementa el porcentaje de EFC.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La resistencia a la flexotracción y compresión del hormigón aumenta en todos los casos estudiados, en función del porcentaje de incorporación de EFC. Se concluye que la principal ventaja de las EFC desde el punto de vista de la resistencia es el incremento de la capacidad de carga con respecto al hormigón de referencia. • Los valores máximos de la resistencia tanto a flexotracción como compresión se alcanzan para contenidos de EFC del 40% y 50%. Sin embargo, después de un análisis de la desviación normal de los valores medios no es posible concluir cual de ambos contenidos de EFC genera la tensión de rotura mayor
<p>PROPIEDADES MECÁNICAS, VOLUMEN DE POROS PERMEABLES, PERMEABILIDAD FRENTE AL IÓN CLORURO DE GEOCONCRETOS OBTENIDOS MEDIANTE LA ACTIVACIÓN DE UNA ESCORIA SIDERÚRGICA DE ALTO HORNO COLOMBIANA (AASC) Y ANÁLISIS DE SU DESEMPEÑO COMPARADO CON CONCRETOS TRADICIONALES DE OPC</p>	<p>CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES,</p>	<p>2006</p>	<p>HABANA, CUBA,</p>	<p>ESCORIA SIDERÚRGICA DE ALTO HORNO COLOMBIANA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los concretos activados con waterglass presentaron las mejores propiedades de resistencia mecánica, seguido del concreto de referencia y AAS activado con NaOH. • A pesar de que el concreto de AAS activado con NaOH reportó menores resistencias a edades avanzadas de curado, su estructura más densa y menos porosa lo cataloga como un concreto más durable que el concreto de OPC. • El tipo de activador alcalino empleado para la elaboración de Geoconcretos a partir de una escoria siderúrgica de alto horno, no es un factor que afecte significativamente los valores de porosidad, succión capilar y permeabilidad a los iones cloruros, sin embargo se ve una diferencia notoria entre estos dos materiales cuando son expuestos a una solución de sulfato de sodio, donde el concreto activado con NaOH presenta una mayor expansión y una mayor pérdida de resistencia mecánica. • En términos generales, los concretos de AAS, y en

					especial los activados con waterglass, presentan cualidades mecánicas y de durabilidad que lo catalogan como un material de excelente calidad.
EL CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO "SUS PROPIEDADES Y USOS COMO UNA ALTERNATIVA DE AGREGADOS PARA EL CONCRETO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS"	ADAPTACIÓN AL ARTÍCULO PUBLICADO EN LA REVISTA CONCRETE INTERNATIONAL	2005	ESTADOS UNIDOS	CONCRETO RECICLADO	<ul style="list-style-type: none"> • Las partículas de agregados producidas por el concreto triturado tienen un buen tamaño, alta absorción y baja gravedad específica, comparada con agregados minerales naturales. • El concreto hecho con agregado fino y grueso del concreto reciclado tiene menores asentamientos y mayores contenidos de cemento comparado con mezclas hechas con cualquier agregado y arena natural fina. <ul style="list-style-type: none"> • El concreto a partir del material agregado reciclado tiene resistencias a la compresión de 300 a 1300 psi (2068 a 8962 kPa) menos que el concreto de referencia durante el periodo de prueba (edades mayores a 180 días). • El cambio de volumen en respuesta a los cambios de temperatura o incremento en la humedad era similar para las mezclas de concretos reciclados y para las de control. • El uso de concreto triturado como agregado no tiene un efecto significativo sobre las proporciones en las mezclas o en su trabajabilidad comparadas con las mezclas de control. • Cuando el concreto triturado se usa como agregado fino, la mezcla es menos trabajable y necesita mayor cantidad de agua y a veces mas cemento. Pero al sustituir el agregado fino del reciclado por arena natural en un 30%, la trabajabilidad del concreto resultante alcanza los niveles de una mezcla convencional. • El uso de material reciclado de concretos con baja resistencia no resulta en la reducción de la resistencia a la compresión del concreto. • El uso de reductores de agua adicionada a la mezcla

					para bajar el contenido de agua es eficiente en el incremento de resistencias de mezclas de concreto que contienen reciclado como agregado.
AGREGADOS NO CONVENCIONALES PARA CONCRETO NO ESTRUCTURAL	BOHÓRQUEZ VÁSQUEZ O. J., CALDERÓN ALGARRA C. A. NIÑO CORREDOR C.T	2007	UNIVERSIDAD DE LA SALLE - COLOMBIA	ESCOMBROS	<ul style="list-style-type: none"> • Para éste estudio, el valor del concreto realizado con escombros como agregado, es más bajo que el agregado convencional, ya que, el precio del escombros es más bajo que el agregado convencional (grava y arena). • Por seguridad, éste estudio recomienda utilizarlo como concreto no estructural, es decir, para obras tales como pavimentación de entradas a viviendas, construcción de canchas multifuncionales (polideportivos), reconstrucción de fachadas., etc. Lo anterior no impide que no se pueda utilizar en obras con algún grado de requerimiento estructural. • Se deben realizar ensayos con resistencias más altas para analizar los respectivos resultados.
EFFECTO DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL HORMIGON	ZEGA, C.J y DI MAIO, A.A	2007	UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA – VENEZUELA	AGREGADO RECICLADO	<ul style="list-style-type: none"> • La presencia de mortero como parte constituyente de los agregados gruesos reciclados (AGR) tiene influencia directa en la absorción de agua, desgaste en la maquina de los ángeles y algunas propiedades granulométricas. • El empleo de los agregados gruesos saturados (naturales y reciclados) conduce a que los asentamientos determinados en los hormigones HC y HR elaborados con las diferentes muestras, resulten similares entre sí. <ul style="list-style-type: none"> • La velocidad del pulso ultrasónico y módulos de elasticidad dinámico y estático de los HR son inferiores al de los HC para cada una de las razones a/c estudiadas, observándose también una baja dispersión entre los valores determinados para cada hormigón. Las resistencias a compresión de los HR correspondientes a cada una de las razones a/c evaluadas son

					<p>semejantes a las de los HC, motivo por el cual la relación $f'c-a/c$ es prácticamente la misma.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Debe resaltarse que, en base a lo indicado en los puntos anteriores, las variaciones observadas en las propiedades de los AGR evaluadas en este estudio no se ven reflejadas en las diferentes características de los hormigones con ellos elaborados.
<p>COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO FABRICADO CON AGREGADOS RECICLADOS</p>	<p>MARTÍNEZ SOTO I.E Y MENDOZA ESCOBEDO C.J.</p>	<p>2005</p>	<p>UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO - MEXICO</p>	<p>CONCRETO RECICLADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Con un agregado reciclado con granulometría adecuada produce mezclas de buena calidad y con un comportamiento mecánico similar al de los concretos naturales. • Los concretos reciclados pueden ser utilizados como concretos clase dos, lo que lo convierte en un concreto con una cantidad de aplicaciones nada despreciables. • Lo que conlleva a pensar que el agregado reciclado tiene su mejor aplicación en consumos de cemento bajos hasta 300 kg/m³, debido a que para consumos mayores pueden resultar mezclas antieconómicas.
<p>COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE HORMIGONES RECICLADOS CON CANTO RODADO</p>	<p>ZEGA, C.J, TAUS, V.L y DI MAIO, A.A.</p>	<p>2006</p>	<p>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA - VENEZUELA</p>	<p>AGREGADO RECICLADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El agregado grueso reciclado presenta menor densidad y mayor absorción de agua y pérdida de peso por abrasión que el agregado grueso natural debido a la presencia de mortero como parte constituyente de dichos agregados. • En estado fresco, se observa una clara reducción del asentamiento a medida que se incrementa el porcentaje de agregado grueso reciclado utilizado, lo cual pone de manifiesto una notable influencia de la textura superficial de los mismos. • Los hormigones reciclados elaborados con hasta un 75% de agregados gruesos reciclados presentan un comportamiento resistente similar o superior al del HC, hecho que debe ser atribuido a una mayor adherencia entre la nueva matriz cementicias y el agregado reciclado, a pesar de poseer este último una

					<p>calidad inferior respecto al agregado natural. Sin embargo, debe considerarse que en los HR se produce una disminución del módulo de elasticidad estático, la cual es más importante cuando se incrementa el porcentaje de agregado reciclado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Considerando los resultados indicados anteriormente, puede inferirse que hormigones de razones agua/cemento iguales o menores a 0.50 y elaborados con agregados gruesos reciclados de similares características a los utilizados en este estudio en porcentajes menores al 50%, presentarían un adecuado comportamiento resistente y durable. Por lo tanto, su empleo en la industria de la construcción constituye una alternativa ventajosa tanto desde el punto de vista económico como ecológico.
<p>PROPUESTA DE ECUACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO PREPARADO CON MATERIAL RECICLADO</p>	<p>SERRANO G. M.F, TORRADO L.M, PORRAS N. P ARTÍCULO PRESENTADO EN EL II SIMPOSIO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE RESIDUOS.</p>	<p>2009</p>	<p>BARRANQUILLA - COLOMBIA</p>	<p>CONCRETO RECICLADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los escombros que se aprovecharon cumplen las características mecánicas para ser utilizados como agregados en mezclas. La preparación de las muestras testigo de concreto se ejecutará en cuanto se terminen los ensayos químicos de estos agregados. • Existe una matriz experimental desarrollada para realizar mezclas de concreto a ser ensayadas y con la mezcla que arroje el mejor comportamiento se prepararán adoquines. Esta es una alternativa de aprovechamiento de escombros, que mitiga factores ambientales externos de alteración al paisaje.

<p>LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO ADITIVO EN EL DISEÑO DE CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA</p>	<p>AUPEC. AGENCIA UNIVERSITARIA DE PERIODISMO CIENTÍFICO.</p>	<p>2008</p>	<p>UNIVERSIDAD DEL VALLE - COLOMBIA</p>	<p>CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Luego de varias pruebas y de cambios, se obtuvo, en el laboratorio, una muestra del nuevo cemento compuesto, con una mejora del 20 por ciento de la resistencia a la compresión, en comparación con el Pórtland tradicional. • Pero, además de mejorar la compresión, el nuevo compuesto cementante obtenido mostró una mejor durabilidad y un excelente desempeño en ambientes marinos. • El cemento con la adición, es menos permeable a los iones cloruros que son los que facilitan la corrosión del acero, que recubierto de concreto, funciona como la columna vertebral de las construcciones.
<p>CONCRETO PREPARADO CON RESIDUOS INDUSTRIALES</p>	<p>REVISTA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA. N°. 11. ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE FACULTADES DE INGENIERÍA ACOFI.</p>	<p>2011</p>	<p>COLOMBIA</p>	<p>RESIDUOS INDUSTRIALES (escombros y limalla)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La caracterización mecánica de los escombros de demolición de concreto y la limalla muestran que estos agregados no convencionales pueden ser utilizados para preparación de mezclas de concreto. • Se destaca que los escombros derivados del concreto presentan gravedades específicas similares a las gravedades específicas de los agregados naturales, mientras que la limalla presenta valores mayores. • Los resultados preliminares de este estudio permiten concluir que la adición de limalla y escombros permite un aumento de la resistencia del concreto y un aprovechamiento de dos residuos sólidos provenientes de actividades industriales. • La determinación del E_c experimental en los especímenes que fueron preparados con escombros y limalla arrojó errores frente a los valores estimados con el código colombiano de construcciones sismo resistentes NSR-2010. Sin embargo, es recomendable replicar el estudio incrementando el número de muestras mejorando las técnicas seguidas en el laboratorio para aumentar la confiabilidad en la técnica utilizada.

				<ul style="list-style-type: none"> • Los escombros que se seleccionaron, ladrillo y residuos de demolición y la limalla son agregados no convencionales que fueron utilizados para la preparación de concreto para adoquines. Esto refuerza la posibilidad de uso de este tipo de materiales en aplicaciones constructivas. Además, la utilización de estos residuos se perfila como una alternativa ambiental y próspera de la cual se pueden beneficiar un grupo numeroso de personas que podría encargarse de la separación in situ. • Así mismo, tanto el concreto producido con escombros como el concreto producido con escombros y limalla presentan una disminución en costos del concreto en obra. Esto demostró, que el aprovechamiento de residuos sólidos inertes representa un beneficio ambiental que conlleva a ahorros para la empresa. • El uso de agregados no convencionales (residuos industriales inertes como escombros y limalla) es una práctica factible en la preparación de concretos. La propuesta es la utilización de estas mezclas en andenes y sardineles, y una vez perfeccionada la dosificación probar la mezcla a nivel estructural (cortante, esfuerzo cortante y torsión).
--	--	--	--	---

7 CONCLUSIONES

- Los concretos que emplean agregados no convencionales persiguen aumentar y/o mejorar las propiedades mecánicas. Dentro de los agregados no convencionales más utilizados en la actualidad se encuentran los polímeros, los cuales han demostrado tener comportamiento excelente ante sollicitaciones de diversos tipos así como también en diferentes usos.
- Según los estudios consultados se concluyen las propiedades mas importantes de cada uno de los agregados no convencionales investigados: las Fibras de polipropileno aumentan en un 100% la resistencia al impacto, la Viruta de acero, en proporciones del 10% en el cemento, mejoran en un 62% la resistencia a compresión, la lechuguilla mejora en un 20% la resistencia a la flexión, la Estopa de coco adicionada en un 1.5% mejora la resistencia a flexión de concreto, el Bagazo de caña mejora la resistencia a compresión de las probetas, aproximadamente en un 100%, la Escoria de fundición con una adición del 10% como porcentaje del cemento, presenta la misma resistencia de las mezclas testigo, la Escoria de fundición de cobre, mejora la trabajabilidad de las mezclas y mezclada en proporción del 50% del agregado fino aumenta la resistencia del concreto, el Concreto reciclado presenta menores asentamientos que las mezclas convencionales, los Residuos industriales, tales como limalla y escombros, permite un aumento de la resistencia del concreto y un aprovechamiento de dos residuos sólidos provenientes de actividades industriales.
- Después de ver las fortalezas en el campo de investigación de países como los Estados Unidos de América, México, Brasil frente a los que se ha trabajado a nivel nacional, hay un camino muy largo por recorrer tratando de cambiar la mentalidad tradicionalista en cuanto a materiales de construcción empleados en diferentes proyectos.

- Queda abierta la opción de profundizar al respecto de otros tipos de agregados no convencionales para seguir ampliando la posibilidad de que la comunidad educativa se vea atraída por éste tipo de temas que tocan al profesional del mañana. Se destaca que la Universidad Pontificia bolivariana seccional Bucaramanga ha profundizado con estudios el uso de agregados no convencionales, siendo el grupo de investigación en Detección de contaminantes y Remediación DECAR, uno de los que mas reconocimiento por éstos trabajos ha recibido.
- Definitivamente la elaboración de concretos con diferentes agregados no convencionales, permiten mantener un equilibrio beneficioso con el medio ambiente en el cual se desarrollan los proyectos de construcción, es por eso que a través del tiempo se hace necesario incursionar en la mentalidad y en la habitualidad en el empleo de los materiales de construcción convencionales para dar un paso que acerque aún más a los constructores frente al empleo de varias de las posibilidades mencionadas en el presente trabajo de grado.
- En Colombia actualmente se están realizando un sin número de estudios y pruebas donde se usan materiales propios de la región, lo cual trae un mayor beneficio económico/ambiental para el desarrollo de mezclas de concreto empleando agregados no convencionales. Se concluye que los múltiples estudios que se realizan acerca del tema en todos los países no han sido limitados ya que se han enfocado en ensayar y probar cualquier tipo de material que se encuentre a la mano sin discriminar su origen obteniendo resultados muy provechosos.
- De continuar con la profundización de este tema es muy seguro que en un futuro el concreto pueda reducir sus limitaciones y se convierta en un material más resistente llegando inclusive a no necesitar ningún tipo de refuerzo extra.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ASTM, Editores Klieger P. y J. F. Lamond, Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, pp. 630, 1994.
- [2] SERRANO-G. M.F, Torrado L.M. Porras N. Propuesta de ecuación para la Estimación del módulo de elasticidad del concreto preparado con Material reciclado. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Barranquilla, 24 y 25 de septiembre de 2009.
- [3] CARINO N.J., Nondestructive Testing of Concrete: History and Challenges, American Concrete Institute, ACI SP-144, Detroit, MI, 1994. pp. 623-678.
- [4] SANCHEZ DE GUZMAN D. Tecnologia del concreto y del mortero. Editorial Pontificia universidad Javeriana. Quinta edición. pp 27.
- [5] Al-Rousan T., E. Masad, E. Tutumluer y T. Pan, "Evaluation of image analysis techniques for quantifying aggregate shape characteristics, Construction and Building Materials, Volumen 21, pp. 978-990, 2007.
- [6] La Revista de la Técnica y la construcción. NOTICRETO. Edición especial de túneles. Volumen 100. Mayo/Junio 2008.pp.78-79.
- [7] La Revista de la Técnica y la construcción. NOTICRETO. Edición especial de túneles. Volumen 103. Mayo/Junio 2008.pp.38-39.
- [8] La Revista de la Técnica y la construcción. NOTICRETO. Edición especial de túneles. Volumen 88. Mayo/Junio 2008.pp.65.
- [9] Revista Ingeniería de Construcción Vol. 26 N°1, Abril de 2011 pp 81-94.
- [10] http://calima.univalle.edu.co/scf/archivo/lberometlX/articulos/comision_10/BMC_10_04.pdf
- [11]. [http://www.construdata.com/BancoMedios/Documentos%20 PDF /recycled_concrete_as_aggregate.pdf](http://www.construdata.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/recycled_concrete_as_aggregate.pdf)
- [12]. ACI STRUCTURAL JOURNAL. Volumen 103 No 2. Marzo- Abril 2006. Pp 219-225
- [13]. ACI MATERIALS JOURNAL. Volumen 99 No.5. Septiembre -Octubre 2002. Pp 425-431

- [14]. ACI CONCRETE INTERNATIONAL. Octubre 2005. Pp 64-66.
- [15]. Serrano, M.F. Elaboración de adoquines utilizando escombro como proporción del agregado grueso, Puente Revista Científica, Volumen 4, numero 1. 2010, pp. 19-26.
- [16] Mendoza, C.J., Aire C. y Dávila P. Instituto de Ingeniería-Estructuras y Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México. Enero – Junio de 2011.
- [17] Córdoba García, H.A, Gutiérrez sarmiento, J. E, Trabajo para optar el Título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingenierías y administración. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 2008.
- [18] Suarez González, O.A, Vargas Rincón, A.M. Trabajo para optar el Título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingenierías y administración. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 2008.
- [19] Juárez Alvarado, César A., Rodríguez López P., Trabajo para optar el Titulo de Doctorado en Ingeniería de Materiales, Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Autónoma de Nuevo León México.
- [20] Revista científica Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. 20: 134-150, 2006. Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto.
- [21] Osorio Saraz J.A., Varón Aristizabal, F., Herrera Mejía, J.A. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. DYNA, Vol. 74, numero 153. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. pp. 69-79.
- [22] CECCATO, D.M.; MASUERO, A.B.; MORAES, C.A.M. and VILELA, A.C.F.. Reciclaje de escoria granulada de fundición (EGF) como sustitución de parte del cemento en hormigón. Universidad do Vale do Rio dos Sinos. 2009.
- [23] CENDOYA Patricio. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción. Casilla 160-C, Correo 3. Concepción. Chile. E-mail: pcondoya@udec.cl. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 17 N° 1. 2009
- [24] BOHÓRQUEZ VÁSQUEZ Omar Javier, Calderón Algarra Camilo Andrés, Niño corredor Cristhian, Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero civil, Facultad de Ingeniería Civil. Universidad de la Salle, Bogotá D.C, 2007.

[25] ZEGA, C.J y DI MAIO, A.A. Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigon. IMME, jul. 2007, vol.45, no.2, p.1-11. ISSN 0376-723X.

[26] I.E. MARTÍNEZ-SOTO y C.J. Mendoza-Escobedo. Artículo sobre el Comportamiento Mecánico de Concreto Fabricado con Agregados Reciclados. Instituto de Ingeniería, UNAM. 2005.

[27] ZEGA, C.J, TAUS, V.L y DI MAIO, A.A. Comportamiento físico-mecánico de hormigones reciclados elaborados con canto rodado. IMME, nov. 2006, vol.44, no.3, p.17-26. ISSN 0376-723X.

[28] SERRANO G. M.F, TORRADO L.M, PORRAS N. Propuesta de ecuación para la estimación del módulo de elasticidad del concreto preparado con material reciclado. Artículo presentado en el II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Sep. 2009. Barranquilla.

[29] SERRANO G. M.F, Ferrería J.S. Aprovechamiento de los Escombros para la Producción de Concreto. Artículo presentado en el II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Sep. 2009. Barranquilla.

[30] AUPEC. Agencia universitaria de Periodismo Científico. Universidad del Valle.

[31] Revista educación en Ingeniería. N°. 11. Pp 1-11. Junio de 2011. Publicada en línea por la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería ACOFI.

[32] Ferreira Díaz, J.S. Aprovechamiento de escombros como agregados no convencionales en mezclas de concreto. Trabajo de grado para optar el Título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

[33] PARRA MAYA, K. M, Bautista Moros, M.A. Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos industriales y escombros. Trabajo de grado para optar el Título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

[34] SERRANO G. M.F, PEREZ R. D.D. Use of Recycled Materials to Build Paver Blocks for Low – Volume Roads in Developing Countries. Artículo publicado en el Journal of the Transportation Research Board, No. 2205. 2011. Volume 3 Washington D.C.