

MONOGRAFIA DE GRADO

ALVARO MANUEL RODRIGUEZ CORREA

ANDRES FELIPE HERNANDEZ CORTES

Autores

ING. MODESTO BARRIOS FONTALVO

Director



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D. C.**

2021

MONOGRAFIA DE GRADO

ALVARO MANUEL RODRIGUEZ CORREA

ANDRES FELIPE HERNANDEZ CORTES

Autores

ING. MODESTO BARRIOS FONTALVO

Director

GEOTECNIA, MATERIALES, VIAS Y TRANSPORTE

(GEOMAVIT)

Grupo de investigación

MATERIALES DE CONSTRUCCION

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS D. C.

2021

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
INTRODUCCION	8
CAPITULO 1. CONCRETO	11
1.1 Definición	11
1.2 Materiales que lo componen	11
1.2.1 Cemento	11
1.2.2 Agregados	12
1.2.3 Agua	13
1.2.4 Aditivos	13
1.3 Propiedades del concreto	14
1.3.1 Concreto fresco	14
1.3.1.1 Manejabilidad	14
1.3.1.2 Consistencia	14
1.3.1.3 Plasticidad	14
1.3.1.4 Segregación	15
1.3.1.5 Exudación	15
1.3.1.6 Temperatura	15
1.3.2 Resistencia del concreto	15
1.3.2.1 Resistencia a la compresión	16
1.3.2.2 Resistencia a la tracción	16
1.3.3 Peso unitario	17
CAPITULO 2. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	18
2.1 Definición	18
2.2 Clasificación de fibras	18
2.2.1 Según el material	18
2.2.1.1 Fibras naturales	18
2.2.1.2 Fibras artificiales	19
2.2.1.3 Fibras sintéticas	19
2.2.2 Según el tamaño	20
2.2.2.1 Macro Fibras	20

2.2.2.2 Microfibras	20
CAPITULO 3. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES	21
CAPÍTULO 4. BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO FIBRO REFUERZO DEL CONCRETO	29
4.1 Bagazo de caña de azúcar.	29
4.2 Ceniza de bagazo de caña de azúcar como adición al concreto.....	29
4.3 Concreto reforzado con bagazo de caña de azúcar.....	32
CAPITULO 5. INDICE DE FUNCIONALIDAD	39
5.1 Manejabilidad.....	39
5.2 Resistencia a los esfuerzos.....	40
5.3 Permeabilidad.....	42
5.4 Costo de producción.....	42
5.5 Peso específico.....	43
CONCLUSIONES.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Investigaciones analizadas en el capítulo 3.....	28
Tabla 2. Investigaciones analizadas en el capítulo 4.....	38
Tabla 3. Promedio de asentamiento de las muestras de concreto para cada proporción.	39
Tabla 4. Resistencia a la compresión vs % fibra natural adicionada a la matriz de concreto. 40	
Tabla 5. Resistencia a la compresión vs % fibra natural adicionada a la matriz de concreto. 41	
Tabla 6. Resistencia a la compresión vs % de ceniza de fibra natural adicionada a la matriz de concreto.....	41
Tabla 7. Relación de costos entre concretos reforzados con fibras, naturales, artificiales y sintéticas.....	42
Tabla 8. Relación de costos entre concretos reforzados con fibras, naturales, artificiales y sintéticas.....	43
Tabla 9. Peso específico del concreto vs % de fibra	44

RESUMEN

El presente trabajo contiene una serie de análisis de los efectos, que genera la implementación del bagazo de caña de azúcar, en la matriz del concreto; para ello se evaluó la efectividad de los distintos tratamientos que se han realizado al bagazo de caña de azúcar antes de ser adicionado en la matriz de concreto, se analizó la influencia de las dosificaciones de bagazo de caña de azúcar utilizado como reemplazo parcial del cemento, agregado grueso y agregado fino en la matriz de concreto., en la mayoría de los estudios analizados, los investigadores obtuvieron una mayor resistencia al esfuerzo mecánico de compresión, en las muestras de concreto con menor porcentaje de adición de fibra vegetal, teniendo estas una variación de resistencia de hasta del 20 %, en comparación a la resistencia obtenida en la muestra patrón a la cual no se le realizó una adición de fibra vegetal, caso contrario ocurrió con el peso específico de las muestras analizadas, ya que este posee una tendencia de disminuir a medida que aumenta la dosificación de fibra vegetal adicionada al concreto, presentándose variaciones hasta del 60 % en las muestras con mayor dosificación de fibra vegetal, en comparación a la muestra patrón.

Además, se evaluó el costo de producción del concreto reforzado con esta fibra vegetal, tomando como base la información suministrada por las investigaciones evaluadas, se determinó que existe una necesidad de realizar estudios más detallados, en donde se analicen a fondo los costos de producción del concreto reforzado con el bagazo de caña de azúcar con respecto al costos de producción del concreto convencional sin refuerzo.

ABSTRACT

This work contains a series of analyzes of the effects generated by the implementation of sugarcane bagasse in the concrete matrix; For this, the effectiveness of the different treatments that have been carried out to the sugarcane bagasse before being added in the concrete matrix was evaluated, the influence of the dosages of sugarcane bagasse used as partial replacement of the cement was analyzed, coarse aggregate and fine aggregate in the concrete matrix., in most of the studies analyzed, the researchers obtained a greater resistance to compression mechanical stress, in the concrete samples with a lower percentage of addition of vegetable fiber, these having a variation resistance of up to 20%, compared to the resistance obtained in the standard sample to which an addition of vegetable fiber was not made, otherwise it occurred with the specific weight of the analyzed samples, since this has a tendency of decrease as the dosage of vegetable fiber added to the concrete increases, presenting variations of up to 60% in the samples with greater vegetable fiber dosage, compared to the standard sample.

In addition, the production cost of concrete reinforced with this vegetable fiber was evaluated, taking as a basis the information provided by the evaluated investigations, it was determined that there is a need to carry out more detailed studies, where the production costs of the concrete reinforced with sugarcane bagasse with respect to the production costs of conventional unreinforced concrete.

INTRODUCCION

La industria de la construcción ha venido trascendiendo a través del tiempo, por lo cual, ha mejorado y desarrollado nuevos procedimientos ingenieriles e implementado nuevos materiales de construcción en obras de ingeniería, con el fin de obtener un mejor desempeño. El concreto por sus propiedades mecánicas como lo es la resistencia a la compresión y su buen desempeño en obra, lo convierte en el material más usado en la industria de la construcción.

“La industria del cemento y el concreto son el principal encadenamiento de la actividad edificadora, y en ese sentido responden a la dinámica y volumen de construcción desarrollando 25 millones de metros cuadrados anuales con más de 8.5 millones de metros cúbicos de concreto por año” (CAMACOL, 2016).

Según lo afirma ARGOS, (2019), con el desarrollo de la industria de la construcción los países han podido mejorar aspectos importantes en el desarrollo de su economía y el bienestar de su comunidad, no obstante, con el crecimiento de la industria de la construcción también crece la influencia que tiene esta sobre el medio ambiente. La producción de cemento afecta negativamente al medio ambiente debido al daño ecológico producido por la actividad minera necesaria para producir dicho material, esto se vuelve un gran problema ya que al ser uno de los materiales más usados por el hombre, el daño que este genera cada vez es mayor, según lo indica World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), muchos países, han comenzado a reducir dicho impacto, mediante la reutilización del concreto endurecido obtenido de edificaciones demolidas, logrando así que menos desechos se destinen a los vertederos, dichos países utilizan el concreto reciclado como agregado en la matriz de concreto, gracias a esto se puede disminuir la demanda de material y por ende se dejan de explotar zonas vírgenes. Según lo plantean Akbar, et al, (2020), en su investigación, otra forma de reducir el impacto ambiental generado por los materiales utilizados en la construcción, es mediante la implementación de geo polímeros livianos, los cuales son creados a base de cenizas volantes, en esta investigación los autores utilizaron ceniza del bagazo de caña de azúcar como materia prima para la creación de geo polímeros livianos, utilizados para la creación de edificaciones ecológicas, dichos geo polímeros serán reforzado con fibras sintéticas de polipropileno.

Según lo afirmado por Asociación de Cultivadores de Caña (ASOCAÑA, 2017) actualmente, hay diferentes materiales que después de que cumplen su vida útil, estos generan desperdicios sin uso alguno, logrando así un efecto negativo al medio ambiente. Entre estos materiales se puede encontrar el bagazo de caña de azúcar. En la actualidad se estima que se produce una cantidad de 1.267 millones de toneladas de caña de azúcar al año, en todo el mundo. En Colombia se estima que anualmente se producen 21 millones de toneladas de caña de azúcar. De las cuales 40 % queda como residuo agroindustrial, lo que dejaría con un valor de producción de 12 millones de toneladas de bagazo de caña de azúcar anualmente.

En el país estos residuos agroindustriales suelen quemarse con el fin de producir energía, pero en otros casos no se consigue beneficio alguno con la quema, al contrario, lo que se logra es la contaminación en el aire, a las zonas verdes y poblaciones cercanas que se encuentran alrededor. Teniendo en cuenta la alta producción en el país de bagazo de caña de azúcar y la poca utilidad que este tiene una vez se genera, además del considerable volumen de concreto que se genera anualmente en Colombia, se pretende usar este desecho agroindustrial como agregado en el concreto, con el fin de darle un nuevo uso, para ello es necesario conocer su comportamiento al incorporarlo en la matriz del concreto.

Debido a la problemática ambiental generada por los desechos agroindustriales, como lo es el bagazo de caña de azúcar, en el mundo se han venido realizando investigaciones en las cuales se busca la forma de aprovechar dicho desecho, entre estas investigaciones se encuentra la realizada por Bhargavi & Anand, (2016), en esta los autores utilizan las cenizas de bagazo de caña como reemplazo parcial del cemento portland en la matriz de concreto, con el fin de conocer como este material afectara o mejorara las propiedades mecánicas del concreto, los autores realizan una serie de ensayos en los cuales elaboran probetas de hormigón con dosificaciones de ceniza del 0 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 %, a dichas probetas se le realizaran ensayos a la compresión a los 7, 28, 90, y 180 días. Teniendo en cuenta que en las construcciones de edificaciones en concreto, este trabaja en conjunto con el acero, se torna necesario conocer, la incidencia que tiene en acero la utilización de fibras naturales en la matriz de concreto, debido a esto han surgido investigaciones como la realizada por Núñez Jaquez et al, (2012), en la cual los autores miden la tasa de corrosión en el acero al entrar en contacto con el concreto con adición de 20 % en peso de ceniza de bagazo de caña de azúcar,

los autores realizan muestras de concreto prismáticas de 7 cm x 7 cm x 10 cm, a dichas muestras se le incrusta en el centro una varilla de acero, posteriormente las muestras son sometidas a ensayos de resistencia de polarización, esto con el fin de medir la tasa de corrosión en el acero.

En la Universidad de Cartagena, se han realizado diversas investigaciones en las cuales se ha estudiado el comportamiento que presenta un determinado tipo de fibra natural, una vez está a sido incorporada en la matriz de concreto. Entre las investigaciones más destacadas se encuentra la realizada por Salas & Barros, (2014), en la cual se implementa el mesocarpio de coco modificado químicamente como reemplazo parcial del cemento portland en la matriz del concreto, para ello se realizan varias probetas de concreto en las cuales se varían las dosificaciones de fibra a incorporar y las longitudes de estas. En esta investigación se utilizaron dosificaciones del 0.5 %, 2 % y 3.5 % de mesocarpio de coco como reemplazo parcial en peso del cemento portland en la matriz de concreto, dichas fibras fueron incorporadas en longitudes que oscilan entre los 4 cm, 6 cm, y 8 cm.

La monografía a realizar tiene como objetivo evaluar los resultados obtenidos en las diferentes investigaciones examinadas, en las cuales se ha analizado el cambio del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras naturales, en estas se presentan diferentes dosificaciones de residuos agroindustriales como lo es el bagazo de caña azúcar en la matriz de concreto, para ello se tendrán en cuenta aspectos como el proceso de preparación utilizado en la fibra natural, el costo de producción del concreto con adiciones de fibra, la necesidad de implementar algún tipo de aditivo, etc. Cabe resaltar que todos estos estudios están directamente relacionados a la línea de investigación de Materiales, que hace parte del grupo de investigación Geotecnia, Materiales, Vías y Transporte (GEOMAVIT), ya que se busca conocer la viabilidad del uso de fibras naturales en obras de construcción.

CAPITULO 1. CONCRETO

1.1 Definición

Según lo plantea Sánchez, (2001), el concreto es una mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland), un material de relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivos los cuales cumplen con el objetivo de modificar las propiedades físicas de este conglomerado, que al endurecer forma un todo compacto (piedra artificial), una vez transcurrido un tiempo determinado este es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. En la actualidad hay diversos tipos de concreto, según lo planteado por Gutiérrez, (2003). Entre los más utilizados podemos encontrar el concreto ciclópeo, este tipo de concreto es usado en diversos tipos de construcciones, como lo son las cimentaciones en lechos marinos, este se realiza añadiendo piedras de manera aleatoria extraídas del lugar de la construcción hasta el equivalente a una tercera parte del volumen de concreto, cuando este material es usado un sobre cimienta la proporción indicada sería una octava parte del volumen de concreto. También tenemos el concreto simple, este es el más utilizado ya que es implementado para diversas obras civiles como lo son: la construcción de autopistas, estructuras, calles, puentes, túneles, pistas de aterrizaje, sistema de riego, muelles, aceras etc. En las viviendas se suele usar para la fabricación de tabiques o bloques. Y el concreto armado, este es aquel al cual se le introduce varillas de hierro, con el fin de conseguir que ambos materiales trabajen conjuntamente para soportar cargas deseadas. suele usarse para fabricar columnas, vigas y cubiertas.

1.2 Materiales que lo componen

1.2.1 Cemento

Según lo plantea Portugal, (2007), el cemento portland es el material principal y más importante en la construcción, este material posee propiedades tanto en la adherencia como en la cohesión, esto llega a mantener la unión de pequeños trozos de minerales entre sí, estas propiedades dependen de varios factores tal como lo son composición química, el grado de hidratación, la finura de las partículas, la velocidad del fraguado, el calor de hidratación y la resistencia mecánica. En la actualidad existen diferentes clasificaciones del cemento portland hidráulico. En Colombia este material es regido por las normas del Instituto colombiano de

normas técnicas y certificación (Icontec) y la Norma Técnica Colombiana (NTC), mientras que en otros países como los Estados Unidos rige la American Society of Testing Materials (ASTM). Según lo indica Portugal, (2007), el cemento está compuesto principalmente por cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, estos al momento de interactuar en el proceso de fabricación se convierte en una serie de productos más complejos como lo son los silicatos cálcicos, aluminatos cálcicos y ferritos. Existen diferentes tipos de cemento los cuales son utilizados dependiendo necesidades que se tengan, entre los más importantes podemos encontrar, el cemento portland tipo 1 el cual es destinado a obras de hormigón de uso común ya que no se le exige propiedades especiales. Esta el cemento portland tipo 1-M, el cual es usado en obras de hormigón a las cuales no se le exigen propiedades especiales, la resistencia a los distintos esfuerzos mecánicos presente en los concretos elaborados con este tipo de material es mayor en comparación con la resistencia obtenida con los concretos elaborados con el cemento tipo 1. El cemento portland tipo 2, generalmente es usado en obras de hormigón que tienen exposición media o alta de sulfatos y en obras en las cuales se necesite usar cemento que posea un moderado calor de hidratación. El cemento portland tipo 3, el concreto elaborado con este tipo de cemento tiende a desarrollar altas resistencias iniciales, en comparación a otros concretos elaborados con los otros tipos de cementos. El cemento portland tipo 4, el concreto o mortero elaborado con este tipo de cemento tiende a desarrollar bajo calor de hidratación. Y el cemento portland tipo 5, este tipo de cemento ofrece un concreto o mortero con alta resistencia a la acción de los sulfatos.

1.2.2 Agregados

Según lo indica Portugal, (2007), los agregados son materiales de forma granular, generalmente de origen natural, que al estar unido con el cemento portland y un porcentaje agua, llegando conformar el material más usado en la industria de la construcción llamado concreto u hormigón. El concreto está constituido en su mayor parte por agregados entre un 70 % a un 80 % en volumen, dependiendo de las características y propiedades de los agregados se podrá obtener un concreto de calidad y económico. Para que algún material se pueda considerar agregado debe tener las ciertas características, entre las cuales se encuentra,

tener una resistencia propia adecuada, el material no debe generar afectaciones en las propiedades del concreto y además permita obtener una adherencia que sea lo bastante fuerte cuando la pasta este lo suficientemente dura, por lo general estos son materiales que no llegan a reaccionar químicamente con los componentes que tiene concreto.

1.2.3 Agua

Este material es muy importante en las reacciones químicas que se obtienen al adicionarlo al cemento, variando las propiedades del conglomerado desde una edad temprana en su estado más plástico, a medida que pasa el tiempo, comienza el proceso de fraguado del concreto o mortero, el cual es el proceso de endurecimiento del concreto. El agua tiene diversos usos dentro del campo de la construcción, entre los más comunes tenemos, el agua de mezclado, la cual se define como aquella cantidad de agua que permite al cemento entrar en un proceso de hidratación, debido a este proceso se puede elaborar una pasta que se encuentre lo suficientemente hidratada como para considerarla una mezcla fluida, esta pasta va a permitir una adherencia del cemento con los agregados de la mezcla, para así dar origen al concreto. También se tiene el agua de hidratación, es aquella que, al entrar en contacto con el cemento, produce en este un proceso de hidratación inicial, esta agua no se llega a evaporar ni tampoco llega a formar parte del concreto. Por ultimo tenemos el agua de curado, esta hace parte del aprovisionamiento adicional de agua para lograr hidratar el concreto con el fin de evitar las fisuras que se producen en el proceso de fraguado, la cantidad de agua de curado a utilizar dependerá de las condiciones de humedad del ambiente y la temperatura del lugar de construcción. Todo esto basado en la información suministrada por Sánchez, (2001).

1.2.4 Aditivos

Los aditivos son sustancias químicas, utilizados como componentes adicionales del concreto, estos son usados principalmente para cambiar o modificar las propiedades del concreto, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas de este o también para reducir los costos en la construcción, según lo indica Rivera, (2009), estos suelen usarse en pequeños porcentajes por debajo del 5 % de la masa del cemento, en Colombia la norma NTC 1299 designa los requisitos mínimos que deben cumplir los aditivos que van a hacer agregados en el concreto

o mortero, entre los aditivos más utilizados podemos encontrar, los aditivos reductores de agua, como su nombre lo indica son utilizados con el fin de reducir la cantidad de agua de amasado en la mezcla. Para los aditivos reductores de agua, la cantidad de agua que suele perder la mezcla con el uso de este aditivo esta entre 5 % y 15 %. Si se desea disminuir la velocidad con que se fragua el concreto entonces se pueden implementar los aditivos retardantes normalmente son utilizados en temperaturas altas cuando el concreto se encuentra en estado plástico, ya que a altas temperaturas se obtiene un aumento en la velocidad de fraguado provocando grietas en el concreto a medida que este se endurece. Caso contrario si se requiere acelerar el fraguado en el concreto, entonces se implementan los aditivos acelerantes, estos se pueden usar cuando se necesite para acelerar el programa o la ejecución de una obra. También existen los aditivos súper plastificantes, estos aditivos tienen la misma función que los aditivos plastificantes, pero a diferencia de estos es que los aditivos súper plastificantes llegan a reducir mayor cantidad de agua que los aditivos reductores convencionales.

1.3 Propiedades del concreto

1.3.1 Concreto fresco

Las propiedades del concreto endurecido depende en gran parte del concreto fresco, especialmente cuando a lo que se debe a los procesos de mezclado, transporte colocación, compactación y terminado, Sánchez, (2001).

1.3.1.1 Manejabilidad

Esta propiedad permite determinar la capacidad al concreto de ser mezclado con mayor fluidez, colocado, transportado, vaciado, consolidado apropiadamente y no obtener segregaciones durante el tiempo de fraguado, Sánchez, (2001).

1.3.1.2 Consistencia

La consistencia es aquella propiedad del concreto en edad temprana que permite saber el estado de fluidez de la mezcla en una mezcla de hormigón que está en estado plástico tiene mayor fluidez y esta disminuye a medida que esta fragua, Sánchez, (2001).

1.3.1.3 Plasticidad

La plasticidad es una propiedad que determina la facilidad con la que el concreto fresco puede ser moldeado lo cual permitiría cambiar de forma, Sánchez, (2001).

1.3.1.4 Segregación

La segregación es la propiedad del concreto que permite la división de los materiales que se componen en la mezcla de una forma distribuida y así evitar desigualdad en la distribución de los elementos, Sánchez, (2001).

1.3.1.5 Exudación

La exudación es una propiedad que consiste en la evaporación agua que se encuentra en la mezcla durante tiempo de fraguado. Se puede decir que la evaporación de agua es proporcional a la velocidad de exudación de la mezcla en edad, Sánchez, (2001).

1.3.1.6 Temperatura

La temperatura del concreto en edad temprana llega a afectar a todas las propiedades del concreto plástico, por ellos es conveniente verificar la temperatura del concreto a esta edad, a temperatura elevadas mayor cantidad de agua de mezclado requiere para mantener el asentamiento en estado óptimo. Sánchez, (2001).

1.3.2 Resistencia del concreto

Hoy en día no existe una ley general que describa el comportamiento del concreto bajo todos los estados de esfuerzo a que es sometido la estructura, según lo explica Rivera, (2009), esto se debe a que el concreto es un material heterogéneo el cual está conformado por materiales que pueden cambiar sus características, esto sumado a otros factores como la forma y las condiciones en que se mezcla la pasta de concreto, pueden generar variaciones en su resistencia, pesar de esto se sabe que en condiciones normales la resistencia del concreto tiende a aumentar con la edad. Debido a esto se recomienda realizar ensayos de resistencia a esfuerzos mecánicos a muestras de concreto endurecido. el ensayo más importante a tener en cuenta es el de resistencia a la compresión.

Relación agua-cemento

Según Portugal, (2007) la relación agua-cemento es obtenida al dividir la cantidad total de agua entre el peso total que llevara la mezcla de concreto, esta influye directamente en las propiedades del concreto, como lo es la resistencia del concreto a los diferentes esfuerzos mecánicos, la exudación, la plasticidad y la manejabilidad.

1.3.2.1 Resistencia a la compresión

Según lo indica Rivera, (2009), la resistencia a la compresión es la capacidad que posee el concreto endurecido de soportar peso por una unidad de área, la resistencia a la compresión se considera como la propiedad más importancia tiene el concreto por eso es la que más influencia tiene al evaluar una muestra de hormigón, esta propiedad del concreto se puede medir mediante ensayos de resistencia, los cuales se pueden realizar siguiendo las indicaciones suministradas por las normas NTC 550 y NTC 673.

Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión del concreto se determina ensayando vigas de sección de 500 mm de longitud por 150 mm de lado elaboradas y curadas de acuerdo con la ASTM C-192 y la ASTM C-31. Generalmente el módulo de rotura de los concreto bajo este tipo de esfuerzo es del 10 % a 20 % en comparación a la resistencia a la compresión. Determinar el módulo de rotura del concreto sometido a esfuerzos de flexión, es necesario al momento de diseñar diferentes tipos de estructuras como lo son los pavimentos de concreto, ya que las placas de pavimento rígido trabajan principalmente a flexión, según lo indica Sánchez, (2001).

1.3.2.2 Resistencia a la tracción

Partiendo de lo indicado por Rivera, (2009), el concreto posee muy baja resistencia a la tensión, por lo que esta propiedad generalmente no es tenida en cuenta, pero esta es importante en el caso de analizar el agrietamiento en el concreto debido a la contracción producida por los cambios de temperatura en el concreto. Para medir la resistencia a la tensión en el concreto se realiza el ensayo de tracción indirecta según lo indica la norma NTC

722, la resistencia a la tensión del concreto, se mide de forma indirecta ejerciendo una fuerza de compresión a lo largo de dos líneas axiales a un cilindro de concreto de 15 cm de diámetro.

1.3.3 Peso unitario

El peso unitario del concreto está definido como la cantidad de masa por unidad de volumen, la forma más usual de expresarlo es en Kg/m^3 esta propiedad dependerá de la densidad de los agregados, la cantidad de aire atrapado o aire incluido, la cantidad de agua agregada a la mezcla y cemento contenido, según lo indica Sánchez, (2001).

CAPITULO 2. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

2.1 Definición

El concreto se encuentra compuesto por un conglomerante hidráulico, los materiales más utilizados para su elaboración son el cemento portland, los agregados finos y gruesos, agua y las fibras uniformemente distribuidas y orientadas al azar, estas fibras pueden ser utilizadas en diferentes proporciones, dependiendo de la cantidad y el tipo de fibra utilizado, se podrá obtener un aumento o disminución de la resistencia a los diferentes esfuerzos mecánicos en el concreto. El concreto con adición de fibra posee varias aplicaciones Según lo planteado por Mendoza et al, (2001), uno de los usos más frecuentes que se le dan a este material, es la elaboración de pisos industriales de alto desempeño. Las fibras adicionadas al concreto pueden ser metálicas, sintéticas, de vidrio, vegetales, entre otras. La efectividad del refuerzo depende de la adherencia que posea la fibra con la matriz del concreto.

2.2 Clasificación de fibras

Según SIKA, (2014), las fibras implementadas como refuerzo en el concreto se pueden clasificar según dos grandes aspectos, el primero es el tipo de material con el cual se elaboró la fibra y el segundo es el tamaño promedio de las fibras, las cuales van a ser incorporadas a la matriz de concreto.

2.2.1 Según el material

Tal como se indica en SIKA, (2014), según el origen del material que compone la fibra, esta se puede clasificar como natural, sintética o artificial.

2.2.1.1 Fibras naturales

Son aquellos tipos de fibras que se pueden obtener directamente de la naturaleza, desde la antigüedad éstas han sido utilizadas en el campo de la construcción, como por ejemplo en la creación de ladrillos de barro reforzados con paja y morteros reforzados con crin de caballo, dependiendo del tipo de material que las conforme, según lo indica Rojas, (2009), entre las principales ventajas que posee el uso de fibras naturales como refuerzo del concreto están su fácil obtención ya que estas fibras se encuentra en grandes cantidades, más que todos en países en desarrollo, además son consideradas en su mayoría como materiales renovables, las fibras naturales se pueden clasificar en fibras de origen animal, vegetal y mineral.

Partiendo de la información suministrada por Rojas, (2009), las fibras de origen animal se consideran materiales bastante fuertes contra lo que son mayoría de los ácidos orgánicos. Este tipo de fibra también es resistente a la acción de ácidos minerales como el azufre. Estas pueden ser lanas, pelos, etc. Por otro lado, las fibras de origen vegetales son aquellas que por lo general están formadas por celulosa, estas poseen características diferentes a las de las fibras de origen animal, debido a que no posee una buena resistencia a los ácidos minerales, este tipo de fibra es resistentes a los álcalis y a la mayoría de los ácidos orgánicos.

2.2.1.2 Fibras artificiales

Como lo plantea Cedeño, (2011), las fibras artificiales son aquellas obtenidas a partir de fibras naturales mediante un proceso químico en donde se logra transformar los polímeros naturales de una fibra vegetal, estos serán utilizados como materia prima para la creación de nuevas fibras, las cuales tendrán características propias a las aplicaciones para lo cual fueron diseñadas.

2.2.1.3 Fibras sintéticas

Según lo indicado por Mendoza et al, (2011), las fibras sintéticas son aquellas obtenidas al sintetizar de forma química productos derivados del petróleo, estas son utilizadas en la elaboración de concreto debido a diferentes factores, como lo son su resistencia al medio alcalino presente en el concreto, este tipo de fibra se suelen implementar en el inicio de la elaboración del concreto, el uso de este tipo de fibra dependerá del tipo de procedimiento en la elaboración de concreto que se esté implementando. Las ventajas que se obtienen al usar fibras sintéticas en el concreto en estado plástico, se prolongan hasta el concreto en edad tardía. Las características del concreto a edad tardía con las fibras sintéticas permiten disminuir lo que es la permeabilidad, aumentan la resistencia a la fractura adicional y aumentan la resistencia la abrasión del concreto, este tipo de fibra posee la facultad de poder resistir las cargas que causan pequeñas divisiones en el concreto. Las fibras sintéticas ayudan a reducir la fisuración plástica del concreto. Esto mejora su resistencia al impacto. El módulo de elasticidad es relativamente bajo en las fibras sintéticas lo cual aporta a la capacidad de absorción de choques o impactos del concreto.

2.2.2 Según el tamaño

Tal como lo indica SIKA, (2014), según las características físicas, como el diámetro y la longitud de la fibra a utilizar, esta se puede clasificar en macro fibras y micro fibras.

2.2.2.1 Macro Fibras

Como lo indica SIKA, (2014), el uso de las macro fibras en el concreto ayuda a mejorar la resistencia tanto a la flexión como a la compresión de este, en el caso de las macro fibras metálicas, éstas se pueden adicionar a la matriz de concreto en porcentajes que van desde 0.2 % al 0.8 % del volumen total de este, las dosificaciones de fibra metálica utilizadas en el concreto no reemplazan a las varillas de acero estructural utilizadas para reforzar al concreto.

2.2.2.2 Microfibras

Según SIKA, (2014) las microfibras son aquellas que poseen un diámetro que varía entre los 0.023 mm y los 0.050 mm, estas ayudan a absorber los esfuerzos internos que se producen el concreto en estado plástico, lo cual disminuye la presencia de fisuras en este y mejora su resistencia al esfuerzo de tracción. Este tipo de fibra no impide la aparición de fisuras en el concreto luego de haber transcurrido 24 horas de su elaboración. Las microfibras también aportan algo negativo al concreto ya que, al utilizarlas en la matriz de concreto, se disminuye la manejabilidad y el asentamiento de este.

CAPITULO 3. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES

Con la evolución de la construcción a lo largo del tiempo, ha surgido la necesidad de buscar nuevas formas de mejorar las características del concreto, razón por la cual se han utilizado materiales no convencionales, como lo son las fibras vegetales en su elaboración, debido a esto han surgido una serie de investigaciones que buscan determinar el efecto que tendrá utilizar una determinada fibra natural sobre las características físicas y químicas de un concreto o mortero, entre las investigaciones más completas se encuentra la planteada por Juárez et al, (2004), en la cual se busca implementar un material renovable como lo es la lechuguilla como fibro-refuerzo en el concreto, para ello los autores realizan un análisis completo de las características físicas de la fibra, cómo lo es la densidad absoluta, el diámetro de la fibra, % absorción y la porosidad. Como medida de adecuación de la fibra los autores realizaron un proceso de lavado y secado de estas, con el fin de prevenir la aparición de hongos que deterioren la integridad de la fibra. En esta investigación los autores realizaron un análisis de la fibra cortada en diferentes longitudes, con el fin de poder determinar cuál presentaba el mejor comportamiento una vez esta era incorporada en la matriz de concreto. Para reducir las afectaciones en la integridad física de la fibra lechuguilla luego de ser adicionada al concreto los autores proceden a realizar una serie de ensayos en los cuales se implementaron seis sustancias diferentes como lo son , el aceite de linaza, aceite de linaza + resina natural , parafina, parafina + resina natural , sellador de madera y creosota , las cuales cumplen con la función de evitar el deterioro de la fibra producido por el medio alcalino presente en la matriz de concreto. Luego de someter la fibra impregnada a un medio alcalino durante doce meses los autores procedieron a determinar cuál tratamiento presento el mejor desempeño, teniendo como resultado que el tratamiento protector con parafina le permite a la fibra reducir su capacidad de absorción de agua y le brinda una adecuada protección al medio alcalino presente en la matriz de concreto. Una vez la fibra es acondicionada los autores proceden a realizar cilindros de concreto diseñados con una dosificación de fibra del 1 % con respecto al volumen de la mezcla de concreto, las longitudes de fibras utilizadas varían entre el rango de los 10 mm a los 30 mm. Los autores utilizaron dos relaciones agua cemento para la elaboración de los cilindros, la primera fue 0.65 con la cual se elaboró un concreto permeable y la segunda con una relación de 0.35 con la cual se elaboró un concreto más denso, debido a la poca manejabilidad que presentaba esta mezcla fue necesario utilizar

un aditivo súper plastificante. En esta investigación los autores no realizaron un análisis detallado del costo de fabricación de un concreto reforzado con una fibra natural como lo es la lechuguilla con respecto a un concreto normal sin refuerzo o a un concreto reforzado con fibras ya sean sintéticas o artificiales.

Entre las diversas investigaciones, en las cuales se utilizan fibras naturales como refuerzo en el concreto, se encuentran algunas que buscan aprovechar los desechos agroindustriales en su totalidad, entre estas tenemos la realizada por Sekar & Kandasamy, (2018), en esta investigación los autores buscan evaluar el comportamiento del concreto elaborado con cascara de coco con un tamaño máximo nominal del 12.5 mm, como reemplazo parcial del agregado grueso en una proporción del 0 %, 16.67 %, 33.33 %, 50 %, 66.67 %, 83.33 % y 100 %. A dicho concreto se le realiza una adición del 0 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 % y 5 % de fibra de coco, como reemplazo parcial del volumen de concreto, para ello los autores realizan ensayos de resistencia a compresión, tracción indirecta, flexión y al impacto, de cubos de concreto de 100 mm x 100 mm x 100 mm y viguetas de 100 mm x 100 mm x 500 mm para los ensayos de resistencia a la flexión según lo indica la ASTM C78-84, en el caso de la resistencia al impacto se elaboraron muestras de 152.4 mm de diámetro y 63.5 mm de espesor, en la realización de este ensayo los autores siguieron las indicaciones suministradas por el comité 544.1R-82 de la ACI. Luego de realizar los diferentes ensayos los autores concluyeron que la utilización de fibra de coco en el concreto mejora la resistencia a la flexión y tracción indirecta, en comparación a las muestras sin adición de fibra, presentándose la relación óptima en la muestra con un 66.7 % de cascara de coco y 3 % de fibra de coco.

Si bien existen estudios donde se analiza a fondo el material vegetal de refuerzo a utilizar, hay otros en los cuales no se toman todas las medidas necesarias, que garanticen que este no va a presentar problemas una vez sea incorporado a la matriz de concreto, entre dichas investigaciones se encuentra la planteada por Torne & Gómez, (2015), en la cual se tiene cuesco de la palma africana como material de refuerzo, los autores determinaron las propiedades físicas del cuesco, como lo es su peso específico, % de absorción y peso unitario. Además, los autores realizaron un lavado con detergente a la fibra como tratamiento de adecuación, lo cual se puede considerar como un error ya que no determinaron si el tipo de detergente utilizado ocasiono un deterioro considerable en las características físicas del

cuesco, que a su vez se podría traducir en un mayor deterioro del material una vez este se encuentre incorporado en la matriz de concreto. Luego de secar el material, los autores proceden a elaborar cilindros de concreto en los cuales se utilizó el cuesco de palma africana como reemplazo parcial del agregado grueso en la matriz de concreto, manejando dosificaciones del 0 %, 20 %, 60 % y 100 %. Por último, los autores procedieron a realizar los distintos ensayos de resistencia a los esfuerzos de compresión, flexión y tracción indirecta. Los autores determinaron que a medida que aumentaba la dosificación de cuesco la mezcla reducía su manejabilidad y por ende se hace necesario la utilización de aditivos plastificantes para así evitar aumentar la relación agua cemento a utilizar, con la implementación de dichos aditivos logran aumentar la manejabilidad del concreto, sin reducir su resistencia a los esfuerzos mecánicos.

Algunos de los aspectos más importantes a tener en cuenta al momento de elaborar mezclas de concreto o de mortero con adición de fibra vegetal, son las dimensiones de dicha fibra y su dosificación, es decir la cantidad de fibra a utilizar en la preparación de una determinada cantidad de mezcla de concreto o de mortero y la relación que tendrá esta entre su largo y su diámetro, estos aspectos se deben tener en cuenta ya que utilizar demasiada fibra podría generar afectaciones en el concreto, un ejemplo de esto se muestra en la investigación realizada por Gómez, (2017), en dicha investigación se analizó el comportamiento o la variación de la conductividad térmica que posee un mortero al cual se le adiciona fibra de coco, para ello el autor implementó fibras de coco con una longitud promedio de 6 cm, en dosificaciones del 0 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 % del peso de cemento. Al momento de realizar las mezclas de morteros con las respectivas dosificaciones, el autor tuvo que descartar la mezcla con la adición de fibra de coco del 20 % esto debido a que había demasiada fibra lo cual hacía imposible preparar dicha muestra, el autor describió que existía más fibra que cemento y arena en la mezcla. En el caso de la mezcla con dosificación del 15 % de fibra de coco el autor obtuvo un mortero con una menor resistencia a la compresión en comparación con el mortero con dosificación del 0 %, adicionalmente el autor tuvo que variar la relación agua-cemento inicialmente planteada, pasando de tener una relación agua-cemento de 0.5 a una de 0.9, esto debido a la capacidad de absorción que posee la fibra, la cual retenía en su interior el agua de mezclado.

Otra investigación en la cual se utilizaron fibras naturales como refuerzo al concreto es la presentada por Chacko et al, (2016), en esta se realizaron estudios experimentales con fibra de coco y fibra de plátano, con el evaluar la resistencia y los posibles usos de esta en el concreto. Como primer paso, se realizó el lavado de ambas fibras, en este estudio no se utilizó ningún agente químico, con el cual se pueda afectar el comportamiento físico-mecánico del hormigón, una vez la fibra se encontraban limpias, se procede a modificar su forma, para ellos las fibras de coco y banano son cortadas a 40 mm de longitud, según el estándar indio 10262: 2009 se utilizaron probetas cúbicas (150 X 150 X 150 mm). Para encontrar las propiedades físico-mecánicas se sometieron a ensayos de resistencia a la compresión a los 7 días y 28 días. Para cada combinación, se probaron dos muestras. Utilizando porcentajes 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % y 30 %. En esta investigación se utilizó cemento Portland ordinario de grado 43, para la elaboración de las muestras de concreto. Luego de realizar los ensayos de resistencia, los investigadores encontraron el mejor comportamiento en el hormigón con dosificación del 10 % tanto para la fibra de coco como para la fibra de banano, ya que se obtuvieron mayor rendimiento tanto para la resistencia a la compresión como a la resistencia a la flexión al ser comparados con los resultados obtenidos en la muestra patrón, se observó un comportamiento similar en las muestras con una dosificación del 5 % de fibras naturales con respecto a la muestra patrón, la cual tenía un 0 % en dosificación de fibra natural. En las muestras con una dosificación mayor del 10 % se observó que la resistencia a la compresión y flexión, disminuían a medida que se aumentaba la dosificación de fibra. La fibra que obtuvo mayor desempeño entre ambas fue la fibra de coco tanto para la resistencia a la compresión tanto para resistencia a la flexión.

Una de las razones por las cuales se implementan las fibras vegetales en la matriz de concreto es la de poder disminuir la densidad de este, sin disminuir su resistencia a la compresión, razón por la cual han surgido numerosas investigaciones que tienen en cuenta este aspecto a la hora de determinar la viabilidad de una determinada fibra vegetal como refuerzo del concreto, entre estas investigaciones se encuentra la planteada por Herrera, (2016). En este proyecto el autor busca determinar la variación en el peso del concreto con adición de fibra vegetal, en comparación con el concreto sin adición, para ello utilizó el cuesco de palma africana como reemplazo del agregado grueso en la matriz de concreto, siguiendo las dosificaciones

del 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % del volumen del agregado grueso. El autor también busca establecer una relación entre la variación de la resistencia a los esfuerzos mecánicos y peso del concreto con adición de cuscú de palma africana. Para ello el autor realiza un total de 75 probetas cilíndricas de concreto con una resistencia esperada mayor o igual a 3000 psi. Luego de realizar los análisis de humedad, densidad, % de absorción y granulometría de los agregados y de la fibra vegetal, el autor realizó los respectivos ensayos de resistencia a los distintos esfuerzos mecánicos y pesaje de las muestras cilíndricas obteniendo el menor peso y menor resistencia a la compresión en la muestra con el 100 % de dosificación de cuscú de palma en comparación a la muestra con 0% de dosificación, el autor obtuvo el mejor comportamiento en la muestra de 25 % de adición de cuscú, ya que obtuvo una disminución del 4.5 % de la densidad del concreto y una disminución del 3.65 % de la resistencia a la compresión a los 28 días, en comparación a la muestra con la muestra patrón de 0 % de dosificación. Si bien el cuscú de palma africana implementado se obtuvo como desecho agroindustrial, falta en esta investigación realizar un análisis de costo donde se incluya el transporte de material y de adecuación de este.

Otra investigación donde se utilizan fibras naturales para mejorar las características del concreto, es la desarrollada por Asim et al, (2020), en esta los autores buscan mejorar las propiedades de aislamiento térmico del hormigón, para ello utilizan fibras de yute, coco, caña de azúcar, sisal y basalto, estas fibras son adicionadas en la matriz de concreto en proporciones del 2.5 %, 5 %, 7.5 % y 10 % de fibra como reemplazo parcial del cemento en peso. A dichas fibras se les realizó un análisis termogravimétrico (TGA), esto con el fin de conocer el grado de estabilidad térmica que poseen dichas fibras naturales. Al hormigón con adición de fibra natural se le realizaron pruebas de conductividad térmica, una tomografía microscópica electrónica de barrido (SEM) e imágenes microscópicas, para conocer la unión interfacial existente en las fibras al momento de interactuar con la matriz de hormigón. Los autores realizaron ensayos de compresión en las muestras de concreto estudiadas, esto con el fin de conocer la variación en la resistencia a la compresión del concreto, cuando a este se le adicionan fibras naturales, luego de realizar los respectivos análisis los autores encontraron el mejor comportamiento en las muestras con un 2,5 % de adición de fibra de coco y de yute, ya que en estas se presentó tanto una mejora en la resistencia a la compresión

como en el aislamiento termico del concreto, los autores encontraron que a medida que aumentaba la dosificacion de fibra natural disminuia la conductividad termica y a su vez la resistencia a la compresion.

Muchas investigaciones han demostrado que se pueden utilizar fibras vegetales calcinadas (cenizas), como material de refuerzo, tanto para el concreto como para el mortero, entre esas investigaciones se encuentra la planteada por Morelos, (2016), en la cual se implemento la ceniza del cuezco de palma africana como reemplazo parcial del cemento en la matriz de concreto y hormigon, manejando dosificaciones del 0 %, 5 % , 10 % de ceniza en reemplazo del peso de cemento, el autor obtuvo una disminucion del tiempo de fraguado de las muestras de concreto con una dosificacion del 10 % de ceniza y una mayor resistencia a la compresion en comparacion a las otras dos muestras, en el caso del mortero la muestra con una dosificacion del 5 % presento una mayor resistencia a la compresion en comparacion a las otras muestras, en cuanto a la resistencia a la flexion y traccion indirecta se obtuvo la mayor resistencia tanto para el concreto como para el mortero en la muestra con 0 % de adiccion de ceniza de cuesco, teniendo en cuenta que la resistencia a la compresion es una de las características fundamentales por la cuales se utiliza el concreto en la construccion, los resultados obtenidos en la investigacion son positivos.

INVESTIGACIONES ANALIZADAS					
Autores	Año	Tipo de fibra	% de Fibra	País	Aportes a los índices de funcionalidad
Juárez, Rodríguez, Rivera & Rechy	2004	Natural (lechugilla)	Se adiciona un uno por ciento de fibra como reemplazo del peso en el concreto	México	En esta investigación los autores obtuvieron un concreto con adición de fibra, con mayor permeabilidad y menor peso específico en comparación con el concreto convencional

Torne & Gómez	2015	Natural (cuesco de palma africana)	20, 60, 100 como remplazo parcial del agregado grueso	Colombia	En esta investigación los autores logran disminuir el peso específico del concreto hasta en un 65 % en comparación con concreto sin adición de fibra
Gómez	2017	Natural (fibra de coco)	5, 10, 15 y 20 con respecto al peso del cemento	Colombia	Se presenta un ligero aumento en la resistencia a la compresión en el concreto con 15 % de adición de fibra, en comparación a las demás muestra de concreto con diferente % de adición de fibra
Herrera	2016	Natural (cuesco de palma africana)	25, 50, 75, 100 como reemplazo en volumen del agregado grueso	Ecuador	En esta investigación el autor determino un aumento en la manejabilidad y una disminución en el peso específico del concreto con adición de fibra en comparación al concreto sin adición
Morelos	2016	Natural (ceniza de cuesco de palma africana)	0, 5 y 10 como remplazo en peso del cemento	Colombia	En esta investigación determino un aumento variable en la resistencia a los distintos esfuerzos mecánicos en el concreto con adición en comparación al concreto sin adición. Además, el autor puedo determinar que para los porcentajes de cenizas utilizados en el concreto, tiende a mejorar la manejabilidad de este.
Chacko, Hema & Vadivel	2016	Natural (fibra de coco y banano)	5, 10, 15, 20, 25, 30	India	Se obtuvo un mayor resistencia a los esfuerzos mecánicos en la muestra con 10 % de adición de fibra y una disminución del peso específicos en todas las muestra con adición de fibra en comparación a la muestra patrón.
Sekar & Kandasamy	2018	Natural (fibra de	1, 2, 3, 4 y 5 con respecto	Brazil	En esta investigación se determinó que el aumento en porcentaje de fibra de coco adicionado

		coco y cascara de coco)	al volumen de concreto		es inversamente proporcional a la manejabilidad y densidad del concreto, también se presenta un aumento en la Resistencia a la compresión en la mezcla con una relación de 66.67 de cascara de coco y 3 % de adición de fibra, en comparación a los otras muestras de concreto realizadas
Asim, Uddin, Jamshaid, Raza, Hussain, Satti & Arafat	2020	Natural (yute, coco, caña de azúcar, sisal, basalto)	2,5, 5, 7,5 y 10 con respecto al peso de cemento	Pakistan	En esta investigación los autores logran aumentar el aislamiento térmico del concreto, adicionándole fibras naturales, contrario a esto los autores determinaron que a medida que aumentaba el % de adición de fibra, menor es la Resistencia a la compresión del concreto.

Tabla 1. Investigaciones analizadas en el capítulo 3.

Fuente: autores.

CAPÍTULO 4. BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO FIBRO REFUERZO DEL CONCRETO

4.1 Bagazo de caña de azúcar.

Es el residuo fibroso que aparece como consecuencia de moler la caña de azúcar, este se compone principalmente de un 45 % de sólidos insolubles, 3 % sólidos solubles y entre un 49 % y un 51 % de agua. Luego de salir de los trapiches este presenta un 4 % de sacarosa en base seca y una humedad del 50 %. Desde un punto de vista morfológico este está conformado en un 50 % de fibras, parénquima en un 30 %, 15 % vasos y epidermis 5 %, dicha información fue extraída de la investigación realizada por Almazán et al, (2016).

4.2 Ceniza de bagazo de caña de azúcar como adición al concreto.

Una vez generado el bagazo de caña de azúcar, parte de este es llevado a una planta de producción de energía termoeléctrica. El uso de los materiales renovables para producir energía eléctrica ha venido en aumento, esto debido a que en diversas investigaciones sea comprobado que, al implementar estos materiales, la cantidad de dióxido de carbono emitida por kilovatio-hora de energía producida es menor, en comparación con la cantidad de gases emitidos cuando se realiza el mismo proceso de producción de energía utilizando materiales derivados del petróleo. Como caso puntual se encuentra la investigación realizada por Carvalho et al, (2019), en la cual se mide la cantidad de dióxido de carbono emitido en el proceso de generación de energía eléctrica, por una termoeléctrica, en la cual se implementó el bagazo de caña de azúcar. dando como resultado que en la producción de un kilovatio-hora se emitían 0.227 kilogramos de dióxido de carbono, dicho resultado es considerado bajo, ya que al compararlo con los 1.06 kilogramos de dióxido de carbono emitido en la producción de un kilovatio-hora de energía eléctrica, en una termoeléctrica que funciona a base de Diésel, se puede evidenciar una gran disminución en las emisiones del gas.

Una vez calcinado el bagazo de caña de azúcar, en las calderas de incineración, en esta queda un residuo conocido como ceniza de bagazo caña de azúcar. debido a la gran producción es este residuo surge la necesidad darle un uso, por lo que se elaboran estudios como los realizados por Giraldo et al, (2012), en el cual **los** autores tienen el objetivo de determinar si

la ceniza de bagazo de caña de azúcar puede ser considerada como puzolana, la cual podría ser utilizada como remplazo parcial del cemento portland, en la matriz de mortero. Para ello los autores realizan un análisis químico a las cenizas por fluorescencia de rayos x (FRX), con el fin de determinar si los elementos que la componen son los mismos que se encuentran presente en las puzolanas. Dichas cenizas provienen de tres diferentes puntos ubicados en el valle del cauca, las muestras fueron sometidas a proceso de tamizaje y a un segundo proceso de incineración, para luego ser analizadas a los 28 días. Basándose en los resultados obtenidos, donde se encontraron grandes concentraciones de sílice y alúmina en cada una de las muestras tomadas, los autores determinaron que las cenizas de bagazo de caña de azúcar se pueden considerar como puzolanas, la muestra que presento la mayor actividad como puzolana fue la tercera con un 97% , dicho dato supera al mínimo establecido por la ASTM C 618, la cual presenta como mínimo el 76 % , los autores indicaron que la ceniza del bagazo de caña de azúcar puede ser usada para la elaboración de elementos constructivos. Dicha conclusión concuerda con la obtenida por Mansaneira et al, (2017), en la cual realizan un análisis mineralógico de dos muestras de ceniza, la primera fue la ceniza directamente obtenida de los hornos y la segunda muestra fue de la ceniza obtenida de la remolienda y calcinación de la ceniza obtenida de los hornos, luego de realizar los respectivos análisis los autores encontraron una mayor actividad puzolanica en la segunda muestra. Si bien los autores obtuvieron resultados positivos, estos al no realizar ensayos de cilindros y viguetas, a los cuales se les realizara una serie de ensayos de resistencia a los esfuerzos mecánicos, una vez el concreto se encuentra endurecido, no pueden determinar en qué tipo de construcciones se puede implementar dichas cenizas y en que dosificaciones.

Una vez se han realizados estudios en los cuales se ha analizado el comportamiento del bagazo de caña de azúcar calcinado, se deben evaluar otras investigaciones en donde se analiza el comportamiento de la ceniza de caña de azúcar al mezclarla con otros componentes, uno de estos es planteado por Martínez et al, (2007), el cual cuenta con el objetivo de establecer si la mezcla aglomerante constituida por cal-ceniza de caña de azúcar cumple con los requisitos para ser considerada, un reemplazo parcial del cemento portland utilizado en la elaboración de hormigón y mortero. Para ello los autores realizan un análisis químico por difracción de rayos x y un análisis granulométrico a la mezcla formada por 30

% de cal y 70 % de ceniza de caña de azúcar. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de las curvas granulométricas y los análisis químicos a la muestra, los autores determinaron si la mezcla puede ser considerada un aglomerante puzolánico. Por último, los autores realizaron un ensayo de resistencia mecánica a la compresión y flexión de un mortero elaborado con la mezcla de cal-ceniza como aglomerante puzolánico. Dicho mortero alcanzó un 40 % de la resistencia a la compresión, comparada con la obtenida en un mortero elaborado con cemento portland. basados en los resultados obtenidos los autores determinaron que la mezcla binaria cal-ceniza de caña puede ser utilizada como reemplazo parcial el cemento portland en la matriz de hormigón.

Luego de conocer las características como puzolana de la ceniza de bagazo de caña de azúcar es necesario corroborar en que dosificaciones se pueden utilizar dichas cenizas al momento de incorporarlas en la matriz se concretó o mortero, ya que en las investigaciones anteriores no se realizaron dichas pruebas, por ende, es necesario analizar investigaciones como la planteada por Modani & Vyawhare, (2013), en donde los autores tienen como objetivo determinar si las cenizas del bagazo de caña de azúcar funcionan como reemplazo parcial del agregado fino en la matriz de concreto. Como primera medida los autores realizan un análisis químico y granulométrico mediante un proceso de tamizado de las cenizas de caña de azúcar. una vez analizadas los autores proceden a elaborar cubos y probetas de concreto con el fin de realizar ensayos de resistencia mecánica a la compresión y flexión del concreto, para ello se implementan las dosificaciones de 0 %, 10 %, 20 %, 30 % y 40 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar, como de reemplazo parcial del volumen de arena en la matriz de concreto. Luego de realizar todos los ensayos los autores concluyeron que la dosificación al 10 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar en la matriz de concreto, presenta el mejor comportamiento o mejor dicho la mayor resistencia a la compresión, en comparación con las demás dosificaciones. Por otro lado, determinaron que entre mayor sea la dosificación de ceniza de bagazo de caña de azúcar, menor será la resistencia a la tracción de las muestras.

En la investigación realizada por Dayo et al, (2019), los autores utilizaron ceniza de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial de agregado fino en la matriz de concreto, para ello los autores utilizaron dosificaciones de 0 %, 10 %, 20 %, 30 % y 40 %, de ceniza. Con el fin de determinar la resistencia a los esfuerzos mecánicos de las diferentes muestras de

concreto, los autores elaboraron muestras cilíndricas, las cuales serán ensayadas a los 7 y 28 días de curado, en el diseño de mezcla de concreto los autores utilizaron una proporción de materiales 1:2:4 y una relación agua cemento de 0.5. Luego de realizar los ensayos de resistencia a los esfuerzos mecánicos los autores encontraron el mejor comportamiento en la muestra con 10 % de adición de ceniza, en estos ensayos de determinar un aumento del 7.9 % de la resistencia a la compresión en comparación a la muestra patrón.

A un que las cenizas de bagazo de caña azúcar presentan un buen comportamiento como reemplazo parcial ya sea del cemento o del agregado fino en la matriz de cemento, la contaminación producida por los gases que emanan de las calderas donde se incinera este material representa no solo un problema ambiental ya que emite dióxido de carbono, el cual es dañino para la capa de ozono, sino que también genera un problema para la salud de los habitantes que viven en cercanías a los lugares de calcinación. Según datos estimados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), la contaminación ambiental del aire causa la muerte prematura de 4.2 millones de personas en todo el mundo por año ya sea que estas vivan en zonas urbanas o rurales, esto se debió a la exposición que tuvieron las personas a partículas de 2.5 micrones o menos de diámetro, las cuales causan enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Por ende, surge la necesidad de realizar nuevas investigaciones sobre cómo se puede aprovechar este desecho en la industria de la construcción.

4.3 Concreto reforzado con bagazo de caña de azúcar.

Teniendo en cuenta los procedimientos de acondicionamiento de material, realizados en otros estudios donde se implementan fibras vegetales como material de refuerzo en el concreto, surgen investigaciones como la realizada por Osorio et al, (2007), en la cual los autores buscan evaluar el comportamiento que presenta la fibra de bagazo de caña de azúcar al momento de ser incorporada en la matriz de concreto y como puede ser usado en la construcción dicho material. Con el fin de preparar el bagazo de caña de azúcar los autores proceden a lavarlo, secarlo, cortarlo de forma longitudinal y por último lo sumergen en hidróxido de calcio al 5 % durante un periodo de 24 horas. Una vez el bagazo es tratado este es tamizado, luego es utilizado material retenido en el tamiz N°4 (4,76 mm) y el tamiz N°6 (3,56 mm). El material retenido en cada tamiz se incorpora a la matriz de concreto como

reemplazo parcial del agregado grueso en dosificaciones del 0 %, 0.5 %, 2.5 % y 5 %. Por último, los autores realizan cilindros y viguetas de concreto, los cuales van a ser sometidos a pruebas de resistencia a la compresión, tracción indirecta y flexión. Una vez realizados los ensayos los autores obtuvieron datos con los cuales determinaron que las muestras realizadas con las fibras obtenidas del tamiz N° 6 y que fueron adicionadas con una dosificación del 0.5 % presentan una mayor resistencia a la compresión en comparación a las otras muestras analizadas. Con base a los datos obtenidos los autores concluyeron que 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. En esta investigación los autores no implementaron otros tipos de tratamiento químico con los cuales se pueda generar una menor degradación de la fibra al entrar en contacto con la matriz de concreto. Tampoco analizaron la degradación de la fibra en un periodo de tiempo determinado, luego de estar el concreto endurecido.

Otra investigación en la cual se implementa el bagazo de caña de azúcar como fibro refuerzo en el concreto, es la realizada por Desta, (2019), en esta se realizaron estudios experimentales con fibra de bagazo de caña con el fin de poder evaluar la densidad y resistencia a la tracción del concreto con adición de fibra natural, además se realiza una correlación con la resistencia a la compresión del concreto de peso normal y liviano producido al incorporar fibra de bagazo de caña de azúcar en la matriz de concreto, los investigadores utilizaron dosificaciones del 0 %, 0.5 %, 1.0 % y 1.5 % en relación con el peso de cemento en mezcla, la fibra de bagazo de caña utilizada tuvo una longitud promedio de fibra de 25 mm. En la muestra se utilizó escoria como agregado liviano reemplazando el agregado de peso normal en un 50 % lo que logró un concreto semi-liviano. Para obtener el resultado del objetivo del estudio, se prepararon un total de 48 cubos, 48 vigas y 48 probetas cilíndricas, y los ensayos se realizaron en los días 7 y 28 de curado. Como resultado, se pudo observar que al aumentar la fibra logro disminuir el peso unitario del concreto con agregado liviano, pero no es uniforme para el concreto de peso normal. La muestra de concreto que logro un mayor desempeño, es la que contiene la adición de fibra de bagazo de caña de azúcar de un 0,5 %, esto debido que la muestra con esta adición de fibra presento una mayor resistencia a los esfuerzo de compresión, flexión y tracción indirecta. Luego de realizar este estudio los

autores concluyeron que el uso de fibra de caña de azúcar en hormigón es adecuado para adiciones que no superen el 0,5 % de la mezcla de hormigón ya que al aumentar la dosificación de la fibra disminuye su desempeño a la resistencia a la flexión y a la tracción.

Otra investigación en la cual la adición de bagazo de caña de azúcar mostro resultados positivos, es la realizada por Ribeiro et al, (2020), en esta los autores buscan reducir el calor de hidratación en el concreto y mejorar la resistencia a los esfuerzos mecánicos en este, mediante la adición de fibra de bagazo de caña de azúcar y material puzolanico (ceniza de bagazo de caña de azúcar) en la matriz de concreto. En el caso del bagazo de caña de azúcar este fue lavado y puesto a cerca al aire libre durante 14 días, posteriormente el bagazo de trituro y tamizo, se utilizó el material que paso por un tamiz de 4.76 mm el cual tenía una longitud que varía de 8 mm a 44 mm, el bagazo de caña a utilizar recibió un tratamiento químico, en el cual fue introducido en una solución alcalina $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 5 % durante 24 horas. En el caso del material puzolanico este fue pasado por un tamiz de 0.149 mm. Para la elaboración de las muestras cilíndricas de concreto a analizar los autores , utilizaron diferentes dosificaciones de material de refuerzo, primero realizaron una muestra patrón con 0 % de adición de bagazo y ceniza de caña de azúcar, con una relación agua-cemento de 0.45, luego realizaron una serie de muestras en las cuales se adiciono un 2 % de fibra de bagazo de caña de azúcar en función del volumen total de concreto y otras en las que se adiciono un 5 % de ceniza de caña de azúcar en función del volumen total de concreto, por ultimo realizaron una serie de muestras cilíndricas en las cuales se adiciono una mezcla de bagazo de caña de azúcar y ceniza de caña de azúcar al 5 %, como reemplazo parcial de volumen de arena en el concreto. Los autores encontraron en todos los casos en el que se adicional fibra de bagazo de caña de azúcar o ceniza de bagazo de caña de azúcar el calor de hidratación en el concreto se redujo, mostrando el mejor comportamiento en la muestra con 5 % de adición de fibra de bagazo de caña de azúcar, la cual redujo la temperatura en el concreto en 4,5 centígrados en comparación a la muestra patrón. En las muestras de concreto con una adición del 5 % de ceniza se presentó un aumento del de la resistencia a la compresión en comparación a la muestra patrón.

Cabe resaltar que ninguna de las investigaciones analizadas anteriormente se realizó un estudio de costos, en lo que respecta a la obtención e implementación del bagazo de caña de

azúcar o de alguna otra fibra natural, por lo cual no se puede tener una idea clara de la factibilidad que presenta la utilización de dicho material en el ámbito constructivo, desde un punto de vista económico. Caso contrario ocurre con el estudio realizado por Espinoza, (2015), el cual tiene como objetivo determinar el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de caña de azúcar, para ello el autor realiza una caracterización de la fibra en donde determina la capacidad de absorción, contenido de humedad, masa unitaria m peso específico, análisis granulométrico, etc. El autor sumergió la fibra en cal hidratada al 5% de concentración durante un periodo de 24 horas, esto con el fin de disminuir el deterioro de esta al momento de ser incorporada a la matriz de concreto, como remplazo parcial del agregado grueso, siguiendo las dosificaciones del 0 %, 1.5 %, 2.5 %, 5 % y 8 % con respecto al peso del agregado. Al igual que en los otros estudios analizados, en este el autor sigue todos los pasos necesarios para realizar los ensayos de resistencia a los diferentes esfuerzos mecánicos a la compresión, flexión y tracción indirecta, según lo indica la ASTM (C 39, C 78 y C 496). Una vez realizados los diferentes ensayos el autor pudo determinar una relación inversamente proporcional entre la resistencia a los esfuerzos mecánicos y el porcentaje de fibra adicionado, en el caso de la resistencia a la tracción indirecta se presentó una disminución del 17 % de esta en la muerta con 1.5 % de adición de fibra con respecto a la muestra patrón en la cual la adición de fibra es del 0 % , mientras que en la resistencia a la compresión la disminución de esta fue del 15 % en la muerta con 1.5 % de adición de fibra con respecto a la muestra patrón en la cual la adición de fibra es del 0 % . En el caso de la densidad del concreto el autor determino que a mayor porcentaje de adición de fibra menor será la densidad de este, el autor determino un decrecimiento del 40 % de la densidad de la muestra con una adición del 8 % de fibra, al ser comparada con un concreto simple, el cual posee una densidad promedio del 2.300 Kg/m³.

En este estudio el autor realiza un análisis económico, en el cual se compara el costo de un metro cubico de concreto reforzado con fibra vegetal (bagazo de caña de azúcar) vs el costo por metro cubico de concreto reforzado con fibras sintéticas del tipo TUF STRAND SF y fibras de acero del tipo DRAMIX 3D, dicho estudio se realizó mediante un análisis de costo unitario, luego de realizar dicho análisis el autor determino que el costo de producción por metro cubico de un concreto reforzado con fibra vegetal es menor que el uno reforzado con

fibra sintética o de acero, ya que se presentó un ahorro del 8 % con respecto a la fibra sintética y del 17 % con respecto a la fibra de acero. Si bien el autor realiza una investigación bastante completa, en esta se debe realizar un estudio detallado de la resistencia a los esfuerzos mecánicos de los concreto reforzados tanto con fibras sintéticas como de acero, también se debe realizar un estudio permeabilidad de los concretos reforzados con los distintos de fibras, esto con el fin de realizar un cuadro comparativo en donde se analice que tan viable desde un punto de vista constructivo, es la implementación de esta fibra natural con respecto a la demás fibra, tomando como base los aspectos económicos y funcionales.

INVESTIGACIONES ANALIZADAS					
Autores	Año	Tipo de fibra	% de Fibra	Pais	Aportes a los índices de funcionalidad
Giraldo, Vidal, Martínez, Torres & González	2012	Natural (ceniza de bagazo de caña de azucar)	Se adiciona ceniza de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento	Colombia	En esta investigación los autores buscan demostrar que los elementos encontrados en las cenizas de bagazo de caña se encuentran también en las puzolanas, se realizaron pruebas de análisis químico a través de fluorescencia de rayos X, los resultados del análisis químico mostraron que tenía cantidades significativas de sílice y alúmina, lo cual indica que las cenizas poseen características puzolánicas.
Mansaneira, Barreto, Schawantes & Martins	2017	Natural (ceniza de bagazo de caña de azucar)	Se adiciona en porcentajes del 10, 20, 30 de ceniza de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento	Colombia	En esta investigación se realizaron estudios con los cuales se puede demostrar cuál de las dos muestras de cenizas analizadas, poseía mayor comportamiento puzolánico una de las muestras es obtenida por la molienda y la otra es obtenida de los horno, mostrando

					que la segunda muestra presentaba mayor actividad puzolanica
Martínez, Quintana & Martirena	2007	Natural (ceniza de bagazo de caña de azucar)	Se adiciona una mezcla de cal en 30 con ceniza de bagazo de caña de azúcar en un 70	Cuba	En esta investigación los autores determinaron que la ceniza de caña es un aglomerante puzolanico, luego de realizar la adición de fibra al mortero este resulto tener una resistencia a la compresión un 40 % mayor, respecto a la del mortero combencional.
Modani & Vyawhare	2013	Natural (bagazo de caña de azucar)	Se adiciona en 0, 10, 20, 30 y 40 ceniza de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del agregado fino	India	Esta investigación llevo aportar en el estudio de la resistencia a la compresión, utilizando ceniza de bagazo como adición del 10% lograron aumentar la resistencia a la compresión un 6.6% con respecto a la muestra patrón
Osorio, Varón & Herrera	2007	Natural (bagazo de caña de azucar)	Se adiciona en 0, 0.5, 2.5 y 5 bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del agregado grueso	Colombia	esta investigación llevo aportar en el estudio de la resistencia a la compresión, utilizando el Tamiz N°6 y una adición del 0.5 % logro aumentar la resistencia a la compresión un 7.5% con respecto a la muestra patrón
Desta	2019	Natural (bagazo de caña de azucar)	Se adiciona en 0, 0.5, 1 y 1.5 bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento	Ethiopia	Esta investigación logro disminuir el peso unitario de las muestras a medida que se incorporaba y mostro que la dosificación de 0.5% presentaba un mayor rendimiento
Espinoza	2015	Natural (bagazo de caña de azucar)	0, 1.5, 2.5, 5 y 8 Como reemplazo parcial en peso del agregado fino.	Ecuador	Esta investigación demostró que al utilizar dosis mayores a 1 % de fibra de caña disminuía la resistencia a la compresión al llegar la dosificación de un 8% la

					resistencia a la compresión se perdía un 100 %
Dayo, Kumar, Raja, Bheel & Shaikh	2019	Natural (ceniza de bagazo de caña de azucar)	0, 10, 20, 30 Y 40 como reemplazo del agregado fino	Pakistan	En esta investigación se obtiene un aumento en la resistencia a la compresión y tracción indirecta del 7.9 % y 14 %, en el concreto. En la muestra con una adición del 10 %
Ribeiro, Yamamoto & Yamashiki	2020	Natural (bagazo de caña de azúcar y ceniza de bagazo de caña de azúcar)	Un 5 de ceniza , 2 de bagazo, como reemplazo parcial del volumen de concreto y 5 en las muestras donde se utilizado tanto ceniza como bagazo , como reemplazo parcial del volumen de arena.	Japon	En esta investigación se presenta un aumento en la Resistencia a la compresión , una disminución del peso específico del concreto y una reducción en la manejabilidad en las muestras con adición de ceniza de caña de azúcar.

Tabla 2. Investigaciones analizadas en el capítulo 4.

Fuente: autores.

CAPITULO 5. INDICE DE FUNCIONALIDAD

En este proyecto se toma como índice de funcionalidad del concreto, a aquella serie de parámetros con los cuales se mide el comportamiento de este material una vez ha sido reforzado con alguna fibra vegetal. Para ello se toman en cuenta cinco parámetros fundamentales como lo son la manejabilidad, la resistencia a los esfuerzos mecánicos, permeabilidad, peso específico y el costo de producción del concreto.

5.1 Manejabilidad

Un concreto reforzado con cualquier tipo de fibra natural (como lo es el bagazo de caña de azúcar) debe ser manejable, es decir debe mantener una adecuada relación entre su plasticidad y su consistencia en estado fresco, dicha relación permitirá moldear y compactar dicho material de forma óptima, razón por la cual se evitará la aparición de problemas como la segregación. Según lo indica Sánchez, (2001), existen una variedad de métodos indirectos con los cuales se puede determinar si un concreto en estado fresco, posee una consistencia óptima, entre los métodos más usados está el de ensayo de asentamiento mediante el cono de abrams, dicho ensayo se encuentra regulado por la norma NTC 396. En varias de las investigaciones estudiadas se realizaron ensayos de asentamiento a las muestras de concreto con adición de fibra natural, a continuación, se presentará los datos obtenidos de la investigación realizada por Mangi et al, (2017), en dicha investigación se desea determinar la funcionalidad de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) como reemplazo parcial del cemento en peso, en la matriz de concreto, en esta investigación de utilizaron dos proporciones de materiales para la elaboración de concreto, en la primera proporción llamada M15 se utilizó una relación 1:2:4 en la muestra patrón y en la segunda proporción llamada M20 se utilizó una relación 1:1,5:3 para elaborar la muestra patrón.

PROPORCION	% SCBA	Promedio de SLUMP (mm)
M15	0	27,89
	5	42,5
	10	51,12
M20	0	31,94
	5	37,48
	10	44,64

Tabla 3. Promedio de asentamiento de las muestras de concreto para cada proporción.

Fuente: Mangi, Jamaluddin, Ibrahim, Abdullah, Awal, Sohu, & Ali, (2017).

Según lo indica Sánchez, (2001), una muestra se considera trabajable si su asentamiento se encuentra entre los rangos de 25 mm a 175 mm. Partiendo de esta afirmación se puede determinar que todas las muestras analizadas son trabajables, por lo tanto, no es necesario implementar aditivos plastificantes en este caso. Otro dato a tener en cuenta es que, en este caso, es que a medida que aumentaba la dosificación de ceniza de bagazo de caña de azúcar, también aumenta la manejabilidad de la mezcla de concreto.

5.2 Resistencia a los esfuerzos

Con el fin de conocer la resistencia a los distintos esfuerzos mecánicos, de una determinada muestra de concreto, los investigadores realizan una serie de ensayos, con los cuales se puede medir la resistencia a los esfuerzos de compresión, flexión y tracción indirecta, a las edades de 7 días, 14 días y 21 día, esto siguiendo las indicaciones suministradas por los distintos entes de control, como lo es la ASTM, la cual posee una serie de normas con las cuales se puede establecer los pasos a seguir para realizar dichos ensayos. A manera de ejemplo se van a comparar analizar, los resultados obtenidos en la investigación realizada por Espinoza, (2015), la investigación realizada Modani & Vyawhare, (2013) y la investigación realizada por Osorio et al, (2007).

resistencia a la compresión vs % fibra	
% de fibra natural	resistencia a la compresión (Mpa)
0.00	21.89
1.50	18.57
2.50	10.94
5.00	4.56
8.00	0.00

Tabla 4. Resistencia a la compresión vs % fibra natural adicionada a la matriz de concreto.

Fuente: Espinoza, (2015)

Al realizar la primera adición de la fibra natural, la resistencia a la compresión de esta muestra disminuye en un 15 % con respecto a la muestra patrón, a medida que se adiciona un mayor porcentaje de fibra natural a la matriz de concreto, esta va disminuyendo su resistencia a la

compresión, hasta llegar a la muestra que contiene un 8 % de fibra natural adicionada, en esta se reduce en un 100 % la resistencia a la compresión.

resistencia a la compresión vs % fibra		
% de fibra natural	resistencia a la compresión (Mpa)	
	tamiz 4	tamiz 6
0	15.7	15.7
0.5	13.43	16.88
2.5	4.92	8.6
5	1.65	2.42

Tabla 5. Resistencia a la compresión vs % fibra natural adicionada a la matriz de concreto.

Fuente: Osorio et al, (2007).

Tomando como base la resistencia a la compresión obtenida de la muestra patrón se puede realizar una comparación de los cambios de resistencia a la compresión de las muestras a medida que aumenta el porcentaje de fibra natural adicionado, las fibras que son filtradas por el tamiz N°4 , disminuyen de forma directa su resistencia a medida que aumenta la dosificación de fibra natural , en el caso de las muestras cuyas fibras pasan por el tamiz N°6, se determinó que la muestra con una adicción de fibra del 0.5 % llega a aumentar la resistencia a la compresión un 7.5 % con respecto a la muestra patrón.

resistencia a la compresión vs % de ceniza de fibra	
% de fibra natural	resistencia a la compresión (Mpa)
0.00	22.36
10	23.85
20	21.9
30	19.17
40	14.7

Tabla 6. Resistencia a la compresión vs % de ceniza de fibra natural adicionada a la matriz de concreto.

Fuente: Modani & Vyawhare, (2013).

En base a los datos obtenidos en la tabla 4. se puede observar un aumento en un 6.6 % de la resistencia a la compresión en la muestra con el 10 % de adición de ceniza en comparación con la muestra patrón con 0 % de adición.

Al comparar los resultados obtenidos en las tres investigaciones anteriormente mencionadas se puede determinar que la realizada por Osorio et al, (2007), presento el mejor comportamiento, ya que estos lograron aumentar en un 7.5 % la resistencia a la compresión del concreto con adición de fibra natural, en comparación con la muestra patrón.

5.3 Permeabilidad

Según los indica Rivera, (2009), para que un concreto se mantenga en óptimas condiciones a lo largo del tiempo se deben analizar diversos factores, uno de los factores a tener en cuenta es la facilidad con la cual el concreto se puede saturar de agua o de algún tipo de fluido que genere afectaciones en el este, dependiendo del tipo de construcción en el cual se va a implementar el concreto con adición de bagazo de caña de azúcar, se debe conocer que tan permeable es dicho material, para ello se debe tener en cuenta factores como el tamaño máximo del agregado grueso, cantidad de agregado fino y de fibra vegetal, la forma de vaciado en formaleta, la relación agua-cemento, entre otros.

5.4 Costo de producción

Al momento de realizar un concreto con fibra vegetal se debe estimar cuánto dinero se necesita para elaborar dicho material, esto con el fin de saber su viabilidad desde un punto de vista económico al ser comparado con el costo de producción de concretos sin adición de fibra vegetal. Para ellos los investigadores deben realizar estudios económicos como los planteados por Espinoza, (2015) y por Rojas, (2009).

Tipo de fibra vs costo de producción de concreto	
Fibra	costo/m ³
Natural	171.41
Sintética	186.79
Acero	205.47

Tabla 7. Relación de costos entre concretos reforzados con fibras, naturales, artificiales y sintéticas

Fuente: Espinoza, (2015)

En esta investigación se logra establecer un aumento del 8 % del costo de producción de concreto con adición de fibra sintética, en comparación al costo de producción de concreto con adición de fibra natural, lo mismo ocurre con el costo de producción del concreto con adición de fibra de acero el cual presenta un aumento del 17 %, en comparación con el costo de producción del concreto con fibra natural.

Costo por m3 de concreto vs dosificación de fibra		
dosificación de fibra (g/m3)	costo de concreto por m3	
	fibra sintética (fibermersh)	fibra natural (pluma de ave)
0	157	157
300	164	158
500	168	159
900	177	161

Tabla 8. Relación de costos entre concretos reforzados con fibras, naturales, artificiales y sintéticas

Fuente: Rojas, (2009)

En la investigación realizada por Rojas, (2009), se realiza un análisis comparativo entre los costó de producción de un concreto con adición de fibra sintética (fibermersh) y un concreto con adición de fibra natural de origen animal (pluma de ave). En dicho análisis se determinó el aumento del costo de producción de concreto con fibra sintética en comparación el costo de producción del concreto con fibra natural, en un rango que varía del 3.8 % hasta el 9.94 %.

5.5 Peso específico

Teniendo en cuenta que la densidad de las fibras vegetales, como lo es el bagazo de caña de azúcar, generalmente es menor que la densidad de los agregados gruesos, agregado finos y el cemento utilizados en la fabricación del concreto, es necesario determinar la variación del peso específico del concreto con incorporación de fibra natural con respecto al concreto tradicional al cual no se le ha incorporado ningún tipo de fibra. En la mayoría de las investigaciones analizadas se presentó una disminución del peso unitario de concreto a

medida que aumentaba la dosificación de fibra natural adicionada en la matriz de concreto, a manera de ejemplo se presentaran los datos obtenidos de la investigación realizada por Espinoza, (2015).

peso específico del concreto vs % de fibra	
% fibra natural	peso específico del concreto (kg/m ³)
0.00	2300
1.50	2139
2.50	2047
5.00	1725
8.00	1380

Tabla 9. Peso específico del concreto vs % de fibra

Fuente: Espinoza, (2015)

Basados en los datos obtenidos por los investigadores se puede determinar que existe una disminución de hasta el 60 % del peso unitario de la muestra de concreto en la cual se realizó la mayor dosificación, en comparación a la muestra patrón en la cual no se realizó la adición de ningún tipo de fibra.

CONCLUSIONES

A partir de los diferentes estudios que se han realizado al concreto con incorporación de bagazo de caña se pudo determinar la funcionalidad de este material desde el punto de vista constructivo. También se pudo observar una variedad de aspectos que aportarían un mayor conocimiento del bagazo de caña como material de refuerzo en el concreto implementado en la elaboración de diferentes tipos de construcciones. A continuación, se realizarán una serie de conclusiones basadas en los datos suministrados por las investigaciones estudiadas.

1. A medida que se presenta un aumento de la adición del bagazo de caña de azúcar en la matriz de concreto, ocurre una disminución de la resistencia a los esfuerzos mecánicos y en la densidad de este, tal como se muestra en la investigación realizada por Osorio et al, (2007), luego de realizar los ensayos de compresión, tracción indirecta y flexión, los investigadores obtuvieron una mayor resistencia a la compresión en la muestra cuya fibra paso por el tamiz N°6 y tenía un porcentaje fibra vegetal del 0.5 % , esta muestra aumento su resistencia promedio en un 7.5 % en comparación a la muestra patrón, debido a esto los investigadores concluyeron que el porcentaje de fibra vegetal adicionado es inversamente proporcional a la resistencia a los esfuerzos mecánicos del concreto. En la investigación realizada por Desta, (2019), el autor determino que la dosificación optima de bagazo de caña de azúcar es del 0.5 % de adición de fibra, dicha dosificación también fue implementada por Osorio et al, (2007), cabe resaltar que en ambas investigaciones los autores determinaron que, con dosificaciones mayores de fibra de bagazo de caña de azúcar, la resistencia a los esfuerzos mecánicos en el concreto tiende a disminuir. Razón por la cual se recomienda utilizar este tipo de material en construcciones elementos que estén sometidos a bajos esfuerzos mecánicos. Cabe resaltar que en las investigaciones estudiadas no se implementaron sustancias diferentes al hidróxido de calcio, al momento de realizar el tratamiento químico en el bagazo de caña de azúcar, caso contrario ocurre en la investigación realizada por Juárez Alvarado et al, (2004) en la cual este fue uno de los aspectos a tener en cuenta, ya que implementaron diferentes sustancias como material base, para realizar el tratamiento químico de su fibra

vegetal. Se recomienda realizar un análisis de la fibra, luego de que está a sufrido un determinado tratamiento químico, tal como lo realizan Salas & Barros, (2014) en su investigación en donde realizaron una caracterización del mesocarpio de coco por Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) Espectroscopia Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR), debido a dichos análisis los autores pudieron determinar los cambios fisicoquímicos de la fibra una vez ha sido tratada. El objetivo de buscar nuevas sustancias con las cuales acondicionar la fibra de bagazo de caña de azúcar es el de encontrar el tratamiento con el cual la fibra presente mejor comportamiento y este mas protegida al momento de ser incorporada a la matriz de concreto.

2. La implementación de aditivos plastificantes o súper plastificantes se torna necesario al momento de realizar concretos o morteros con adiciones de fibra vegetal, ya que dichas fibras tienden a reducir la manejabilidad de la mezcla en estado fresco, esto debido a que generalmente las fibras vegetales poseen un alto % de absorción, el cual varía dependiendo del tipo de fibra, en el caso del bagazo de caña de azúcar al ser un material bastante poroso su porcentaje de absorción tiende a ser alto, esto se puede evidenciar en la investigación realizada por Olutoge et al, (2015), en la cual se utilizó bagazo de caña de azúcar como fibro refuerzo en el concreto, en esta se utilizaron porcentajes del 0.5 %, 0.75 %, 1 % y 1.25 % de adicción de fibra natural a la matriz de concreto. Con el fin de mantener una buena plasticidad en el concreto a medida que se aumentaba el porcentaje de fibra natural adicionado, los autores implementaron un aditivo súper plastificante, con el cual buscaban mantener en un estado óptimo la manejabilidad del concreto en estado fresco, esto sin afectar su resistencia a los distintos esfuerzos mecánicos una vez este se endureciera, los autores lograron mantener constante la relación agua-cemento de 0.5, en todas las muestras realizadas. En la investigación realizada por Torne & Gómez, (2015), se utilizó cuesco de palma africana como fibro refuerzo en la matriz de concreto, luego de realizar distintos ensayos determinaron que, al aumentar la dosificación en la matriz de concreto de cuesco de palma africana, este disminuía la manejabilidad del concreto en estado plástico, lo cual genera la necesidad de implementar aditivos plastificantes

que mejoraran la manejabilidad del concreto, esto con el fin de no modificar la relación agua-cemento en la mezcla de concreto.

3. La Relación agua-cemento es fundamental para que un concreto se encuentre en excelentes condiciones tanto para edad temprana como para el concreto endurecido. En futuras investigaciones se debe analizar cómo afectara la adición de bagazo de caña de azúcar a la relación de agua cemento de la mezcla, esto debido a que las fibras naturales presentan altos niveles absorción, lo cual puede afectar la manejabilidad y la resistencia de la mezcla de concreto, es sabido que un alto contenido de agua puede generar afectaciones en el concreto, como lo es la disminución de la resistencia de este una vez se encuentra endurecido o la segregación de los agregados en el concreto cuando este se encuentra en estado plástico. En la investigación realizada por Ribeiro et al, (2020), los autores mantuvieron la relación agua- cemento en 0.45 en la elaboración de todas las muestras de concreto, estos determinaron que a medida que aumentaba la dosificación de bagazo de caña de azúcar, disminuía la manejabilidad del concreto, una de las posibles razones de que ocurriera esto es debido a la hidrofilia del bagazo de caña de azúcar, este absorbía el agua de mezclado del concreto. Razón por la cual se deben investigar diferentes tratamientos a la fibra con el cual se pueda reducir el porcentaje de absorción y a su vez se pueda proteger a esta del medio alcalino del concreto, por ende, se deben realizar investigaciones en donde se puedan implementar nuevas sustancias en el tratamiento químico del bagazo de caña de azúcar, tal como lo realizaron Juárez Alvarado et al, (2004) en su investigación.
4. Se deben realizar estudios detallados donde se analicen los costos de producción del concreto reforzado con el bagazo de caña de azúcar con respecto al costos de producción del concreto convencional sin refuerzo. En dichos estudios se debe tener en cuenta aspectos como el costo de transporte, costo de adecuación del material, costo de aditivos necesarios en la fabricación del concreto, entre otros. Un ejemplo de estos estudios se plantea en la investigación realizada por Espinoza, (2015), en la cual se realizó un análisis de costo al comparar el precio de un metro cubico de concreto reforzado de fibra vegetal con respecto al reforzado con fibras sintéticas y

de acero, en la investigación se obtuvo el costo de las fibras naturales por metro cubico se obtendría un ahorro del 8 % Frente a las fibras sintéticas y del 17 % frente a las fibras de acero.

5. Un aspecto que se mantuvo constante en todas las investigaciones, fue el hecho de que todos los concretos con adición de algún tipo de fibra vegetal disminuyeron su peso específico lo cual indica que al incorporar fibras vegetales en la matriz de concreto y de mortero estas cumplen la función de aligerante del concreto. Por tal motivo es de su importancia realizar investigaciones como la realizada por Herrera, (2016), en donde se pueda hallar una dosificación optima de bagazo de caña de azúcar con la cual se pueda disminuir la densidad del concreto o del mortero sin afectar su resistencia a los distintos esfuerzos mecánicos y la acción de agentes químicos externos del concreto.
6. En futuras investigaciones de debe realizar un análisis completo de la permeabilidad del concreto con adición de bagazo de caña de azúcar ya que este es un factor fundamental a tener en cuenta cuando se desea elaborar un determinado tipo de elemento constructivo, implementando un concreto con adición de fibra vegetal, en investigaciones como la realizada por Ribeiro et al, (2020), se logró determinar que al incorporar bagazo de caña de azúcar en la matriz de concreto el contenido de aire en este aumenta en comparación del concreto convencional si adición, lo cual cause un aumento de vacíos en el interior del concreto, haciendo que este sea más permeable, caso contrario ocurría con el concreto con adición de ceniza de bagazo el cual presentaba un menor contenido de aire en su interior en comparación al concreto convencional. En la mayoría de las investigaciones estudiadas se pudo observar que este aspecto del concreto no se tiene en cuenta o no se analiza.
7. En futuras investigaciones se debe analizar la influencia de la implementación de distintos tipos de cemento en la matriz de concreto, a la cual se le ha adicionado bagazo de caña de azúcar calcinado y sin calcinar, ya que en todas las investigaciones analizadas se implementa el cemento portland tipo 1.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Almazán, O., Olmo, D., Hernández, A., Brizuela, M. A., Ofelia, H., Cabo, C., Néstor, G., Polo, A., & Fernández Rodríguez, N. (2016). *Parte V El bagazo de la caña de azúcar. Propiedades, constitución y potencial. Patrimonio científico del nuevo ICIDCA.*
- Giraldo, C., Vidal, D., Martínez, C., Torres, J., & González, L. (2012). *Ceniza de bagazo de caña como aditivo al cemento Portland para la fabricación de elementos de construcción.* Acta Agronómica, 61(5), 77-78. <http://dx.doi.org/10.15446/acag>
- Osorio, J., Varón, F., & Herrera, J. (2007). *comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar.* Dyna, 74(153), 69-79. URI: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49615322>
- Vargas, Y. A., & Perez, L. I. (2018). *aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente.* Revista Facultad de Ciencias Básicas, 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Modani, P. O., & Vyawahare, M. R. (2013). Utilization of bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate in concrete. *Procedia Engineering*, 51, 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.007>
- Espinoza, M. J. (2015). *comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar* (Tesis de maestría, Universidad de Cuenca).
- Martinez, L., Quintana, R., & Martirena, J. (2007). *Aglomerante Puzolánico formado por cal y ceniza de paja de caña de azúcar: la influencia granulométrica de sus componentes en la actividad aglomerante.* Revista ingeniería de construcción, 22(2), 113-122. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732007000200005>
- Mansaneira, E. C., Schwantes-Cezario, N., Barreto-Sandoval, G. F., & Martins-Torales, B. (2017). *Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic material.* Dyna, 84(201), 163-171. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n201.61409>
- Morrelos, J. I. (2016). *influencia de la adición del residuo desmineralizado del corozo de la palma africana en el mortero y el hormigón* (Tesis de pregrado, Universidad de

cartagena).

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá: Bhandar editores Ltda.

Portugal Barriga, P. (2007). *Tecnología del concreto de alta resistencia*. Ciudad de Arequipa

Salas, J., & Barros, Z. (2014). *Evaluación técnica del uso de mesocarpio de coc como agregado para la formulación de concretos verdes* (Tesis de pregrado, Universidad de cartagena).

Gomez, M. (2017). *Análisis térmico del mortero adicionado con fibra de coco* (Tesis de pregrado, Universidad de cartagena).

Rivera López, G. (2009). *Tecnología del concreto y mortero*. Ciudad del Cauca, Universidad del Cauca, 235.

Desta, A. (2019). *Investigation on Production of Light Weight High Tensile Strength Concrete Using Sugarcane Bagasse Fiber*. Saudi Journal of Engineering and Technology (SJEAT). DOI: 10.21276/sjeat.2019.4.3.5

Asim, M., Uddin, G. M., Jamshaid, H., Raza, A., Hussain, U., Satti, A. N. & Arafat, S. M. (2020). Comparative experimental investigation of natural fibers reinforced light weight concrete as thermally efficient building materials. *Journal of Building Engineering*, 31, 101411. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101411>.

Bhargavi, S. N., & Anand, Y. B. (2016). Study on concrete with sugarcane bagasse ash as a partial replacement of cement using HCL solution. *Int. J. Sci. Eng. Technol. Res.*, 5(16), 3363-3369.

Núñez-Jaquez, RE, Buelna-Rodríguez, JE, Barrios-Durstewitz, CP, Gaona-Tiburcio, C. & Almeraya-Calderón, F. (2012). Corrosion of concrete modified with sugarcane bagasse ash. *Revista internacional de corrosión*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/451864>.

Sekar, A., & Kandasamy, G. (2018). Optimization of coconut fiber in coconut shell concrete and its mechanical and bond properties. *Materials*, 11(9), 1726. <https://doi.org/10.3390/ma11091726>.

- Ribeiro, B., Yamamoto, T., & Yamashiki, Y. (2020). A Study on the Reduction in Hydration Heat and Thermal Strain of Concrete with Addition of Sugarcane Bagasse Fiber. *Materials*, 13(13), 3005. <https://doi.org/10.3390/ma13133005>
- Torne, A., & Gomez, G. (2015). *variación en las propiedades físicas y mecánicas de una matriz de concreto al incorporar cuesco de palma africana como agregado grueso* (Tesis de pregrado, Universidad de cartagena).
- Dayo, A. A., Kumar, A., Raja, A., Bheel, N., & Shaikh, Z. H. (2019). *Use of sugarcane bagasse ash as a fine aggregate in cement concrete. Engineering Science and Technology International Research Journal*, 3(3), 8-11.
- Herrera, F. (2016). *análisis comparativo del peso y resistencia del hormigón tradicional con un hormigón alivianada utilizando el cuesco de la palma africana como material alternativo del agregado grueso* (Tesis de pregrado, Universidad técnica de Ambato).
- Akbar, A., Farooq, F., Shafique, M., Aslam, F., Alyousef, R., & Alabduljabbar, H. (2020). *Sugarcane bagasse ash-based engineered geopolymer mortar incorporating propylene fibers. Journal of Building Engineering*, 33, 101492. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101492>
- Mangi, S. A., Jamaluddin, N., Ibrahim, M. W., Abdullah, A. H., Awal, A. S. M. A., Sohu, S., & Ali, N. (2017, November). *Utilization of sugarcane bagasse ash in concrete as partial replacement of cement. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 271, No. 1, pp. 1-8). IOP Publishing.*
- Chacko, R., Hema, S., & Vadivel, M. (2016). *Experimental studies on coconut fibre and banana fibre reinforced concrete. International Journal of Modern Trends in Engineering and Science*, 3(07), 208-211.
- Juárez, C., Rodríguez, P., Rivera, R., & Rechy, M. (2004). *Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. Ingenierías*, 7(22), 7-19.
- Rojas, H. (2009). *Concreto reforzado con fibra natural de origen animal (plumas de ave)*

(Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma).

- Olutoge, F. A., Ofuyatan, O. M., AraromI, R., & Opaluwa, E. (2015). *Strength Characteristics of Concrete Reinforced with Sugar Cane Bagasse Fibre. Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12(3), 68-71. URL: <http://eprints.covenantuniversity.edu.ng/id/eprint/13285>
- Carvalho, M., Da silva, V., Albuquerque, N., Gama, M., & Moreira, L. (2019). *Carbon footprint of the generation of bioelectricity from sugarcane bagasse in a sugar and ethanol industry. International Journal of Global Warming*, 17(3), 235-251.
- Mendoza, C. J., Aire, C., & Dávila, P. (2011). *Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 2(2), 35-47.
- Gutierrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construccion. Departamento de Ingeniería Civil*. URL: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>
- Cedeño, G. (2011). *estudio comparativo del comportamiento estructural de paredes de mampostería con bloques de concreto, reforzadas con fibras artificiales y su durabilidad* (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil).
- ASOCAÑA. (Junio 2017). *Aspectos generales del sector agroindustrial de la caña*. obtenido del sitio web. https://www.asocana.org/documentos/862018-E148DE8100FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D,A3C4B5.pdf?fclid=IwAR3ea4KYmM31ZzZnj-G1iLUcQqKjk-2EvnyWRr0d__cp99QRKS020oBQCNk.
- DANE. (2019). *estadísticas de concreto premezclado. Obtenido del sitio web del Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido del sitio web. [.https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/estadisticas-de-concreto-premezclado](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/estadisticas-de-concreto-premezclado).
- CAMACOL. (16 de abril de 2016). *Construcción de vivienda lidera la demanda de concreto en el país*. Obtenido del sitio web. <https://camacol.co/comunicados/construccion/C3%B3n-de-vivienda-lidera-la->

demanda-de-concreto-en-el-pa%C3%ADs.

SIKA. (2014). *Concreto reforzado con fibras*. Obtenido del sitio web.
https://www.academia.edu/31604755/Concreto_reforzado_con_fibras.

OMS. (2 de mayo de 2018). *calidad del aire y salud*. Obtenido del sitio web.
[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

ARGOS. (2019). *Caracterización de los impactos ambientales en la industria de la construcción*. Obtenido del sitio web.
<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/impactos-ambientales-en-la-industria-de-la-construccion?cv=1>.