



Evaluación de las condiciones del concreto a compresión cuando es modificado con fibras naturales de cáñamo

Juan Pablo Zuluaga Posada

Santiago Gómez Grajales

Rubiel Alonso Valencia Tobón

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesor(a)

Angélica Escobar Pérez

Corporación Universitaria Minuto de Dios
Rectoría Antioquia y Chocó
Sede Aburra Sur (Antioquia)
Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Abril de 2023

Dedicatoria

Se dedica este trabajo de investigación principalmente a familiares y amigos cercanos, por siempre creer en el equipo de trabajo, en sus capacidades y por ser pacientes por el sacrificio del tiempo que se tuvo que dedicar para la realización de este proyecto, tiempo el cual se dejó de disfrutar con cada uno de ellos, dedicarle este trabajo de investigación al profesor Yony Andrés Benítez Restrepo el cual siempre estuvo dispuesto a darnos una visión más allá y siempre enfocando el equipo en la finalidad a la cual se quería llegar con la investigación. Agradecer a la profesora Angélica por los aportes realizados al desarrollo de este trabajo desde su experiencia y conocimiento, los cuales fueron indispensables para la culminación de este proceso tan satisfactorio para los integrantes que conformaron el equipo de trabajo. Agradecer también a la universidad UNIMINUTO ya que es gracias a esta que se está buscando optar por el título como especialistas en Gerencia de Proyectos.

Agradecimientos

En este pequeño fragmento de esta investigación, se desea dar agradecimientos en primer lugar a Dios, la oportunidad de estudiar y la realización de este trabajo ha sido un privilegio y una bendición. Seguido, agradecer al tutor de la materia *metodología de la investigación* Yony Andrés Benítez Restrepo, y a la asesora de la materia *Trabajo de Grado* Angélica Escobar Pérez, quienes con su paciencia y dedicación ayudaron al perfilamiento y construcción de esta investigación. Por último y no menos importante, agradecer a nuestras familias, por su apoyo, disposición y compañía constante desde el inicio de este posgrado.

Contenido

Lista de tablas	6
Lista de figuras	7
Lista de Graficas	8
Lista de anexos	9
Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
CAPÍTULO I	13
1 Planteamiento del problema	13
1.1 <i>Pregunta de investigación</i>	14
1.2 <i>Justificación</i>	14
1.3 <i>Objetivos</i>	15
1.3.1 Objetivo general	15
1.3.2 Objetivos específicos	15
CAPITULO II	16
2 Marco teórico	16
2.1 <i>Marco conceptual</i>	16
2.1.1 Concreto	16
2.1.2 Cábamo	17
2.2 Marco contextual	17
2.3 Marco referencial	18
2.3.1 Análisis del concreto adicionado con cabello humano	18
2.3.2 La fibra de caña de azúcar como adición al concreto	19
2.3.3 El uso de fibras en el concreto	21
2.3.4 Uso de fibras de cáñamo, kenaf y bamboo en el concreto	22
2.4 Marco legal	22
CAPITULO III	26
3 Metodología de investigación	26
3.1 Enfoque:	26
3.2 Alcance:	26
3.3 Diseño metodológico	26
3.3.1 Población y muestra	26

3.3.2	Recolección de la información.....	27
3.3.3	Instrumentos	28
3.3.4	Procedimiento:.....	30
3.4	Consideraciones éticas	32
3.4.1	Honestidad	32
3.4.2	Integridad	32
3.4.3	Buena fe.....	33
3.4.4	Lealtad	33
3.4.5	Respeto.....	33
3.4.6	Imparcialidad	33
3.4.7	Equidad.....	33
3.4.8	Confidencialidad	33
CAPITULO IV.....		35
4	Resultados.....	35
4.1	Selección de resistencia patrón y adición de cáñamo	35
4.2	Análisis de resultados	35
4.2.1	Resultados a los 7 días.....	35
4.2.2	Resultados a los 28 días.....	37
4.2.3	Resultados a los 7 días y 28 días.....	39
4.3	Comparativo de resultados.	40
4.4	Comportamiento del concreto al añadirle fibra de cáñamo	41
CAPITULO V.....		42
5	Discusión	42
CAPITULO VI.....		44
6	Conclusiones	44
CAPITULO VII.....		45
7	Referencias	45

Lista de tablas

Tabla 1. Resultado del ensayo a compresión de los especímenes del hormigón.....	18
Tabla 2. Datos de resistencias patrones para hormigones con distinta capacidad de resistencia a compresión.....	18
Tabla 3. Datos de resistencias patrones para hormigones con distinta capacidad de resistencia a compresión.....	18
Tabla 4. Descripción de normas aplicadas a las muestras de concreto.....	22
Tabla 5. Numero de muestras por porcentaje de fibra de cáñamo.....	30
Tabla 6. Análisis de resultados obtenidos con pruebas a los 7 días.....	34
Tabla 7. Análisis de resultados obtenidos con pruebas a los 28 días.....	36
Tabla 8. Resultados obtenidos con pruebas a los 7 y 28 días.....	38
Tabla 9. Comparativo de resultados obtenidos con respecto a investigaciones similares.....	39

Lista de figuras

Figura 1. Resultado del ensayo a compresión de los especímenes del hormigón.....	27
Figura 2. Varilla compactadora.....	27
Figura 3. Martillo de caucho.....	28
Figura 4. Cono de abrahams.....	28
Figura 5. Paso a paso de pruebas a muestras de concreto con adición de fibras de cáñamo.....	29

Lista de Graficas

Grafica 1. Análisis de resultados obtenidos con pruebas a los 7 días.....	35
Grafica 2. Análisis de resultados obtenidos con pruebas a los 28 días.....	36
Grafica 3. Análisis de resultados obtenidos con pruebas a los 7 días y 28 días.....	38

Lista de anexos

Anexo 1. Resultados enviados por laboratorio, pruebas a los 7 días.....	34
Anexo 2. Resultados enviados por laboratorio, pruebas a los 28 días.....	36

Resumen

El presente trabajo de anteproyecto de investigación se presenta como requisito para optar por el título de Especialista en Gerencia de Proyectos y busca principalmente a través de medios experimentales, identificar la incidencia que puede tener la adición de fibras naturales al concreto, como por ejemplo la fibra natural de cáñamo.

Por medio de la utilización de diversos porcentajes de esta fibra, se pretende someter a ensayos de laboratorio cada uno de estos, con el fin de que, una vez se obtengan los resultados entregados por el laboratorio, realizar la construcción de gráficas tipo diagrama de barras y gráficos de dispersión, y con estas entender cuál sería el comportamiento de la resistencia a la compresión de las muestras de concreto tanto para la muestra patrón, como para cada una de las muestras adicionadas con los diferentes porcentajes de fibra de cáñamo la cual se estima en porcentaje con relación al peso del cemento.

Como muestra patrón se tomará una mezcla de concreto elaborada con cemento Portland de uso general, la cual corresponderá a una resistencia a la compresión de $F'c$ 21 Mpa y a partir de esta muestra patrón será adicionada la fibra de cáñamo en 0.5%, 1%, 1.5%, 2% y 3% tanto para las probetas de cilindros de dimensiones de \emptyset 0.15m x h: 0.30 m, como para las probetas de \emptyset 0.10m x h: 0.20 m.

Luego de realizar los ensayos a compresión de las muestras anteriormente descritas se obtienen resultados interesantes para el desarrollo de líneas de profundización, obteniendo como dato principal, el porcentaje óptimo de los utilizados en la presente investigación es el 0,5% de fibra de cáñamo con respecto al peso del cemento utilizado, generando un incremento en la resistencia del elemento del 16% a los 28 días de fundido el mismo.

Así mismo, el porcentaje menos adecuado para su utilización es 1,5% dado que, de acuerdo con los resultados obtenidos, genera una disminución del 10% en la resistencia a la compresión del elemento en concreto.

Palabras clave: Concreto, Resistencia, Muestra Patrón, Fibra, Cáñamo

Abstract

This preliminary research project is presented as a requirement to opt for the title of Specialist in Project Management it seeks mainly through experimental means to identify the impact that the addition of natural fibers to concrete can have, such as the natural hemp fiber.

Through the use of various percentages of this fiber, it is intended to submit each of these to laboratory tests, so that, through the results delivered by the laboratory, determine through graphs such as bar charts and scatter graphs, understand what would be the behavior of the compressive strength of the concrete samples both for the base or standard sample, and for each of the samples added with the different percentages of hemp fiber which is estimated in percentage relative to the weight of the cement.

As a standard sample, a concrete mixture made with Portland cement for general use will be taken, which will correspond to a compressive strength of $F'c$ 210 Mpa and from this standard sample it will be added in 0.5%, 1%, 1.5%, 2% and 3% both for the cylinder specimens with dimensions of \varnothing 0.15m x h: 0.30 m, and for the specimens of \varnothing 0.10m x h: 0.20 m.

After carrying out the compression tests of the samples described above, interesting results were obtained for the development of deepening lines, obtaining as main data, the optimal percentage of those used in the present investigation is 0.5% hemp fiber with Regarding the weight of the cement used, there will be an increase in the resistance of the element of 16% after 28 days of casting.

Likewise, the least suitable percentage for its use is 1.5% since, according to the results obtained, it generates a 10% decrease in the resistance to compression of the specific element.

Keywords: Concrete, Strength, Sample Pattern, Fiber, Hemp

Introducción

En las últimas décadas, la construcción sostenible se ha convertido en un tema cada vez más relevante debido a su impacto en el medio ambiente y en la salud humana. En este contexto, el uso de materiales renovables y eco-amigables ha cobrado gran importancia, y uno de ellos es la fibra de cáñamo.

El concreto adicionado con fibra de cáñamo es una alternativa que combina la resistencia y durabilidad del concreto convencional con las propiedades mecánicas y térmicas de la fibra de cáñamo. Este material presenta una serie de ventajas como la reducción del peso, mejoras en la resistencia, la disminución de la contracción por secado y la mejora de la eficiencia energética.

El concreto, materia prima base para la construcción de edificios, carreteras entre otros, posee propiedades físicas que dan cuenta del tipo y características de una obra terminada, la resistencia a la compresión es una de ellas. Esta propiedad hace referencia a la capacidad máxima de resistencia de una carga que tiene un bloque con determinadas dimensiones y proporciones de mezcla. Esta investigación busca estudiar cómo dicha propiedad física es afectada con la adición de fibra de cáñamo en distintos porcentajes partiendo de una muestra patrón con una resistencia inicial identificada bajo el análisis de un laboratorio. Actualmente, el concreto es un material que puede ser reforzado con hierros y algunas técnicas de construcción, añadiendo que se están adelantando investigaciones de adición de fibras y/o material sintético y natural como el cáñamo.

El objetivo de este trabajo es evaluar la resistencia a la compresión del concreto adicionado con fibra de cáñamo. Para ello, se llevará a cabo un estudio experimental en el que se realizará un comparativo de las resistencias obtenidas entre las mezclas de concreto adicionadas con diferentes porcentajes de fibra de cáñamo y la muestra patrón. Los resultados obtenidos permitirán determinar la incidencia que tiene la fibra de cáñamo adicionada al concreto en diferentes porcentajes establecidos previamente.

CAPÍTULO I

1 Planteamiento del problema

Los proyectos de construcción, dentro de una población que, según los datos de proyecciones del DANE (DANE, 2018) dan cuenta del constante crecimiento poblacional, pueden impactar su economía, el bienestar y estatus de sus moradores. Este crecimiento en la población demanda que día a día se tengan que llevar a cabo obras de infraestructura para satisfacer las necesidades de esta. El factor común al momento de llevar a cabo una obra civil es el uso del concreto; dichas obras se ven obligadas a perdurar en el tiempo, ofrecer seguridad y soportar condiciones ambientales adversas cada vez más fuertes e impredecibles, de allí la importancia de la búsqueda del mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto, para el caso de estudio, la resistencia a la compresión.

La resistencia del concreto se refiere a la capacidad para soportar cargas. Esta capacidad depende de la composición del concreto y de la edad y la misma tiene como unidad de medida psi (libras por pulgada cuadrada) o Megapascuales (Mpa) (Castillo Torres, 2018)

Mediante ensayos de compresión, es como se puede determinar la resistencia máxima del concreto a este esfuerzo, lo cual consiste en el sometimiento de una muestra de este material ante una carga creciente de compresión hasta que el elemento se fracture. (Sanchez de Guzman, 2001)

En la actualidad se vive una crisis con la logística de transporte de carga, lo que restringe la posibilidad de acceder a la consecución de materiales cuando estos provienen de sitios diferentes de donde se realizará la utilización de los mismos, por lo que día a día se debe buscar la manera de lograr los resultados esperados, con técnicas operacionales que optimicen el uso de estos recursos y no verse abocados a suspensiones en los proyectos por falta de materiales en las obras de construcción.

Por lo anteriormente expuesto, surge la necesidad de buscar procesos alternativos de construcción, que permitan a través del uso de materiales, conservar las propiedades físicas y mecánicas de los elementos, reducir el uso de materias primas principales que demandan grandes cantidades para su fabricación y que requieren procesos logísticos de transporte robustos.

A lo largo del tiempo, en el campo de la ingeniería civil se han venido estudiando nuevas formas de mejorar

las propiedades mecánicas en el concreto; es allí donde surge la idea de utilizar elementos naturales que en su uso final serían desechados y por lo tanto se busca la forma de darle un nuevo uso utilizándolos como elementos adicionados al concreto. Esto ha permitido identificar grandes desarrollos en la mejora del comportamiento mecánico de este y a su vez una gran contribución con el medio ambiente.

1.1 Pregunta de investigación

¿Cuál es el impacto en la resistencia a la compresión cuando se le adicionan fibras de cáñamo al concreto?

1.2 Justificación

Según datos de las proyecciones del crecimiento poblacional del DANE (DANE, 2018), para el año 2070 se estima una población en Colombia de 63'023.334 habitantes, lo que comparado con la estimación al finalizar el año 2022 de 51'609.474 habitantes, representará un incremento del 22,12% en la población colombiana. Este crecimiento genera en consecuencia, la necesidad de incrementar la infraestructura de las ciudades, lo que a su vez se traduce en un constante uso de materiales para la construcción de dichas estructuras y es allí donde cobra relevancia el uso del cemento, materia prima principal para la fabricación del concreto y que dada su densidad y cantidades necesarias para la producción del concreto, se está en búsqueda de materias primas alternativas que sean más livianas, naturales y que se les pueda dar un segundo uso; la fibra de cáñamo es uno de esos materiales alternativos que debido a su bajo peso y propiedades mecánicas favorables podrían llegar a aportar en el aumento de la resistencia a la compresión del concreto. (Sanchez & Weikert, 2020)

La presente investigación se realiza con el fin de poder identificar si el uso de fibras naturales en el concreto, para este caso la fibra de cáñamo puede generar algún tipo de incidencia en el mismo, con respecto a la resistencia a la compresión.

Dicha investigación busca, a través de ensayos experimentales, evaluar la resistencia a la compresión de una muestra patrón (sin fibra), la cual desde su diseño se fabricará con una resistencia de 21 Mpa y también hacer la evaluación de una muestra adicionada con diferentes porcentajes de fibra de cáñamo, buscando así, poder identificar la dosificación de fibra que genere la mayor incidencia o variación en la resistencia del concreto, tomando como referencia para adicionar la fibra un porcentaje con respecto al peso del cemento utilizado para la fabricación de las muestras. Las pruebas de resistencia tanto a la muestra patrón, como a las muestras adicionadas con diversos porcentajes de fibra se realizarán en laboratorios de materiales certificados y autorizados para la realización de esta

actividad y serán estos quienes entregarán los resultados correspondientes de los cuales derivará el informe que de soporte al objetivo de la investigación.

Si bien al concreto de acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) establece una serie de ensayos mínimos necesarios para realizar a las muestras de concreto, en la presente investigación se evaluará únicamente el comportamiento de este a compresión, cuando es adicionado con fibras de cáñamo debido a la importancia y relevancia que tiene esta propiedad en las obras de infraestructura.

Adicional a lo anteriormente mencionado, dentro del desarrollo de la investigación y como conclusiones finales se pretende realizar el comparativo con otras investigaciones con objetivos similares, para analizar el comportamiento del concreto adicionado con fibras, y de esta manera identificar el comportamiento del concreto adicionado tanto con fibras de cáñamo, como con otras fibras.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el impacto de la adición de fibras de cáñamo en la resistencia a la compresión del concreto, mediante ensayos de laboratorio, con el fin de determinar la influencia de las fibras de cáñamo en comparación con una muestra patrón.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar la resistencia adoptada para la muestra patrón y los porcentajes a adicionar de fibra de cáñamo.

Analizar la información obtenida luego de los ensayos de laboratorio a través de tablas y gráficas en las cuales se pueda observar el comportamiento de la muestra patrón y de las muestras adicionadas con diferentes porcentajes de fibra.

Comparar los resultados obtenidos, tabulados y graficados con los resultados propuestos en las diferentes bibliografías consultadas para evaluar la incidencia que tienen sobre el concreto, los diferentes porcentajes de fibra de cáñamo adicionados a la muestra patrón.

CAPITULO II

2 Marco teórico

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Concreto

El concreto es un material compuesto por cemento, agua y agregados (como arena, grava y piedra triturada) que se mezclan para formar una masa moldeable que se endurece con el tiempo. El cemento es el material que une los agregados y el agua es el elemento que permite que se dé la reacción química necesaria para lograr el endurecimiento de la mezcla y que esta pueda llegar a la resistencia necesaria para soportar cargas. (Castillo Torres, 2018)

La composición exacta del concreto varía dependiendo del uso y las condiciones a las que estará expuesto. Por ejemplo, el concreto utilizado en la construcción de puentes y edificios de gran altura puede tener una composición diferente al utilizado en carreteras o pavimentos. (Jaimes Estupiñan et al., 2020)

Cuando se habla del concreto, el cual de acuerdo con el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR 10 (2010), establece una resistencia a la compresión mínima de 21 Mpa (Megapascales), al mismo tiempo se representa unas propiedades mecánicas, las cuales se refieren a las características físicas que determinan su resistencia y capacidad para soportar cargas y deformaciones. Estas propiedades incluyen la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción, la elasticidad, la fluidez, la permeabilidad y la durabilidad. (Bentz et al., 2017) (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

Cuando se realiza el diseño de las estructuras de concreto, se pretende buscar la resistencia necesaria que garantice la capacidad de soportar las cargas aplicadas una vez se lleve a cabo la construcción de la edificación. La resistencia requerida depende de la carga que se espera que soporte la estructura y de las condiciones ambientales a las que estará expuesta. Es importante tener en cuenta que la resistencia del concreto aumenta con el tiempo. El concreto recién colocado es más débil que el concreto curado.

Tal como describe Medina (2014):

El curado del concreto es el procedimiento que se realiza después de ser elaborado este, el cual es necesario para obtener un concreto con las especificaciones de resistencia esperadas inicialmente. En este proceso se busca que las condiciones de humedad y temperatura adecuadas se mantengan en el tiempo, hasta que

se desarrolle la resistencia deseada inicialmente. Actualmente a nivel nacional se han aceptado distintos métodos para este curado como lo son el curado por inmersión, curado por vapor, curado con productos químicos, curado con membranas, entre otros, los cuales se incluyen en el título C del Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes ó NSR10. (P1y2.)

Para la presente investigación se utilizará el método de curado por inmersión.

2.1.2 Cáñamo

Para el proyecto se plantea adicionar fibras naturales al concreto, la propuesta se da con la planta de cáñamo; Cannabis sativa, de la cual se obtienen las fibras de cáñamo. Estas fibras son largas, resistentes y flexibles, lo que las hace ideales para una amplia variedad de usos industriales, como la fabricación de papel, textil, cuerda y materiales de construcción.

El cáñamo es una planta muy versátil que ha sido utilizada durante miles de años por diversas culturas en todo el mundo. Aunque el uso del cáñamo se ha visto limitado en algunas regiones debido a su asociación con la marihuana, una variedad de la planta que contiene altos niveles de THC (Tetrahidrocannabinol), la fibra de cáñamo se considera legal y segura para su uso en una amplia variedad de productos. (Shahzad, 2011)

2.2 Marco contextual

Durante las últimas décadas el uso de fibras naturales en morteros y concretos ha ido ganando mayor relevancia; teniendo en cuenta las múltiples aplicaciones que se tienen al momento de definir el tipo de estructura a construir.

Aunque parezca que el adicionar fibras naturales al concreto es un proceso constructivo innovador, esta práctica se remonta a la antigüedad, donde los primeros constructores en su esfuerzo por obtener concreto de mayor resistencia y durabilidad iniciaron con la incorporación de estos elementos, observando mejoras en la capacidad de carga que soportaban dichas estructuras. (Vidaud et al., 2015)

También se han podido encontrar evidencias arqueológicas en las cuales se pudo establecer que en Babilonia y Egipto se combinaban fibras vegetales con mezclas de arcilla para la construcción de estructuras.

Una de las primeras experiencias con respecto a los estudios técnicos sobre la adición de fibras al concreto se traslada hacia el año 1847, donde se investigó el uso de fibras de hierro, Yute y algunas otras fibras al concreto, pero fue solo hasta el año 1960 que se incluyeron en las fibras a estudiar las metálicas y la de fibra de vidrio.

En California, en el año 1874, fue presentada la primera patente para concretos reforzados con fibras metálicas y fue presentada por A. Berard. (López, 2015)

En los inicios de 1900 por ejemplo se utilizaban fibras de asbesto para adicionar al concreto como refuerzo.

La fabricación de concreto adicionado con fibras, es un campo emergente en la industria de la construcción y se está investigando y desarrollando activamente en todo el mundo. Aunque la producción de concreto adicionado con fibra no es nueva, tal como se mencionaba anteriormente, ha habido un renovado interés en este material debido a su capacidad para reducir la huella de carbono de la construcción y mejorar la sostenibilidad.

En la parte norte del continente americano, se están llevando a cabo investigaciones para mejorar el rendimiento y las propiedades del material. En Canadá, se ha producido concreto adicionado con cáñamo para proyectos de construcción residencial y comercial. En otras partes del mundo, como Asia y América Latina, la producción de concreto adicionado con cáñamo está en una etapa de desarrollo temprano y se están llevando a cabo investigaciones para evaluar la viabilidad y el potencial del material. En general, la producción de concreto adicionado con fibras es una tendencia emergente en la industria de la construcción a nivel mundial, y se espera que su uso aumente a medida que se desarrollen nuevas tecnologías y se establezcan normas y regulaciones para su producción y uso. (López, 2015)

2.3 Marco referencial

La información que se presenta a continuación se trae como elemento de consulta relevante para el proceso de investigación, más no se sacan conclusiones de la misma; los resultados propuestos en los siguientes artículos serán interpretados e incluidos en los resultados de la fase experimental de la presente investigación.

2.3.1 Análisis del concreto adicionado con cabello humano

En el proyecto de investigación presentado por los estudiantes Bertha Lilia Onofre López y Brian Hugo Vera Espinoza se plantea la posibilidad de usar fibras de cabello humano como adiciones al concreto, en la búsqueda de aumentar su resistencia a flexión y compresión. En esta investigación se tomó como resistencia de referencia, una muestra con $F'c$ de 21 Mpa, y se realizaron ensayos a flexión a través de vigas y a compresión en muestras cilíndricas circulares, adicionando diversos porcentajes de fibra de cabello humano, lo cual arrojó resultados significativos para las dosificaciones adicionadas con 1% y 1.5%.

Se indica en dicha investigación la facilidad de acceso a esta fibra ya que por tratarse de un desperdicio que

a diario se genera en centros de estética y barberías, permite que no se generen sobrecostos significativos en la producción del concreto adicionado con esta fibra.

Luego de realizar los diversos procedimientos experimentales, los resultados respaldan la hipótesis general propuesta en la investigación, la cual buscaba demostrar que dicha fibra generaría aumento en la resistencia de una muestra patrón tanto a compresión como a flexión siendo la mezcla adicionada con el 1% de fibra de cabello humano, con respecto al peso del cemento, la dosificación que mayor resistencia obtuvo de los porcentajes de dosificación utilizados.

Un aspecto importante para destacar de esta investigación es la incidencia en la trabajabilidad de la mezcla de concreto una vez es adicionada con la fibra de cabello humano, ya que como lo demuestran los resultados obtenidos, a medida que se aumenta la proporción de fibra, se pierde trabajabilidad de la mezcla, lo que se da ya que se le agrega un elemento sólido a la misma conservando la misma cantidad de agua. (Onofre López & Vera Espinoza, 2014)

2.3.2 La fibra de caña de azúcar como adición al concreto

En el presente artículo se propone como alternativa para la fabricación de concretos, el uso de fibras de caña de azúcar como adición al concreto buscando la incidencia que tienen estas en la resistencia, trabajabilidad y consistencia del concreto.

Los autores plantean un método de consecución de las fibras, en el cual se obtienen las mismas de manera directa de la caña, se cortan, se lavan y secan de manera natural por un periodo de tiempo de 7 días de manera que se pueda garantizar que una vez estas estén secas ya se encuentren libres de azúcares e impurezas propias de la caña.

Luego de realizar la fase experimental, donde se realizaron ensayos a compresión en probetas cilíndricas, preparadas con una mezcla de concreto de 210 kg/cm^2 , la cual se determinó como la muestra patrón y se compararon con los resultados obtenidos luego de fallar las probetas fabricadas con una mezcla de concreto de 210 kg/cm^2 adicionada con 2.37 kg/m^3 con respecto al peso del cemento y se obtuvieron resultados favorables con respecto a la resistencia a la compresión de las muestras, ya que en estos se evidenció un aumento notable de la misma con respecto a la muestra patrón.

Los resultados obtenidos con las muestras de concreto adicionado con fibras de caña de azúcar se presentan

en la tabla 1:

Tiempo de Fraguado (días)	Fuerza última (kN)	Esfuerzo a compresión (Mpa)
7	159	20.24
14	205.4	26.16
28	232.7	29.62

Tabla 1. Resultados del ensayo a compresión de los especímenes de hormigón

En la tabla 1 se entrega la información técnica que proporciona la empresa Holcim S.A. con sede en Machala, donde se observan las resistencias dadas en kN (Kilo Newton) y que servirán para comparar con los resultados obtenidos con las muestras adicionadas con fibra de cáñamo.

F'c (kg/cm ²)	Fuerza última (kN) 7 días	Fuerza última (kN) 28 días
210	132	166
240	152	190
250	158	198
280	176	222
300	190	237

Tabla 2. Datos de resistencia patrones para hormigones con distintas capacidades de resistencia a compresión

En la tabla 3 se presenta el comparativo de los resultados obtenidos entre las muestras de concreto adicionadas con fibra de caña de azúcar y la información técnica de la muestra patrón suministrado por la empresa Holcim S.A.

Tiempo de Fraguado (días)	Hormigón patrón 210 kg/cm	Hormigón reforzado con fibra natural	Mejora (kN)	Mejora porcentual (%)
7	132	159	27	20.45
28	166	232.7	66.7	40.18

Tabla 3. Datos de resistencia patrones para hormigones con distintas capacidades de resistencia a compresión.

Con relación a la maleabilidad y la consistencia se obtuvieron resultados muy similares a los arrojados por la muestra patrón, lo que se toma como un resultado positivo teniendo en cuenta que no se ven afectadas las características normales de diseño de la muestra patrón en cuanto a estos componentes y por ende no se requeriría de productos aditivos para mejorar muchos aspectos en caso de que si se hubiesen visto afectados los mismos.

Esto último resulta interesante teniendo en cuenta la tesis anteriormente planteada donde como resultado de la investigación se indica que con la fibra de cabello humano si se tienen resultados representativos con respecto a la afectación en la trabajabilidad (maleabilidad) de la mezcla adicionada con fibra, con respecto a la muestra patrón mientras que con la fibra de la caña de azúcar este efecto no se presenta de manera relevante. (Carrión et al., 2019)

2.3.3 El uso de fibras en el concreto

Los autores en el artículo anteriormente descrito analizan el comportamiento del concreto reforzado con la adición de fibras naturales, en donde dicha investigación arrojó resultados que variaban dependiendo del aspecto de las fibras y el porcentaje añadido.

En el artículo se afirma que:

Estudios previos sobre concreto reforzado con fibra de basalto mostraron que agregar una mayor cantidad de fibra evitó fallas catastróficas del concreto hasta cierto punto. Los estudios mostraron un aumento en la resistencia a la compresión del hormigón cuando se añadía 0,5 % de fibras al hormigón en proporción al peso del cemento y la resistencia se reducía a medida que el contenido de fibras aumentaba al 1 % y al 1,5 %. (P49)

Se han desarrollado diversos estudios que analizan la influencia de las propiedades mecánicas del concreto, generando resultados aplicables en el ámbito de la construcción, que de cierta forma contribuyen a la sostenibilidad del medio ambiente conservando las resistencias del concreto e incluso en algunos casos aumentando considerablemente.

Tiene influencia directa sobre las propiedades mecánicas del concreto la selección del aspecto de las fibras, no solo en cuanto a la longitud que debe tener cada una de ellas sino también del peso de la cantidad de cemento utilizado, es decir, la cantidad de fibras añadidas al concreto dependerá del peso del cemento utilizado para la preparación de la mezcla, por lo tanto, se entiende que hay muchas combinaciones de aspecto de fibra con porcentajes, que pueden arrojar resultados muy variables y quedando la incertidumbre sobre cuál es la combinación más óptima que genere una mayor resistencia de las propiedades mecánicas.

Estas investigaciones contribuyen al desarrollo de nuevos materiales a utilizar en las construcciones, en donde nos pueden llevar a la posible sustitución de materiales convencionales, por fibras naturales, garantizando

sus propiedades mecánicas y utilidad para el sector de la construcción. (Seneviratne et al., 2017)

2.3.4 Uso de fibras de cáñamo, kenaf y bamboo en el concreto.

Los autores hablan de que la fibra de cáñamo es considerada de las fibras naturales más fuertes del mundo, en donde realizaron pruebas que arrojaron resultados variables dependiendo de los porcentajes añadidos al concreto.

Dentro de su investigación exponen:

El uso de 0,5 % en volumen redujo la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y la resistencia a la tracción por división en un 19%, 31% y 1% respectivamente, y el módulo de elasticidad se redujo en un 7 %. De acuerdo con Kaplan y Bayraktar, mejor rendimiento se obtiene con una longitud de fibra de 1 cm y una proporción de fibra óptima del 2 % (Kaplan y Bayraktar, como se citó en Abdalla et al., 2022) Según Li et al, la fibra de 20 mm de longitud en un 0,36 % en peso ha mejorado la resistencia a la compresión en un 4 %, la resistencia a la tracción por flexión en un 9 %, el índice de tenacidad en un 214 % y la tenacidad a la flexión en un 144 % (Li et al, como se citó en Abdalla y et al. 2022).

Según los autores de este artículo, concluyen que “El uso de fibras de cáñamo mejora la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción por flexión y la tenacidad del hormigón con fibras de 1 cm y un porcentaje añadido respecto al cemento del 2%”.

Sin embargo, no se considera la influencia de más porcentajes de fibra añadidos al concreto, para evaluar cuales son los límites del aumento o reducción de la resistencia a la compresión y sus demás propiedades mecánicas. (Abdalla y et al. 2022)

2.4 Marco legal

El ICONTEC es un organismo nacional colombiano de normalización sin ánimo de lucro según el Decreto 2269 de 1993, cuya misión es brindar soporte y desarrollo al productos y protección al consumidor, dentro del cual se establecen todo tipo de normas que estandarizan diferentes procesos y productos del mercado colombiano.

Este organismo comprende una gran cantidad de normas que incluyen las que regulan la fabricación del concreto, así como los diferentes procesos para la toma de muestras representativas y ensayos para garantizar la calidad de este, tal como se muestra en la tabla 1, que se explica a continuación.

PROCESO	NORMATIVA ASOCIADA	OBSERVACIONES
Determinación de resistencia a la compresión seleccionada para la muestra patrón	NSR-10, Título C, Capítulo C.21.1.4.2	Establece la resistencia de mínima del concreto a compresión simple para estructuras sismo resistentes, y, por ende, la muestra patrón seleccionado.
Toma de muestras para muestra patrón y muestras adicionadas	NTC 454	Establece el procedimiento estandarizado para llevar a cabo la toma de muestras del concreto fresco en sitio, en donde se aplica tanto para la muestra patrón como las muestras adicionadas con fibra.
Ensayo de Asentamiento de la muestra patrón	NTC 396	Establece el procedimiento estandarizado para realizar el ensayo de asentamiento a la muestra patrón preparada en sitio, y poder garantizar la homogeneidad, plasticidad y cohesión de la muestra para que se continúe con la elaboración de los especímenes cilíndricos, o de lo contrario se rechace y se tenga que volver a realizar otro muestreo. Este ensayo también se le realiza a las muestras adicionadas con fibra
Elaboración, curado, protección y transporte de especímenes cilíndricos de las muestras preparadas.	NTC 550	Establece el procedimiento estandarizado para la elaboración, curado, protección y transporte de los especímenes cilíndricos de concreto desde su fabricación hasta el laboratorio para someterse al ensayo de compresión simple
Ensayo de compresión simple a especímenes cilíndricos	NTC 673	Establece los equipos y procedimiento estandarizado para realizar el ensayo y determinar la resistencia a compresión simple de los especímenes cilíndricos elaborados a partir de la muestra patrón y muestras adicionadas.

Tabla 4. Descripción de normas aplicadas a las muestras de concreto. Elaboración propia.

La norma ICONTEC NTC 454, trata del procedimiento para la toma de muestras representativas en el concreto, tal como se toma en el sitio del proyecto, es decir, como se obtienen las muestras en una aplicación rutinaria de este en sitio, para garantizar el cumplimiento de la calidad de acuerdo con las especificaciones que se

suministra el concreto.

La NTC 396 regula y orienta en el procedimiento a realizar en un ensayo de asentamiento del concreto fresco, cuyo ensayo es el inicial e indispensable para la toma de muestras del concreto establecida en la NTC 454.

La toma de muestras del concreto fresco se realiza a partir de la elaboración de cilindros de concreto, procedimiento que se cobija bajo la norma NTC 550, en donde se especifica el tipo de moldes e instrumentos a utilizar en la elaboración de los cilindros, además del curado y el transporte de estos del sitio de elaboración al laboratorio donde se les realizará el ensayo de compresión simple.

El ensayo de compresión simple es el método por el cual se constata y/u obtiene la resistencia a compresión ($F'c$), de la muestra tomada del concreto fabricado; dicho ensayo se realiza para constatar el cumplimiento de las especificaciones técnicas del concreto según la muestra patrón; este ensayo se describe y está parametrizado por la norma NTC 673.

La muestra patrón, se fabrica a partir de un diseño de mezclas que se realiza por proporciones y/o dosificaciones definidas con base a la selección específica de los agregados junto con el cemento, además de la adición de agua; los diseños de mezclas se realizan al combinar dichos materiales con dosificaciones definidas hasta obtener una resistencia óptima para la cual se plantea ($F'c$ óptimo) teniendo en cuenta parámetros físicos como la trabajabilidad y consistencia del mismo, además de la resistencia a condiciones especiales; para la investigación se elige un diseño de mezclas ya establecido en el cual se denomina muestra patrón para compararla con otras muestras fabricadas con base a las normativas anteriormente mencionadas.

La norma NTC 673 establece el procedimiento para determinar la resistencia a compresión simple de un espécimen cilíndrico de concreto, por medio de un ensayo de compresión simple, en el cual se somete los cilindros a una carga axial obteniendo un resultado de carga última por unidad de área, es decir, hasta que se dé el fallo del cilindro.

La NSR-10 es el reglamento colombiano de la construcción sísmo resistente, el cual es el encargado de reglamentar las condiciones con las cuales debe contar las construcciones para evitar y/o mitigar los daños que pueda generar un sismo.

La investigación se desarrolla bajo un marco de normativas colombianas, país origen de la investigación, sobre la cual se cuenta con un reglamento denominada la NSR-10, la cual es la normativa con la que se diseñan y

construyen las diferentes obras de infraestructura en Colombia con la finalidad de que sean resistentes ante un sismo o tengan la capacidad de mitigar los daños ante dicho evento.

Como foco de la investigación, se encuentra la normativa del ICONTEC, entidad privada sin ánimo de lucro que fomenta la gestión de la calidad en Colombia; para el caso específico de la investigación, los procedimientos estandarizados que se deben realizar para la obtención de muestras del concreto y los ensayos que se deben de realizar para evaluar la resistencia a la compresión simple del mismo.

CAPITULO III

3 Metodología de investigación

3.1 Enfoque:

El enfoque de este proyecto de investigación es cuantitativo, ya que el foco de la investigación se centra en la obtención de datos numéricos, donde se busca identificar si con el uso de la fibra de cáñamo como adición al concreto, esta puede tener una incidencia en la resistencia a la compresión de una mezcla de concreto determinada (muestra patrón) obteniendo así un valor numérico que puede ser mayor, menor o igual al de la resistencia obtenida en la muestra patrón. A partir de estos resultados poder determinar, de acuerdo a los porcentajes propuestos para la investigación, cuál de estos es el que genera mayor incidencia ya sea positiva, negativa o si por el contrario no genera ninguna incidencia.

3.2 Alcance:

El alcance del proyecto de investigación es experimental, puesto que como se menciona en el enfoque, la investigación se orienta principalmente en probar si una mezcla de concreto de una resistencia definida, al ser adicionada con fibras de cáñamo, estas pueden modificar las condiciones de la muestra patrón de resistencia a la compresión, lo que lleva la investigación a tener una incertidumbre planteada y que precisamente es a la que se le debe dar solución.

Para el desarrollo de la investigación se tendrá información de fuentes primarias, teniendo en cuenta la fase experimental que se desarrollará en laboratorio con las pruebas a realizar a las muestras y también fuentes secundarias, las cuales obedecen a la literatura consultada como referencia y bases de consulta para el desarrollo de esta para obtener información acerca de los resultados de otras investigaciones y realizar comparativos.

3.3 Diseño metodológico

3.3.1 Población y muestra

La población para la que está dirigido el proyecto de investigación, principalmente es al gremio de la construcción, teniendo en cuenta que de encontrarse en los resultados obtenidos información que indique el aumento de la resistencia del concreto cuando es sometido a fuerzas de compresión, esto podría generar

un aporte importante al campo de la ingeniería, optando por el uso de materiales alternativos en el aumento de la resistencia de los concretos.

La investigación por estar orientada a la búsqueda de datos numéricos o cuantitativos. De acuerdo con el libro Metodología de la investigación Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, se puede clasificar como exploratoria y explicativa teniendo en cuenta los criterios que allí se exponen y los cuales concuerdan con el propósito de la misma.

Exploratoria porque con la investigación se pretenden abordar hipótesis sobre resultados planteados en investigaciones anteriores que permiten profundizar la información al respecto, adicional a esto, se puede tomar como una etapa inicial de una investigación más amplia con respecto a la incidencia que pueda tener el uso de fibras de cáñamo en el concreto ya no solo desde la mirada a la resistencia a la compresión sino desde otras propiedades mecánicas

Explicativa porque se pretende identificar con diferentes porcentajes utilizados como proporción de fibra de cáñamo cual sería el que mayor incidencia presentaría con respecto a la muestra patrón. (Hernández & Mendoza, 2018)

3.3.2 *Recolección de la información*

La información recolectada para el desarrollo de la presente investigación proviene de fuentes secundarias, dado que proviene de investigaciones realizadas por otros autores y tomadas como referencia para el desarrollo de la presente.

Adicional a esto, se obtendrá información de fuentes primarias, dado que una vez se realicen los ensayos en laboratorio, los resultados obtenidos serán insumo primario para el análisis.

La información necesaria para llevar a cabo el presente proyecto de investigación se obtiene a partir de un diseño de mezcla establecido para una resistencia del concreto cuando es fallado a compresión de 21 Mpa; partiendo de esta resistencia, se buscará a través de la adición de diferentes porcentajes de fibra de cáñamo a la mezcla, para identificar la incidencia en la resistencia obtenida luego de llevar estas muestras a laboratorio y llevar a cabo el ensayo a compresión.

Los porcentajes de fibra de cáñamo propuestos en la presente investigación surgen luego de revisar la

literatura existente, en la cual se plantean diversos porcentajes de estudio y análisis, escogiendo para esta investigación un rango entre 0.5% y 3%; rango en el cual se desarrollarían los cambios más significativos en la resistencia a compresión del concreto.

De allí saldrán los resultados necesarios para la realización de las tablas y gráficas comparativas con respecto a la literatura consultada y poder establecer si el adicionar fibras de cáñamo al concreto incide o no en la resistencia a la compresión del concreto y en qué medida.

3.3.3 Instrumentos

Los instrumentos requeridos para la toma de muestras de las probetas que se envían para el ensayo de resistencia a la compresión *son* los siguientes:

- Molde cilíndrico: Formaleta para moldear la mezcla y que obtenga la forma establecida por la norma requerida para el ensayo a compresión.



Figura 1. Molde para muestras de cilindros de concreto. Tomada de <https://www.centralquipos.com/producto/cilindro-muestra-de-concreto/>

- Varilla compactadora: Varilla con medidas predeterminadas para realizar punzonamientos a la mezcla de concreto mientras es vertida en el molde cilíndrico



Figura 2. Varilla compactadora. Tomada de <https://arolab.pe/producto/varilla-compactadora-de-12-pulgadas-30-5-cm-con-punta-redonda-de-5-8-de-pulgada-15-9-mm/>

- Martillo de caucho: Se utiliza para generar vibrado al interior del cilindro mientras se introduce la

mezcla al molde cilíndrico y que permita la acomodación del agregado grueso y la expulsión de las burbujas de aire alojadas al interior de la mezcla.



Figura 3. Martillo de caucho. Tomada de <https://lacasadelaherramienta.co/martillo-de-caucho-pretul.html>

- Cono de Abrahams: Utilizado para medir el asentamiento de la mezcla previo a la toma de las muestras para verter en el molde cilíndrico.



Figura 4. Cono de Abrahams. Tomada de <https://www.matest.com/es/concreto/scc-aparatos-de-ensayo/scc-kit-de-conos-de-abrams/>

3.3.4 Procedimiento:

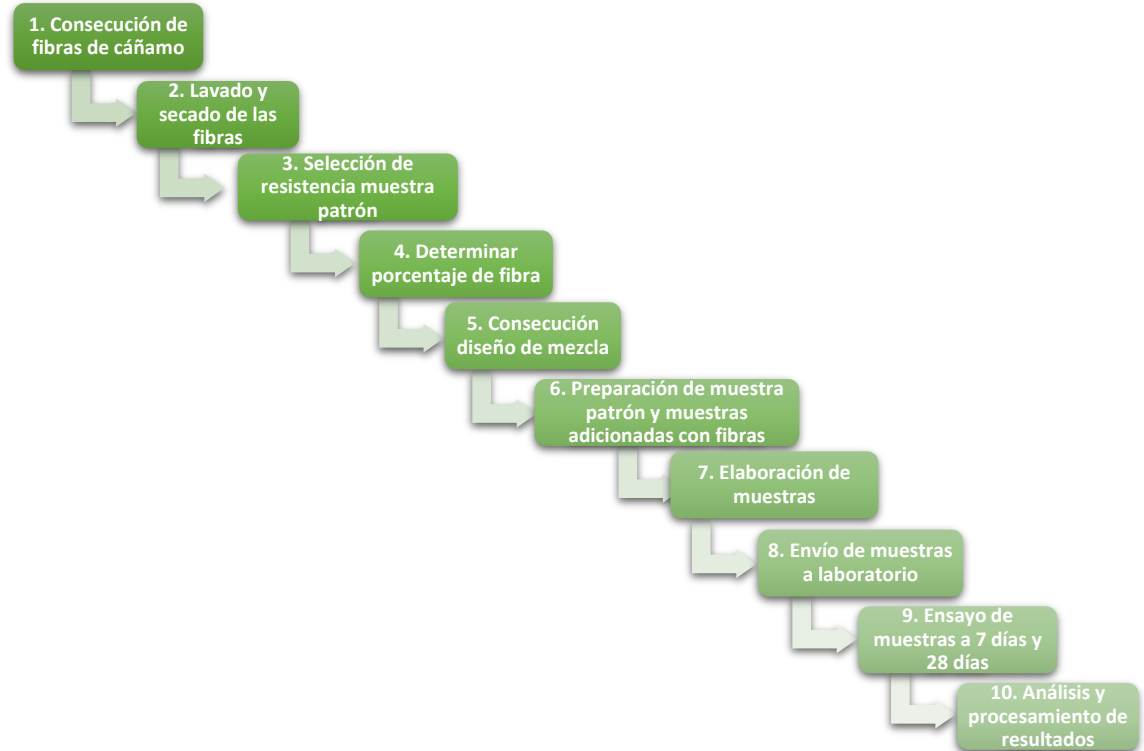


Figura 5. Paso a paso de pruebas a muestras de concreto con adición de fibras de cáñamo. Elaboración propia

La investigación que se desarrolla pretende a través de procesos experimentales, poder recolectar información necesaria para obtener resultados con respecto a la favorabilidad o no del uso de adiciones de fibras naturales, que para este caso es el cáñamo, en el concreto. En la presente investigación, la resistencia utilizada para la muestra patrón de concreto es de 21 Mpa.

Los resultados que se pretenden obtener son de tipo cuantitativo, ya que una vez realizados los ensayos que se pretenden realizar, estos arrojarán datos de tipo numérico, que a su vez podrán determinar la incidencia que se tiene con el uso de las fibras en el concreto en cuanto a la resistencia se refiere.

Para la investigación que se plantea, se cuenta con la presencia de dos variables, una independiente la cual será la fibra de cáñamo y será la variable a manipular durante la investigación ya que es la que varía en proporción y una variable dependiente que será la mezcla de concreto de 21 Mpa y que será tomada como muestra patrón y a su vez será esta quien se afecte de acuerdo a la dosificación usada de fibra de cáñamo para cada una de las dosificaciones establecidas con respecto al peso del cemento.

Como primera medida, se debe realizar la consecución de la fibra de cáñamo, la cual se debe hacer un procedimiento de lavado y secado. Una vez esta fibra se encuentre completamente seca, se procederá a almacenar para su posterior utilización en la mezcla del concreto.

Se utilizará un diseño de mezcla, el cual cumple con la especificación de resistencia propuesta para la investigación, la resistencia a compresión seleccionada es para un concreto de 21 Mpa ya que es la mínima establecida por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (NSR, 2010) para la construcción de estructuras en edificaciones.

Cabe resaltar que, por tratarse de un diseño de mezcla realizado por un laboratorio certificado, este diseño se encuentra formulado bajo las normas aplicables para el diseño de mezclas de concreto establecidos tanto en la NTC (NTC, 2017), como en la NSR-10 título C (NSR, 2010).

Cuando se tiene tanto la fibra de cáñamo preparada, como la dosificación para la mezcla de concreto definida, se procede con la preparación de esta y la toma de las muestras con las diferentes dosificaciones a utilizar en la investigación, las cuales son sin fibra, 0.50%, 1%, 1.50%, 2% y 3% de cantidad de fibra de cáñamo con respecto al peso del cemento utilizado para la mezcla de concreto.

En la tabla 5 se relacionan la cantidad de muestras a fabricar de cada una de las dosificaciones, con el fin de tener respaldo en la información recolectada.

ELEMENTO	UNIDAD	SIN FIBRA	0.50%	1%	1.50%	2%	3%	TOTAL DE MUESTRAS
CILINDRO DE CONCRETO (Ø 0.15 m x h: 0.30 m)) 21 Mpa	UND	3	3	3	3	3	3	18

Tabla 5. Numero de muestras por porcentaje de fibra de cáñamo. Elaboración propia.

La cantidad de muestras propuestas obedece a una muestra para fallo a los 7 días como seguimiento y dos muestras para fallo a los 28 días como resultado final, donde la desviación de resistencias entre las 3 no deberá

sobrepasar el 2% para poder considerar el resultado efectivo.

La finalidad de este ensayo es poder obtener mediante la aplicación de una carga axial de compresión a un cilindro de concreto, a una velocidad predeterminada hasta que ocurra la falla del elemento.

Una vez se tiene preparada la mezcla de concreto, tanto la muestra patrón, como la mezcla con los diferentes porcentajes adicionados de fibra de cáñamo, se aplica el procedimiento para la toma de muestras de cilindros de concreto para ensayo en laboratorio establecido en la NTC 550 del 2017 (NTC, 2017), norma en la cual se establecen los parámetros para la preparación de la mezcla, elaboración de los especímenes de concreto, el curado de estos y el procedimiento para el transporte a laboratorio.

El procedimiento mencionado se aplica tanto para la muestra patrón establecida, como para la mezcla adicionada con fibra de cáñamo ya que el procedimiento para la prueba a compresión es igual para todas las muestras por tratarse de un ensayo de resistencia a compresión de una muestra de concreto.

3.4 Consideraciones éticas

En concordancia con el documento CONSEJO DE FUNDADORES ACUERDO No. 308 del 5 de junio de 2020 de la Corporación Universidad Minuto de Dios – Uniminuto (Corporación Universitaria Minuto de Dios - Uniminuto, 2020), se tienen las siguientes consideraciones, valores y atributos, artículo 7 de dicho documento para el cumplimiento ético del desarrollo del presente proyecto de investigación.

Los autores de esta investigación se comprometen y se hacen responsables, además.

3.4.1 Honestidad

El contenido de este documento cuenta con información verídica y confiable, basado en artículos académicos no superiores a una antigüedad de 10 años, que avalan los conocimientos expuestos, dando transparencia y mayor confiabilidad a dicho contenido.

3.4.2 Integridad

El perfil de esta investigación busca enunciar resultados y/o corroborar resultados realizados previamente, siendo el caso favorable o desfavorable en los resultados, no afecta directa o indirectamente a los autores o la universidad, se busca además el cumplimiento de un objetivo académico y no comercial.

El desarrollo de esta investigación contiene un gran componente de experimentación, dichas pruebas serán

realizadas en un laboratorio certificado y acreditado por la ONAC (Organización Nacional de Acreditación de Colombia). Dicha certificación contribuye a la confiabilidad de los resultados, trazabilidad y transparencia en los procedimientos realizados por la institución acreditada.

Los resultados expuestos serán completamente iguales a los arrojados por el laboratorio, se anexará la documentación con los resultados correspondientes.

3.4.3 Buena fe

La presente investigación fue desarrollada bajo la normativa jurídica a nivel nacional y de la institución universitaria, bajo las exigencias éticas que enuncia el mencionado documento del acuerdo ético.

3.4.4 Lealtad

Bajo la definición del documento del acuerdo ético, la investigación no cuenta con tintes de favorabilidad propia o en detrimento de la imagen de la institución universitaria, bajo los lineamientos enseñados por el profesorado y expuestos en el documento.

3.4.5 Respeto

El contenido expuesto en este documento está debidamente referenciado, buscando a cabalidad la no apropiación de ideas o conceptos, sin el objetivo de dañar la reputación de los autores citados ni a la universidad.

3.4.6 Imparcialidad

Como se menciona en el apartado Integridad, los resultados de las pruebas son trazables bajo un laboratorio acreditado, los resultados no buscan favorecer alguna marca de concretos y/o agregados, se busca es brindar información acerca de un ejercicio de elaboración de mezclas de concreto con finalidades académicas y no comerciales. Se hace insistencia que cualquier sea el resultado obtenido no afecta de alguna manera a los autores o la institución.

3.4.7 Equidad

Se reconoce la labor del tutor en la guía y construcción de esta investigación, a la institución universitaria por su acompañamiento y la facilitación de herramientas informáticas y espacios físicos. Se reconoce, además, la autoría de los conceptos referenciados y el ejercicio realizado por el laboratorio.

3.4.8 Confidencialidad

Los autores, bajo la exigencia del documento ético de la institución universitaria, se compromete a

mantener bajo reserva los resultados y el contenido de este escrito a cualquier entidad o persona siempre y cuando sea bajo la autorización de la institución o el profesor.

CAPITULO IV

4 Resultados

4.1 Selección de resistencia patrón y adición de cáñamo

Se determinó la resistencia para la muestra patrón de acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente en el cual se indica que esta es la resistencia mínima para la construcción de estructuras en concreto reforzado, logrando así tener una resistencia a la compresión de referencia la cual permite a partir de allí poder adicionar los diferentes porcentajes de fibra de cáñamo para el desarrollo de la investigación.

De acuerdo con los artículos consultados, en estos se observa en los resultados obtenidos que los porcentajes en los cuales se presenta la mayor incidencia positiva de la fibra de cáñamo en la resistencia del concreto se encuentra entre 0,5% y 3% con respecto al peso del cemento; es por esto que para el desarrollo de la presente investigación se toman como porcentajes a adicional al concreto 0,5%, 1%, 1,5%, 2% y 3%.

4.2 Análisis de resultados

4.2.1 Resultados a los 7 días

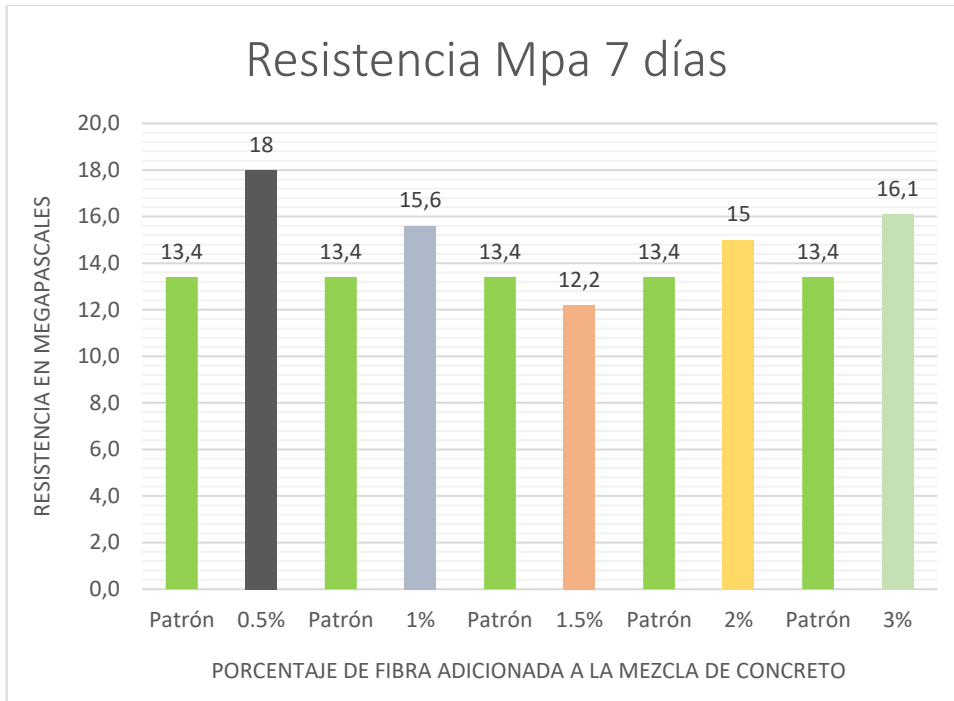
Se obtienen los resultados de las muestras sometidas a prueba en laboratorio luego de 7 días de vaciadas. Las pruebas se llevaron a cabo el día el día 25 de marzo de 2023 las cuales arrojaron los siguientes resultados:

Muestra No.	MEZCLA	F'c (MPa)	CILINDRO (No.)	F./ VACIADO (dd/mm/aaaa)	EDAD (días)	F./ PRUEBA	Ø=(D) (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA (kN)	Rc (MPa)	TF	LOCALIZACIÓN	OBSERVACIONES	Estado
6	21	21	16	18/03/2023	7	25/03/2023	154.7	18796	302.45	16.1	E	JRS 3		Informado
5	21	21	13	18/03/2023	7	25/03/2023	152.6	18289	273.9	15	E	JRS 2		Informado
4	21	21	10	18/03/2023	7	25/03/2023	149.4	17530	213.45	12.2	E	JRS 1,5		Informado
3	21	21	7	18/03/2023	7	25/03/2023	150.8	17860	279.33	15.6	E	JRS 1		Informado
2	21	21	4	18/03/2023	7	25/03/2023	151.3	17979	323.53	18	F	JRS 0,5		Informado
1	21	21	1	18/03/2023	7	25/03/2023	151.4	18003	241.51	13.4	C	JRS 0		Informado

Anexo 1. Resultados enviados por laboratorio, pruebas a los 7 días. Ingeconcreto S.A.S.

RESULTADOS ENSAYOS A COMPRESIÓN			% DE RESISTENCIA LOGRADA A LOS 7 DÍAS CON BASE A RESISTENCIA PATRÓN (21 Mpa)	DIFERENCIA ENTRE % PATRÓN VS % FIBRA
MUESTRA	Porcentaje	Resistencia Mpa 7 días		
	Patrón	13,4	64%	0%
	0,5%	18	86%	22%
	1%	15,6	74%	10%
	1,5%	12,2	58%	-6%
	2%	15	71%	8%
	3%	16,1	77%	13%

Tabla 6. Análisis de resultados obtenidos con prueba a los 7 días. Elaboración propia.



Gráfica 1. Análisis de resultados obtenidos con prueba a los 7 días. Elaboración propia

El siguiente análisis se hace con los resultados entregados por laboratorio, en el cual se pretende dar una interpretación a la información suministrada teniendo en cuenta que dichos resultados obedecen a muestras de concreto de una edad temprana.

Como elemento importante para la continuación del análisis de los resultados obtenidos es la cercanía entre la resistencia esperada a los 7 días por la muestra patrón, la cual debe ser un 65% de la resistencia de diseño equivalentes a 13,65 Mpa y la resistencia obtenida la cual fue de 13,4 Mpa para un 63,81%. Estos resultados permiten continuar con el desarrollo de los análisis debido a que la resistencia de diseño se ajusta con la resistencia lograda con la muestra patrón.

De los anteriores resultados se puede observar que, de los porcentajes utilizados de fibra de cáñamo, el que genera mayor incidencia sobre la muestra patrón es 0,5% de fibra; a partir de este porcentaje, el comportamiento presenta variaciones las cuales vuelven impredecible el resultado.

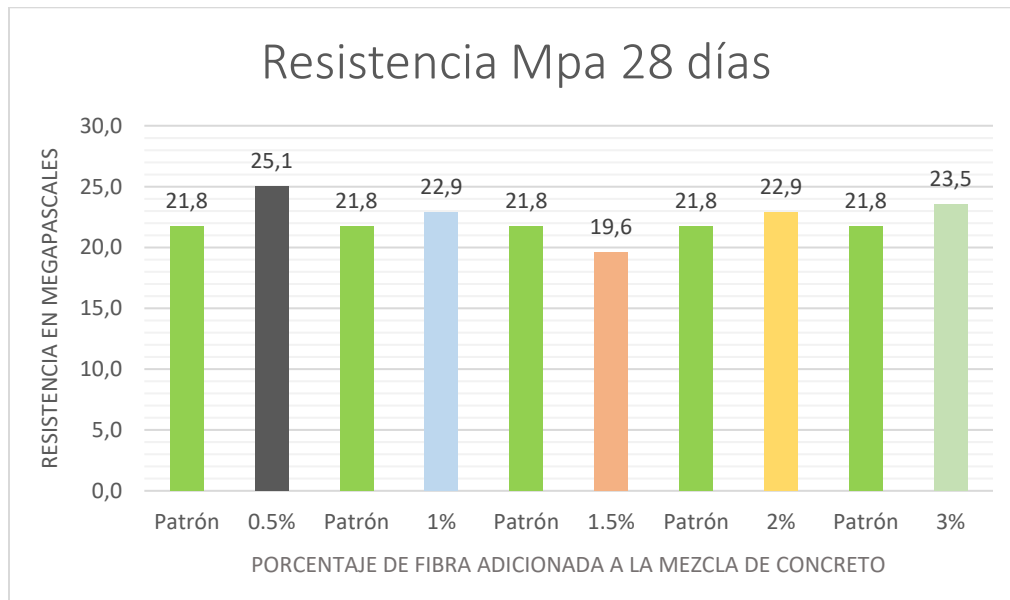
4.2.2 Resultados a los 28 días

Muestra	MEZCLA	F' C	CILINDRO	F./ VACIADO	EDAD	F./ PRUEBA	Ø=(D)	ÁREA	CARGA	Rc	TF	LOCALIZACIÓN	OBSERVACIONES	Estado
No.		(MPa)	(No.)	(dd/mm/aaaa)	(días)		(mm)	(mm ²)	(kN)	(MPa)				
6	21	21	18	18/03/2023	28	15/04/2023	154.1	18651	418.23	22.4	F	JRS 3		Laboratorio
6	21	21	17	18/03/2023	28	15/04/2023	149	17437	429.98	24.7	E	JRS 3		Laboratorio
5	21	21	15	18/03/2023	28	15/04/2023	151.8	18098	384.65	21.3	C	JRS 2		Laboratorio
5	21	21	14	18/03/2023	28	15/04/2023	152.8	18337	449.66	24.5	D	JRS 2		Laboratorio
4	21	21	12	18/03/2023	28	15/04/2023	151.1	17932	389.39	21.7	E	JRS 1,5		Laboratorio
4	21	21	11	18/03/2023	28	15/04/2023	150.4	17766	310.79	17.5	E	JRS 1,5		Laboratorio
3	21	21	9	18/03/2023	28	15/04/2023	150.2	17719	427.09	24.1	E	JRS 1		Laboratorio
3	21	21	8	18/03/2023	28	15/04/2023	149.8	17624	381.72	21.7	D	JRS 1		Laboratorio
2	21	21	6	18/03/2023	28	15/04/2023	152.6	18289	472.51	25.8	E	JRS 0,5		Laboratorio
2	21	21	5	18/03/2023	28	15/04/2023	151.4	18003	437.09	24.3	E	JRS 0,5		Laboratorio
1	21	21	3	18/03/2023	28	15/04/2023	153.8	18578	309.04	21.4	E	JRS 0		Laboratorio
1	21	21	2	18/03/2023	28	15/04/2023	153.9	18602	327.96	22.1	D	JRS 0		Laboratorio

Anexo 2. Resultados enviados por laboratorio, pruebas a los 28 días. Ingeconcreto S.A.S.

RESULTADOS ENSAYOS A COMPRESIÓN			% DE RESISTENCIA LOGRADA A LOS 28 DÍAS CON BASE A RESISTENCIA PATRÓN (21 Mpa)	DIFERENCIA ENTRE % PATRÓN VS % FIBRA
MUESTRA	Porcentaje	Resistencia Mpa 28 días		
	Patrón	21,8	103,6%	
	0,5%	25,1	119,3%	16%
	1%	22,9	109,0%	5%
	1,5%	19,6	93,4%	-10%
	2%	22,9	109,0%	5%
	3%	23,5	112,1%	9%

Tabla 7. Análisis de resultados obtenidos con prueba a los 28 días. Elaboración propia



Gráfica 2. Análisis de resultados obtenidos con prueba a los 28 días. Elaboración propia.

El análisis para los resultados de las pruebas realizadas a los 28 días de vaciadas las muestras se hace con los resultados entregados por laboratorio; la edad de estas muestras de concreto obedece a un estado endurecido, las cuales arrojarán el resultado final con el cual se evaluarán los mismos con respecto a los diferentes porcentajes de fibra adicionados a cada una de estas.

Luego de tabular y graficar la información obtenida por parte del laboratorio, se puede observar cómo es consecuente el comportamiento de la ganancia de resistencia de cada una de las muestras con respecto a los resultados obtenidos en las muestras falladas a los 7 días.

Se observa nuevamente como las muestras adicionadas con el 0.5% de fibra de cáñamo alcanzan una mayor resistencia a los 28 días, logrando llegar a 25.1 Mpa lo que representa un aumento frente a la muestra patrón de 4.1 Mpa indicando así una ganancia de resistencia a la compresión del 19.3%.

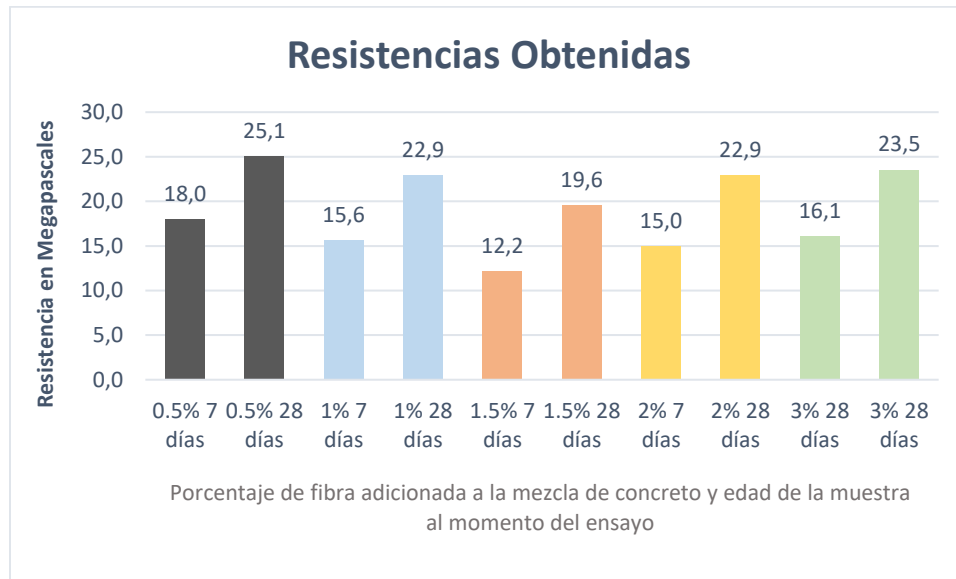
De igual manera se observa que el porcentaje que más afecta la resistencia a la compresión de acuerdo con los evaluados es cuando se adiciona 1,5% de fibra de cáñamo a la mezcla obteniendo como resultado 19,6 Mpa lo que es 1,4 Mpa menos que los de la muestra patrón, indicando así una disminución con este porcentaje de fibra del 6,65% en la resistencia de las muestras evaluadas.

De acuerdo con el análisis se puede observar un incremento de hasta el 22% en la resistencia a edades tempranas con respecto a la resistencia alcanzada por la muestra patrón cuando se una un 0.5% de fibra, mientras que con 1.5% se observa por debajo del porcentaje logrado por la muestra patrón a edades tempranas en 6%.

4.2.3 Resultados a los 7 días y 28 días

RESULTADOS ENSAYOS A COMPRESIÓN			% DE RESISTENCIA LOGRADA A LOS 28 DÍAS	DIFERENCIA ENTRE % A 7 DÍAS y % A 28 DÍAS
MUESTRA	Porcentaje	Resistencias Obtenidas		
	0.5% 7 días	18.0	85.7%	34%
	0.5% 28 días	25.1	119.3%	
	1% 7 días	15.6	74.3%	35%
	1% 28 días	22.9	109.0%	
	1.5% 7 días	12.2	58.1%	35%
	1.5% 28 días	19.6	93.4%	
	2% 7 días	15.0	71.4%	38%
	2% 28 días	22.9	109.0%	
	3% 7 días	16.1	76.7%	35%
	3% 28 días	23.5	112.1%	

Tabla 8. Resultados obtenidos con pruebas a los 7 días y 28 días. Elaboración propia



Gráfica 3. *Análisis de resultados obtenidos con pruebas a los 7 días y 28 días. Elaboración propia.*

En la gráfica anterior se puede observar el comportamiento similar que se presenta en el desarrollo de las resistencias obtenidas a los 7 días y a los 28 días respectivamente. No se observan cambios bruscos en las resistencias obtenidas lo que se puede interpretar de manera favorable puesto que son coherentes los resultados obtenidos a los 7 días, con los resultados obtenidos a los 28 días.

4.3 Comparativo de resultados.

	PORCENTAJES DE FIBRA							
Fibra	0,5%	0,77%	1%	1,5%	2%	3%	4%	6%
	PORCENTAJES DE RESISTENCIA OBTENIDA CON RESPECTO A LA MUESTRA							
	PATRÓN							
Cáñamo (investigación)	16%		5%	-10%	5%	9%		
Cabello			44,3%	15,7%				
Caña de azúcar		41%						
Fibra de coco					-51,8%		-65,9%	-76,7%

Tabla 9. Comparativo de resultados obtenidos con respecto a investigaciones similares.

De acuerdo con los textos consultados, se encuentra interesante ver los diferentes puntos de vista con respecto a la adición de diferentes fibras al concreto en busca de mejorar sus propiedades mecánicas, puntualmente para esta investigación, la mejora de la resistencia a la compresión.

Por ejemplo con respecto a los resultados obtenidos con la fibra de cabello humano en la TESIS “Análisis de la Resistencia a la Compresión y Flexión de Concreto con Agregados de: Cunyac, Mina Roja y Vicho Adicionado con Fibras de Cabello Humano”, allí luego de realizar los ensayos de laboratorio, se obtiene como porcentaje óptimo el 1% y 1.5% en los cuales la resistencia aumentó según los autores en 44,3% y 15,7% respectivamente la resistencia a la compresión del concreto. Estos resultados no se alinean con los obtenidos en la presente investigación, teniendo en cuenta que de acuerdo a los resultados arrojados fueron para 1% y 1.5% de 5% y -10% respectivamente, lo que claramente se aleja de lo planteado por los autores.

Con respecto a los resultados encontrados para la caña de azúcar como fibra adicionada al concreto en el artículo “Hormigón reforzado con fibra natural de caña de azúcar y su resistencia a la compresión”, se tiene un porcentaje de esta fibra de 0,77% alcanzando un aumento de la resistencia a la compresión del concreto de 41%; con estos resultados si bien no son iguales a los obtenidos en la presente investigación, se acercan a los obtenidos en porcentajes cercanos a los evaluados por los autores consultados. Dichos porcentajes se plantean óptimos entre 0,5% y 1%.

Para el caso del concreto de alta resistencia grado 60 que se plantea en el artículo “USE OF NATURAL FIBRES

TO ENHANCE TENSILE STRENGTH OF CONCRETE” con el uso de la fibra de coco como adición al concreto, en todas los porcentajes utilizados se encontró que afectaba de manera drástica la resistencia a la compresión de este obteniendo una reducción con el 2% de fibra del 51.8% de la resistencia, con el 4% de fibra, se redujo en un 65,9% la resistencia a la compresión y con el uso de 6% de fibra, se alcanzó una reducción de la resistencia a la compresión del 76,7% lo que indica que esta fibra no es apta para su uso como adición al concreto. Estos resultados si bien obedecen al uso de una fibra diferente y un tipo de concreto con unas propiedades características de los concretos de alta resistencia, se alejan de los obtenidos en la presente investigación, donde con los porcentajes utilizados de 2% y 3% si bien no alcanzan aumentos significativos en la resistencia, por lo menos no afecta la misma de manera negativa.

Por último, se plantea el artículo “Use of hemp, kenaf and bamboo natural fiber in cement-based concrete”, la dosificación de fibra de cáñamo recomendada es de un 2% de fibra con respecto al peso del cemento utilizado para la mezcla, lo que no concuerda con los resultados obtenidos en la presente investigación, donde con el porcentaje del 2% el aumento de la resistencia es mínimo tan solo un 5% adicional con respecto a la resistencia de la muestra patrón.

4.4 Comportamiento del concreto al añadirle fibra de cáñamo

Luego de realizar los análisis respectivos de los resultados obtenidos en el ensayo de las muestras de concreto, tanto la muestra patrón como las muestras adicionadas con diversos porcentajes de fibra de cáñamo, se observa que efectivamente se tiene una incidencia en la resistencia final del elemento, la cual puede ser positiva ganando resistencia a la compresión o negativa cuando la pierde.

Esta investigación permite tener una mirada más a detalle del comportamiento del concreto, cuando se le incorpora a su mezcla algún elemento diferente o adicional al del diseño preestablecido y la incidencia que tiene este elemento en sus propiedades mecánicas.

Dentro del análisis de resultados de la investigación se tienen datos de diferentes fibras usadas, las cuales dados los procesos utilizados pueden variar o no, con respecto a los obtenidos en la presente investigación.

CAPITULO V

5 Discusión

Luego de realizar el comparativo de resultados obtenidos en los textos consultados como marco de referencia, se pueden evidenciar grandes diferencias tanto en metodologías y procedimientos, como en los resultados arrojados luego de llevar los elementos construidos a laboratorio y someterlos a pruebas de compresión.

Como primer elemento se tiene los resultados obtenidos cuando se utilizan fibras de cabello humano como adición al concreto; en el texto se indica que el porcentaje recomendado es del 1% y 1,5% y generando aumento en la resistencia a la compresión de 44,3% y 15,7% respectivamente lo que se aleja notablemente de los resultados obtenidos en la presente investigación al momento de usar dichos porcentajes puesto que los resultados obtenidos fueron de 5% y -10% con el uso de 1% y 1,5%, donde se evidencia inclusive una disminución de la resistencia con el uso de 1,5% de fibra de cáñamo.

Se considera que dicha diferencia se podría dar debido a procesos constructivos de las muestras, diferencia en las densidades de las fibras, lo que podría generar planos de falla diferentes, esta sumado al hecho de que no se tiene control sobre la uniformidad de la ubicación de las fibras una vez son mezcladas con el concreto.

Luego se analizan los datos obtenidos con el uso de fibra de caña de azúcar en el concreto, en donde se plantean resultados interesantes de resistencia a la compresión del concreto cuando se utiliza 0.77% de fibra como adición, generando un aumento en la resistencia del 41,04%; dato que si bien es muy superior al obtenido durante la investigación con porcentajes de fibra de cáñamo similares, concuerda con el aumento en mayor proporción que se presenta con el uno de 0,5% de fibra, el cual genera un aumento de la resistencia del 16% a los 28 días de fundido el elemento.

Con respecto a la fibra de coco, esta fue utilizada de acuerdo con los autores como adición a un concreto grado 60, el cual posee unas características especiales en su composición, utilizando agregados de un tamaño máximo nominal muy inferior al utilizado en un concreto convencional como lo fue el utilizado en la presente investigación. Dicho esto, se obtuvieron resultados muy contundentes por parte de los autores, donde en ninguno de los porcentajes propuestos de fibra de coco, logró incidir de manera positiva en la resistencia a la compresión de los elementos, por el contrario, con el aumento del porcentaje de fibra disminuía cada vez mas la resistencia a la

compresión. Los porcentajes propuestos en el artículo fueron 2%, 4% y 6% de fibra de coco, obteniendo resultados de 48,2%, 34,1% y 23,3% respectivamente, con referencia de la muestra patrón, lo que indica disminuciones en la resistencia a la compresión de 51,8%, 65,9% y 76,7%. Para este caso en particular resulta difícil realizar una comparativa teniendo en cuenta las características anteriormente mencionadas que poseen este tipo de concretos, sin embargo, dentro de los resultados de la presente investigación, para porcentajes similares como lo son 2% y 3% los cuales arrojaron un incremento del 5% y del 9% respectivamente, se podría aducir al tamaño del agregado grueso y si interacción con las fibras de cáñamo, lo que ocurre de manera diferente con el uso de las fibras de coco y la interacción que pueda tener con agregados de tamaños considerablemente menores.

Por último, se presenta un texto en el cual se indica que el porcentaje recomendado de fibra de cáñamo como adición al concreto y que genera mejores resultados al momento de evaluar la resistencia a la compresión es usando 2% de la fibra con respecto al peso del cemento utilizado para la mezcla, lo que difiere de los resultados obtenidos en la presente investigación puesto que si bien con el uso del 2% de fibra se obtiene un incremento en la resistencia a la compresión del 5%, finalmente es con el porcentaje de 0,5% con el cual se obtienen mejores resultados y un incremento mayor en la resistencia del concreto, la cual alcanza el 16% de resistencia adicional con respecto a la resistencia de la muestra patrón, por lo que se considera que este sería el porcentaje adecuado para el uso de fibra de cáñamo como adición al concreto para mejorar la resistencia a la compresión de este.

CAPITULO VI

6 Conclusiones

Se logra identificar la importancia y relevancia que tiene el uso de sistemas constructivos alternativos que permitan dar un segundo uso a diferentes elementos al momento de preparar concretos, sin que esto necesariamente signifique sacrificar propiedades mecánicas de los elementos, por el contrario, dependiendo de las dosificaciones utilizadas se podría generar beneficios en cuanto a resistencia a la compresión se refiere.

Se concluye que, de los porcentajes utilizados durante la investigación, el porcentaje óptimo de fibra de cáñamo para usar como adición al concreto es de 0,5% con relación al peso del cemento a utilizar para la preparación y de igual manera el menos recomendable es 1,5% teniendo en cuenta que, de acuerdo a los resultados obtenidos, generaría una disminución de la resistencia del concreto.

Luego de analizar los resultados obtenidos, a partir de 1% de fibra de cáñamo, los resultados presentan variaciones que no permiten establecer una tendencia creciente o decreciente, por lo que no se puede concluir de manera contundente si con mayor porcentaje de fibra, se aumentaría la resistencia, por lo que se requeriría generar una profundización en la investigación, donde se evalúen porcentajes mayores a los utilizados en la presente investigación. Sin embargo, por definición mientras más se incluya un elemento menos denso a un elemento más denso, se generarán planos de falla o puntos débiles que generaran una menor resistencia del elemento, por lo que es posible que no necesariamente mayor porcentaje de fibra signifique mayor resistencia y por el contrario, genere disminuciones significativas en esta.

El comportamiento del concreto adicionado con fibras de cáñamo a edades tempranas y en su estado endurecido (a los 28 días) es similar, lo que indica que la fibra de cáñamo es un elemento que se comporta de manera estable al entrar en contacto con el concreto.

Si bien en esta investigación se evaluaron aspectos de la resistencia a la compresión del concreto cuando es adicionado con fibras de cáñamo, se abre una puerta para profundizar en otros aspectos, como lo son evaluar la resistencia a flexión, la tenacidad, evaluar el uso de mayores porcentajes de fibra, entre otras líneas de investigación que se pueden desarrollar a partir de los resultados obtenidos.

CAPITULO VII

7 Referencias

- Abdalla, J. A., Blessen Skariah, T., & Rami A, H. (2022). Use of hemp, kenaf and bamboo natural fiber in cement-based concrete. *Elsevier*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.428>
- Arquitectura Sostenible. (2020). *Arquitectura Sostenible*. <https://arquitectura-sostenible.es/aplicaciones-canamo-construccion-sostenible/>
- Bentz, D. P., Arnold, J., Boisclair, M. J., Jones, S. Z., Rothfeld, P., Stutzman, P. E., . . . Ardani, A. (2017). Influence of Aggregate Characteristics on Concrete Performance. *National Institute of Standards and Technology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.6028/NIST.TN.1963>
- Carrión, L., Ordoñez, J., Duran, J., & J, F. (2019). Hormigón reforzado con fibra natural de caña de azúcar y su resistencia a la compresión. *Conference Proceeding UTMACH 2020*, 4(1).
- Castillo Torres, P. I. (2018). INSTRUCTIVO DE LA PRODUCCIÓN, COLOCACIÓN Y MANEJO DEL CONCRETO ELABORADO EN OBRA. Bogotá, Colombia.
- Corporación Universitaria Minuto de Dios - Uniminuto. (5 de Junio de 2020). Consejo de Fundadores De La Corporación Universtariora Minuto de Dios - Uniminuto Acuerdo N°308. Colombia.
- DANE. (2018). *GOV.CO*. DANE Información para todos: https://www.dane.gov.co/files/censo2018/proyecciones-de-poblacion/Nacional/anexo-proyecciones-poblacion-NacionalArea2018_2070.xlsx
- Hernández, R., & Mendoza, T. C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa y mixta* (Primera ed.). Ciudad de México, México: Mc Graw Hill Education.
- Jaimes Estupiñan, D. F., García Caballero, J. J., & Rondón Peñaranda, J. J. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. *REVISTA FORMACIÓN ESTRATÉGICA*, 1(2).
- López, R. J. (Abril de 2015). ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS CORTAS DE ACERO Y MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO: INFLUENCIA DEL TIPO Y CONSUMO DE FIBRA ADICIONADO. México D. F, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Medina, W. (2014). El curado del concreto en la construcción. 1-2.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10*.
- Onofre López, B. L., & Vera Espinoza, B. H. (Septiembre de 2014). Análisis de la Resistencia a la Compresión y Flexión de Concreto con Agregados de: Cunyac, Mina Roja y Vicho Adicionado con Fibras de Cabello Humano. Cusco, Perú.
- Sanchez de Guzman, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bhandar Editores Limitada.
- Sanchez, R. J., & Weikert, F. (2020). *Logística internacional pospandemia*.
- Seneviratne, R., Tharmarajah, G., & Archbold, P. (2017). USE OF NATURAL FIBRES TO ENHANCE TENSILE

STRENGTH OF CONCRETE. *ICBBM EcoGrafi*, 35(2).

Shahzad, A. (2011). Hemp fiber and its composites - A review. *Journal of Composite Materials*.
<https://doi.org/10.1177/0021998311413623>

Vidaud, I., Frómeta, Z., & Vidaud, E. (2015). Una aproximación a los concretos reforzados con fibras. *Revista Tecnología, Parte 1*.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, (2017), *Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el sitio de trabajo* (NTC 550:2017). <https://tienda.icontec.org/gp-concretos-elaboracion-y-curado-de-especimenes-de-concreto-en-el-sitio-de-trabajo-ntc550-2017.html>