



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias con Línea Terminal en Construcción

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN CONCRETO CON LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS TEXTILES DE ALGODÓN DE DESECHO

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Ciencias

Presenta

Ing. César Augusto Navarro Rubio

Dirigido por:

Dra. María De La Luz Pérez Rea

Querétaro, Qro. Mayo de 2023.



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Análisis del Comportamiento Mecánico de un
Concreto con la Incorporación de Fibras Textiles de
Algodón de Desecho

por

César Augusto Navarro Rubio

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: IGMAC-248923



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias con Línea Terminal en Construcción

Análisis del comportamiento mecánico de un concreto con la incorporación de
fibras textiles de algodón de desecho

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Ciencias con Línea Terminal en Construcción

Presenta:

César Augusto Navarro Rubio

Dirigido por:

Dra. María De La Luz Pérez Rea

Dra. María De La Luz Pérez Rea
Presidente

Dr. Jaime Moisés Horta Rangel
Secretario

Mtro. Rubén Ramírez Jiménez
Vocal

Dr. Eduardo Rojas González
Suplente

Mtro. Gerardo Medellín Aguilar
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Mayo de 2023
México

RESUMEN

El estudio analizó el comportamiento mecánico de un concreto con incorporación de fibras de algodón desechado. Se llevó a cabo con el objetivo de evaluar la posibilidad de utilizar este material con una proporción y tamaño adecuado, para ser usado en la fabricación de concreto. Se prepararon mezclas de concreto con relación agua/cemento de 0.68, se utilizaron proporciones de fibra de algodón de 0, 0.5, 1.0 y 5.0% del total del peso de un cilindro de concreto en estado seco, con dimensiones de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura aproximadamente, se evaluó su efecto en las propiedades mecánicas de 36 cilindros de concreto a 7, 14 y 28 días de curado, que se sometieron a pruebas de compresión simple para evaluar su resistencia mecánica. Los resultados mostraron que la incorporación de fibras de algodón desechado tiene un efecto positivo en las propiedades mecánicas del concreto. Se observó aumento en la resistencia a la compresión del concreto con fibras en comparación con un concreto sin fibras. En particular, se encontró que la resistencia promedio a la compresión aumento en 1.48% en los cilindros con incorporación de 0.5% de fibras a 28 días de curado, además, se notó una reducción en la deformación del concreto con respecto a los cilindros sin fibras. Respecto a la influencia del tiempo de curado, se observó que la resistencia a la compresión aumentó con el tiempo de curado. Esto se debe al algodón que al servir como reservorio de agua, ayuda al curado interno que aumenta la resistencia mecánica del concreto. En conclusión, las pruebas han mostrado que adicionar fibras de algodón de desecho en pequeñas cantidades puede aumentar la resistencia a compresión del concreto, especialmente en el proceso de endurecimiento pasados 14 días de curado. Esto dependerá del contenido y la longitud de las fibras utilizadas. Por tanto, se recomienda su uso en las estructuras que requieran un concreto convencional o en estructuras sin capacidad de carga estructural. Además, el uso de estas fibras recicladas pudiera ofrecer beneficios sostenibles y ecológicos al reutilizar un material que de otra forma sería un residuo.

(Palabras clave: concreto con fibras, fibras de algodón, concreto con fibras de algodón desecho)

SUMMARY

The study analyzed the mechanical behavior of concrete incorporating waste cotton fibers. It was carried out with the objective of evaluating the possibility of using this material with an appropriate proportion and size, to be used in concrete manufacturing. Concrete mixes were prepared with a water/cement ratio of 0.68, and cotton fiber proportions of (0, 0.5, 1.0, and 5.0%) of the total weight of a dry concrete cylinder with dimensions of approximately 10 cm in diameter and 20 cm in height. The effect of the fibers on the mechanical properties of 36 concrete cylinders was evaluated at 7, 14, and 28 days of curing, which were subjected to simple compression tests to evaluate their mechanical strength. The results showed that the incorporation of waste cotton fibers has a positive effect on the mechanical properties of the concrete. An increase in the compressive strength of the concrete with fibers was observed compared to concrete without fibers. In particular, it was found that the average compressive strength increased by 1.48% in cylinders with the incorporation of 0.5% cotton fibers at 28 days of curing, and a reduction in concrete deformation was also noted in comparison to cylinders without fibers. Regarding the influence of curing time, it was observed that compressive strength increased with curing time. This is because cotton, serving as a water reservoir, helps internal curing that increases the mechanical strength of the concrete. In conclusion, the tests have shown that adding small amounts of waste cotton fibers can increase the compressive strength of concrete, especially in the hardening process after 14 days of curing. This will depend on the content and length of fibers used. Therefore, their use is recommended in structures requiring conventional concrete or in structures without structural load-bearing capacity. Additionally, the use of these recycled fibers could offer sustainable and ecological benefits by reusing material that would otherwise be waste.

(Key words: concrete with fibers, cotton fibers, waste cotton fiber concrete)

DEDICATORIAS

A mi padre:

Querido papá,

No tengo palabras para expresar la gratitud que siento por todo lo que has hecho por mí. Desde el primer día en que me animaste a seguir mis sueños, has sido mi roca sólida y mi apoyo incondicional.

Eres mi inspiración y mi modelo a seguir. Tu perseverancia y dedicación me han enseñado a nunca rendirme ante los obstáculos y a seguir luchando por mis metas. Tu amor y tu apoyo han sido fundamentales en mi camino hacia el éxito.

Desde el primer día, siempre creíste en mí y en mis habilidades. Tu confianza en mí me dio la motivación y la determinación para seguir adelante cuando me sentía abrumado. Tu orientación y consejos fueron invaluable, y tu disposición a ayudarme en cualquier momento del día o de la noche fue increíblemente reconfortante.

Tu apoyo no se limitó solo a mi tesis, también estuvo presente en mi vida diaria, siempre estuviste ahí para escuchar mis preocupaciones y darme consejos sabios. Tu amor y tu comprensión son lo que me han ayudado a superar los obstáculos y a seguir adelante en mi camino.

Padre, no puedo agradecerte lo suficiente por todo lo que has hecho por mí. Tu amor incondicional y tu apoyo constante son lo que me han ayudado a llegar hasta aquí. Estoy increíblemente agradecido de tenerte como mi padre y estoy emocionado de ver lo que el futuro me depara.

A mi madre:

Querida mamá,

Solo quiero tomar un momento para agradecerte por todo lo que has hecho por mí a lo largo de los años. Desde el día en que nací, has sido mi pilar de apoyo y mi roca sólida. Has

estado allí para mí en los momentos buenos y en los malos, y nunca has dudado en ayudarme en cualquier forma que pudieras.

Gracias por estar siempre presente en mi vida y por ayudarme a crecer en una persona fuerte y valiente. Has sido mi guía y mi mentor, y gracias a tu amor y apoyo incondicional, he logrado cosas que nunca pensé posibles. Tu sabiduría y consejos han sido inestimables y me han ayudado a navegar por los desafíos de la vida.

Te agradezco por todas las horas, por las noches en las que me ayudaste a organizar mis ideas, y por las palabras de aliento que me diste cuando me sentía abrumado. Tu dedicación y esfuerzo para asegurarte de que tuviera las mejores oportunidades, ha sido la razón por la cual hoy estoy en la posición en la que estoy.

Quiero que sepas que todo lo que he logrado es gracias a ti. Te estaré eternamente agradecido por todo lo que has hecho por mí. Eres la mejor madre del mundo y no podría haber pedido a nadie más. Te quiero con todo mi corazón.

Con todo mi amor y gratitud, a mi padre y madre.

A mis profesores:

Me dirijo a ustedes con el corazón lleno de gratitud y reconocimiento por todo lo que hicieron por mí durante mis años de estudio. No sé cómo agradecerles lo suficiente por toda la ayuda, el apoyo y la guía que me brindaron en mi camino hacia la graduación.

En primer lugar, quiero agradecerles por su paciencia y dedicación a la enseñanza. Su capacidad para transmitir conocimientos de manera clara y comprensible fue fundamental para mi aprendizaje. Sus explicaciones siempre fueron precisas y detalladas, lo que me permitió entender y aplicar los conceptos enseñados en la práctica.

También quiero agradecerles por su disposición a ayudarme en todo momento. Siempre estuvieron disponibles para responder mis preguntas, brindarme orientación y ofrecerme su valioso consejo. Su apoyo fue fundamental para superar los obstáculos que se me presentaron en el camino.

Por último, quiero agradecerles por su dedicación en guiarme en la elaboración de mi tesis. Su orientación y retroalimentación durante todo el proceso fue esencial para lograr un trabajo de calidad y lograr mi graduación. Sin duda, su experiencia y conocimientos fueron fundamentales para el éxito de mi proyecto.

En resumen, quiero expresar mi más sincero agradecimiento por todo lo que hicieron por mí. Su dedicación, paciencia y apoyo son un ejemplo a seguir para mí. Sin duda, su influencia en mi vida académica será algo que llevaré conmigo siempre. Les deseo lo mejor y agradezco de nuevo todo lo que hicieron por mí.

Con profundo agradecimiento,

César Augusto Navarro Rubio.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT), por todo el apoyo económico recibido durante el transcurso de la maestría.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, al centro de investigación y posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UAQ le agradezco los apoyos y becas recibidas durante mi maestría.

Por ultimo me gustaría agradecer a mi directora de tesis la Dra. María de la Luz Pérez Rea y a mis sinodales, el Dr. Jaime Moisés Horta Rangel, M.I. Rubén Ramírez Jiménez y al coordinador del programa el Dr. José Luis Reyes Araiza por su tiempo y dedicación para corregir y guiarme en mi tesis.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	III
SUMMARY O ABSTRACT	IV
DEDICATORIAS	V
AGRADECIMIENTOS	VIII
TABLA DE CONTENIDOS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE ECUACIONES	XVIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES	6
3. HIPÓTESIS	12
3.1 VARIABLES.....	12
4. OBJETIVOS	13
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	14
5.1 CEMENTO.....	14
5.1.1 CEMENTO PORTLAND.....	14
5.2 AGREGADOS PÉTREOS (FINOS Y GRUESOS).....	15
5.3 AGUA.....	15
5.4 GENERALIDADES DEL CONCRETO COMÚN, CONCRETO HIDRÁULICO Y CONCRETO ARMADO.....	15
5.5 FIBRAS DE CELULOSA.....	16
5.5.1 ALGODÓN.....	19

5.5.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALGODÓN.....	19
5.5.2.1 MICRONAIRE DE ALGODÓN.....	19
5.5.2.2 LONGITUD DE FIBRA DE ALGODÓN.....	19
5.5.2.3 FUERZA DE FIBRA DE ALGODÓN.....	19
5.5.2.4 ABSORCIÓN Y RETENCIÓN DE HUMEDAD.....	20
5.5.3 MORFOLOGÍA Y QUÍMICA DEL ALGODÓN.....	20
5.5.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS DE ALGODÓN.....	22
5.5.5 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS FIBRAS DE ALGODÓN EN COMBINACIÓN CON EL CONCRETO.....	23
5.6 PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS PREVIOS.....	24
6. METODOLOGÍA.....	27
6.1 OBTENCIÓN DE MATERIALES ADECUADOS PARA MEZCLA DE CONCRETO.....	27
6.2 MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PÉTREOS.....	29
6.2.1 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS PÉTREOS.....	31
6.2.2 MASA VOLUMÉTRICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	32
6.2.3 PARTÍCULAS MÁS FINAS QUE LA MALLA N°200 (0.075 MM) EN LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	34
6.2.4 RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DEL AGREGADO GRUESO MEDIANTE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.....	35
6.3 EVALUACIÓN Y PREPARACIÓN DE FIBRAS TEXTILES NATURALES DE ALGODÓN.....	36
6.4 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CON FIBRAS.....	39
6.5 PREPARACIÓN DE PROBETAS/ESPECÍMENES.....	40
6.6 REVENIMIENTO DEL CONCRETO FRESCO.....	44
6.7 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL SIMPLE.....	45
6.8 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS RESULTADOS.....	46
7. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES.....	47
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
8.1 ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS.....	49
8.2 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS PÉTREOS.....	49
8.2.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	49

8.3 PESO VOLUMÉTRICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	51
8.4 PARTÍCULAS MÁS FINAS QUE LA MALLA N°200 (0.075 MM) EN LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	51
8.5 RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DEL AGREGADO GRUESO MEDIANTE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.....	52
8.6 DENSIDAD REAL DE LOS AGREGADOS GRUESOS.....	52
8.7 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	52
8.8 CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	53
8.9 DISEÑO DE MEZCLA DE LA MEZCLA DE CONCRETO.....	53
8.10 REVENIMIENTO DEL CONCRETO FRESCO.....	56
8.11 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL SIMPLE.....	56
8.12 TIPOS DE FALLAS EN LOS CILINDROS DE CONCRETO.....	62
8.13 DISCUSIÓN.....	64
9. CONCLUSIONES.....	68
10. BIBLIOGRAFÍA O REFERENCIAS.....	71
11. ANEXOS.....	78
ANEXO1. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO MODIFICADO CON FIBRAS DE ALGODÓN.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de algunas fibras naturales (Venkatarajan, 2021).....	17
Tabla 2. Propiedades mecánicas de algunas fibras naturales (Venkatarajan, 2021).....	17
Tabla 3. Factores que afectan las propiedades de las fibras naturales (ACI 544.1R-96, 2002).....	18
Tabla 4. Fortalezas de fibra de celulosa (Bazán, 2020).....	18
Tabla 5. Grado de polimerización y cristalinidad de las fibras de celulosa (Cotton Inc, 2022).....	21
Tabla 6. Resistencias secas y húmedas de las fibras (g/tex) (Cotton Inc, 2022).....	22
Tabla 7. Composición de cada componente de las fibras de algodón de desecho (Peña-Pichardo, 2018).....	22
Tabla 8. Propiedades mecánicas de las fibras de algodón de desecho (Peña-Pichardo, 2018).....	23
Tabla 9. Proporciones para mezcla de concreto (Singh, 2020).....	24
Tabla 10. Combinaciones, días de curado y especímenes para cada ensayo.....	40
Tabla 11. Análisis Granulométrico de la grava.....	49
Tabla 12. Análisis Granulométrico de la arena.....	50
Tabla 13. Peso volumétrico del agregado fino y grueso mediante compactación por varilla.....	51
Tabla 14. Partículas más finas que la malla N°200.....	51
Tabla 15. Degradación del agregado grueso.....	52
Tabla 16. Densidad real del agregado fino.....	52

Tabla 17. Densidad real del agregado grueso.....	52
Tabla 18. Capacidad de absorción del agregado fino.....	52
Tabla 19. Capacidad de absorción del agregado grueso.....	53
Tabla 20. Contenido de humedad del agregado fino.....	53
Tabla 21. Contenido de humedad del agregado grueso.....	53
Tabla 22. Datos técnicos del material para la mezcla de concreto.....	54
Tabla 23. Proporcionamiento del material por metro cubico sin corrección por humedad y absorción.....	54
Tabla 24. Proporcionamiento del material por metro cubico con corrección por humedad y absorción.....	55
Tabla 25. Características de los especímenes para la realización de la mezcla de concreto.....	55
Tabla 26. Proporción del material por cilindro de concreto.....	55
Tabla 27. Proporcionamiento del algodón para los cilindros del concreto.....	56
Tabla 28. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto con fibras de algodón a los 7 días.....	57
Tabla 29. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto con fibras de algodón a los 14 días.....	58
Tabla 30. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto con fibras de algodón a los 28 días.....	59
Tabla A.1.1. Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado (American Concrete Institute).....	79

Tabla A.1.2. Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto (American Concrete Institute).....	79
Tabla A.1.3. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto (American Concrete Institute).....	80
Tabla A.1.4. Datos técnicos del material para la mezcla de concreto.....	81
Tabla A.1.5. Proporcionamiento del material por metro cubico sin corrección por humedad y absorción.....	83
Tabla A.1.6. Proporcionamiento del material por metro cubico con corrección por humedad y absorción.....	83
Tabla A.1.7. Cantidad de fibras de algodón en la mezcla de concreto.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las fibras de celulosa natural (Venkatarajan, 2021).....	16
Figura 2. Estructura química de la celulosa de algodón (Cotton Inc, 2022).....	20
Figura 3. Camisa desechada por la industria textil del estado de Querétaro.....	28
Figura 4. Indicativo “100% algodón” en la ropa desechada.....	28
Figura 5. Ropa desechada por la industria textil del estado de Querétaro.....	28
Figura 6. Bolsas de ropa desechada previa a la obtención de las fibras.....	29
Figura 7. Agregados pétreos almacenados.....	30
Figura 8. Cuarteo del agregado grueso.....	30
Figura 9. Cuarteo del agregado fino.....	30
Figura 10. Bolsas con los agregados pétreos.....	31
Figura 11. Material utilizado en la granulometría.....	32
Figura 12. Muestra representativa para ser cribada.....	32
Figura 13. Muestra de grava.....	33
Figura 14. Muestra en horno a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$	33
Figura 15. Computación del agregado grueso mediante varillado.....	34
Figura 16. Material que paso la malla no.200.....	35
Figura 17. Finos obtenidos.....	35
Figura 18. Máquina de los ángeles.....	36
Figura 19. Sucursal de la Industria Green Life en el estado de Querétaro.....	37
Figura 20. Maquina cortando la ropa en pedazos cuadrados homogéneos.....	37

Figura 21. Ropa desechada cortada en cuadrados aproximadamente homogéneos.....	38
Figura 22. Fibras de algodón de desecho.....	38
Figura 23. Fibras de algodón de desecho cortadas en longitudes aproximadamente de 10 mm.....	39
Figura 24. Cilindros de acero con dimensiones 10 cm de diámetro por 20 cm de alto.....	41
Figura 25. Cemento Portland CPC 30R RS utilizado.....	42
Figura 26. Equipo utilizado para realizar la mezcla de concreto.....	42
Figura 27. Revolvedora electrica utilizada.....	42
Figura 28. Material utilizado (algodón con longitud de 10 mm y arena).....	43
Figura 29. Revolvedora con 50 % del total de grava y el 50 % del total de arena, mezclándose durante 120 segundos.....	43
Figura 30. Revolvedora con 50 % del total de grava, 50 % del total de arena, 50% del total del cemento mezclado durante unos 30 segundos.....	43
Figura 31. Revolvedora con todos los materiales (grava, arena, cemento, agua y fibras de algodón).....	44
Figura 32. Cilindros de concreto dentro de los moldes.....	44
Figura 33. Medición del revenimiento.....	45
Figura 34. Maquina universal.....	46
Figura 35. Cilindro de concreto colocado en la maquina universal.....	46
Figura 36. Diagrama de granulometría agregado grueso.....	50
Figura 37. Diagrama de granulometría agregado fino.....	51

Figura 38. Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto con 0% de incorporación de algodón.....	59
Figura 39. Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto con 0.5% de incorporación de algodón.....	60
Figura 40. Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto con 1% de incorporación de algodón.....	60
Figura 41. Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto con 5% de incorporación de algodón.....	61
Figura 42. Comparación de la resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto con 0.0, 0.5, 1.0 y 5.0% de incorporación de algodón.....	61
Figura 43. Comparación de fallas a compresión simple de cilindros de concreto con 0.0 y 0.5% de incorporación de algodón.....	62
Figura 44. Comparación de fallas a compresión simple de cilindros de concreto con 0.0 y 1.0 % de incorporación de algodón.....	62
Figura 45. Comparación de fallas a compresión simple de cilindros de concreto con 0.0 y 5.0% de incorporación de algodón.....	63
Figura 46. Comparación de cilindro de concreto con sin fibras antes haberse realizado prueba de compresión con cilindro de concreto con 5.0% de fibras después de realizarse prueba de compresión.....	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

1. Resistencia a la compresión simple, (MPA).....	45
---	----

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción o planteamiento del problema

En la actualidad existe un gran problema medio ambiental y una creciente preocupación por el daño ecológico ocasionado por los residuos de la obra civil y de la industria textil, ocasionando una fuerte necesidad de crear materiales capaces de reutilizar, reusar y reciclar estos residuos, siendo también capaces de tener mejores propiedades mecánicas.

Los materiales compuestos tienen buenas características, pueden utilizarse en diversas aplicaciones y utilizan óptimamente los recursos económicos y ecológicos.

Las fibras naturales al estar disponibles en grandes cantidades, ser económicas, renovables, biodegradables y en muchos casos reutilizables, podrían ayudar a crear materiales compuestos adecuados para la industria de la construcción.

El consumo mundial de prendas de vestir, así como la cantidad de desperdicio de las prendas desechadas, están en constante crecimiento y la tendencia actual de la moda rápida estimula a las personas a comprar más ropa y deshacerse de ella en un período de tiempo más corto; esto da como resultado un alto volumen de eliminación de desechos textiles (Moazzem, 2021).

En Australia, alrededor de 501 millones de kg de textiles y prendas de vestir desechados terminan en vertederos anualmente. A nivel mundial, alrededor del 87% del total de textiles desechados se elimina a través de vertederos o incineración (The Guardian, 2019).

Hawley (2009), comentó que más del 90% de los residuos de ropa que se desechan en los vertederos pueden ser reutilizables o reciclables, además los textiles son casi 100% reciclables y que en el 2003, se proyectó que habría un aumento del 3-5% en el consumo mundial de fibra, lo que equivale a 2 millones de toneladas (1,8 millones de toneladas métricas) por año.

La Oficina de Economía de la Fibra informó que el consumo per cápita de fibra en los Estados Unidos es de 38 kg con más de 18 kg por cápita se descarta por año. Además, un informe de la Cámara de Comercio de China (Fiber Economy Office, 2015) muestra que el consumo de fibra de China ha aumentado en 5 kg en los últimos 5 años a una tasa de consumo anual de 13 kg.

La industria de reciclaje de textiles de EE. UU. desvía anualmente aproximadamente 1,1 millones de toneladas de desechos. Estas cantidades representan sólo alrededor del 30% del total de residuos textiles anuales (Hawley, 2009).

De acuerdo con lo reportado por diferentes investigadores, (Peña-Pichardo (2018), Singh (2020), Xu (2020)) las propiedades mecánicas del concreto se ven mejoradas mediante el empleo de fibras textiles naturales de algodón y es por esto que se han usado combinados. Entendiendo que la celulosa ha mostrado algunas atractivas mejoras en la mezcla de concreto, también ha mostrado deficiencias como la reducción de la resistencia a la tensión por rotura.

Al revisar las referencias citadas, podemos notar que la procedencia de cada ensayo desarrollado para evaluar las propiedades del concreto es totalmente diferente. Los ensayos estudiados no han sido ejecutados de la misma manera, se han utilizado concretos con distintas resistencias mecánicas, porcentajes de incorporación de fibras y longitudes promedio de fibras distintas. Además, el diseño de mezcla y procedimiento de colado, curado y fraguado varían con cada una de las investigaciones, lo que provoca que los resultados de las resistencias mecánicas del concreto reforzado con fibras sean muy diferentes.

Algunos otros problemas que es importante mencionar y que presentan las fibras de algodón son:

Las fibras vegetales naturales son más sostenibles que otras fibras en general. Sin embargo, el algodón, una fibra natural vegetal, se considera menos sostenible debido a su alto consumo de agua durante su cultivo (Martín, 2020); sin embargo, este problema se

resuelve al utilizar algodón proveniente de la ropa desechada y que causa gran contaminación.

Los ensayos indican que la sustitución parcial de cemento por fibras naturales no es una solución adecuada. Las fibras no forman parte de la matriz, sino que actúan como refuerzo. Por lo tanto, para abordar este problema, no se eligió sustituir el cemento, ya que para una sustitución parcial, se debe incorporar un material que forme parte de la matriz.

Con el fin de obtener conclusiones precisas y consistentes sobre la resistencia mecánica del concreto reforzado con fibras de algodón, se analizarán los porcentajes de mejora resultantes de comparar los valores de resistencia del concreto sin fibras en cada prueba, con los valores de resistencia del concreto reforzado con fibra.

De esta manera se puede notar que los principales problemas y variables que se presentarán en nuestra investigación son:

La longitud promedio de fibra de algodón, porcentaje ideal en peso de incorporación de fibras de algodón, relación agua/cemento, procedimiento de realización de mezcla, curado y fraguado del concreto y la resistencia a la compresión axial simple.

Por ello este trabajo pretende utilizar fibras textiles de algodón proveniente de la ropa desechada por la industria textil para tratar de proporcionar evidencia, ofrecer una visión alternativa, reutilizar y mejorar las deficiencias presentes en la trabajabilidad que provoca reducción de las resistencias cuando se usa la incorporación del algodón de esa manera en el concreto y con ello obtener un concreto compuesto con propiedades mecánicas mejoradas.

1.2 Justificación

La creciente preocupación del deterioro del medio ambiente, nos hace notar que los residuos provenientes de la industria textil provocan grandes afectaciones al lugar donde se depositan y al ecosistema en general. Aslam (2020), comentó que la urbanización masiva ha impulsado la construcción infinita tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Teniendo como resultado impactos desfavorables, fatales en la sostenibilidad urbana, la supervivencia en términos de valores económicos y seguridad ambiental. Además, el veloz incremento de la población mundial, genera que tanto la industria de la construcción como la textil, tenga como consecuencia un aumento en la cantidad de residuos y desperdicios que se generan en todo el mundo. La creación desmesurada de estos residuos se ha reconocido como uno de los principales problemas en estas industrias, debido a los impactos en el ecosistema. Kabirifar (2020), investigó que un total del 35% de los desperdicios son depositados en vertederos a nivel mundial, por lo tanto, una gestión eficaz de los residuos es crucial para minimizar los impactos perjudiciales al ecosistema. Tanto en la industria de la construcción como en la industria textil, los materiales que podrían ser los más utilizados son el concreto y el algodón. Por ello, una de las estrategias que podría ayudar a disminuir este gran problema es la de reutilizar, reciclar y reducir.

Desde décadas pasadas y en la actualidad continua en aumento la necesidad de nuevos materiales con propiedades físicas, químicas y mecánicas más eficientes capaces de sustituir y mejorar materiales comúnmente utilizados, para reducir la contaminación ambiental. Según Shahinur (2020), los materiales compuestos se han convertido en un tema de investigación importante debido a sus propiedades versátiles, sus aplicaciones y la utilización económica de los recursos.

Un material con la incorporación de fibra sintética normalmente tiene mejores características en comparación con los materiales reforzados con fibras naturales. Sin embargo, Venkatarajan (2021), comenta que aunque las fibras naturales no son tan fuertes como las fibras sintéticas, están disponibles en abundancia, son de baja densidad, de bajo costo, renovables y biodegradables. Además, debido al costoso precio de los materiales

fortalecidos con fibras sintéticas y las inquietudes ambientales, las industrias demandan mejores materiales con una alta relación resistencia / peso. Petroudy (2017), expone que la fibra natural tiene propiedades intrínsecas: alta resistencia específica y rigidez específica.

La industria de la construcción es uno de los mayores consumidores de materiales compuestos, y los compuestos de fibra natural se han identificado como una alternativa potencial de bajo impacto a otros compuestos sintéticos (Fan, 2017).

Según Singh (2020), los autores mencionan que las fibras de celulosa pueden reducir la fisuración en un 85% más que el concreto normal. Las fibras de celulosa tienen una alta absorción de agua del 85% que mejora el curado interno. Las fibras de celulosa en el concreto aumentan la durabilidad a la congelación-descongelación y proporcionan una superficie de acabado agradable. Además, son adecuados para plantas de concreto premezclado, lo que los hace fáciles de usar en la construcción de concreto de pequeña a gran escala y también, Xu (2020) comenta que el concreto con fibra de celulosa mejora la resistencia a la compresión axial del concreto.

Considerando que el concreto común posee debilidades, se fractura al ser sometido a esfuerzos que superan su límite elástico siendo un material frágil, y que la utilización de fibras mejora las propiedades mecánicas del concreto; sabiendo que los residuos textiles generan gran contaminación ambiental, y considerando (como se ha reportado) que la incorporación de celulosa en el concreto ha mostrado excelentes resultados en la mejora de las propiedades mecánicas; se puede utilizar este producto de desecho para la elaboración de mezclas ecológicas y competitivas utilizables en la industria de la construcción de una manera viable. En este trabajo se utilizarán fibras de algodón de desecho textil, para tratar de mejorar o controlar estas deficiencias del concreto común. Las fibras de algodón son la forma más pura de la celulosa en aproximadamente un 90%.

2. ANTECEDENTES

Actualmente el concreto es uno de los materiales más estudiados. Por su trabajabilidad, moldeabilidad, resistencia a la compresión y durabilidad, es posible su uso en muy variadas construcciones como puentes, carreteras, edificios y obras hidráulicas, sin embargo cada vez es más difícil ignorar que la construcción genera residuos. Dada su afinidad para la combinación con otros materiales, se han realizado diversas mezclas entre el concreto y otros materiales para tratar de disminuir la contaminación generada y aprovechar materiales provenientes de desechos, residuos de la construcción y demolición (RCD).

La resistencia a la compresión del concreto es una de las propiedades más importantes que se utilizan en el diseño estructural y el control de calidad del concreto. Así mismo, la trabajabilidad es un factor muy importante para la colocación y formación de los elementos estructurales. Tanto la resistencia como la trabajabilidad están directamente relacionadas con la relación agua-cemento; además de otros factores. Según Sokhansefat (2019), las medidas de trabajabilidad mostraron segregación o mala trabajabilidad en las mezclas con más de 20% de agregados gruesos retenidos en un solo tamiz. Esto sugiere que la separación del agregado de mayor tamaño desempeña una función relevante en la trabajabilidad del concreto recién preparado.

En la investigación de Castillo (2020), se estudió la inclusión de un árido artificial fabricado a partir de residuos plásticos para desarrollar un concreto ligero. Los resultados indicaron que los áridos plásticos fabricados mediante procesos de trituración, peletización y extrusión pueden utilizarse para obtener un concreto ligero con propiedades de resistencia a la compresión relativamente buenas de 20 MPa a los 28 días y pudiendo ser utilizada para aplicaciones tales como fachadas no estructurales y barreras de sonido para carreteras.

Según Perera (2019), la sustitución de materiales de construcción tradicionales por materiales reciclados es una solución sostenible que mitiga las preocupaciones sobre los vertederos y reduce la necesidad de materiales de cantera vírgenes. En su investigación, se llevó a cabo una evaluación de las propiedades geotécnicas y geoambientales de los

desechos plásticos de tereftalato de polietileno (PET), con agregados de concreto reciclado y ladrillo triturado que son dos componentes principales de los materiales de desecho de construcción. Los resultados de las pruebas indicaron que las mezclas de PET se desempeñaron satisfactoriamente a una densidad seca máxima del 98% y a su contenido de humedad óptimo bajo el esfuerzo de compactación Proctor modificado.

Los materiales que provienen de desechos y residuos generados por la construcción y demolición provocan gran contaminación y aunque últimamente se ha estudiado su reuso en materiales compuestos no se ha logrado gran avance.

Sormunen (2019), se centra en investigar el reuso de papel, madera, metal, cartón, vidrio, lana mineral, yeso, concreto y cerámica reciclados como componentes en bruto de materiales compuestos. Sormunen comenta que la mayor parte de la investigación existente está relacionada con materiales de construcción y demolición reciclados con termoplásticos combinados con fibras a base de celulosa. Sin embargo, También se han utilizado lana mineral y yeso. El uso de materiales reciclados como matriz, relleno o fibra tiende a resultar en la producción de materiales con propiedades mecánicas más débiles en comparación con los materiales vírgenes. El autor también comenta que se descubrió que los materiales de desecho de construcción más prometedores para el reciclaje como compuestos son los termoplásticos, la lana mineral, el yeso, la madera y la celulosa.

Ali (2020), estudió el desempeño económico y ambiental del pavimento de concreto armado con fibra de vidrio (GF) con y sin áridos residuales de concreto (CWA). Indica en los resultados que las pruebas de flexión revelaron que los hormigones CWA con un pequeño porcentaje de GF (es decir, 0,25%) pueden producir una mejor resistencia a la flexión, tenacidad y resistencia residual que el hormigón simple convencional.

Hasani (2021), realizó pruebas experimentales para investigar los efectos del acero y las fibras sintéticas en el desempeño del recubrimiento de concreto. Utilizó fibras de polipropileno sintético modificado (MSP). Los resultados muestran que el uso de MSP en revestimientos de concreto aumenta la resistencia a la compresión y flexión, la

resistencia residual, la ductilidad y la absorción de energía, y reduce la resistencia del concreto contra los ciclos de congelación y descongelación.

Silva (2020), se centra en la evaluación de fibras de yute y sisal como refuerzo de una matriz de geopolímero producido a partir de residuos de polvo de ladrillo de arcilla cocida (FCBP). Los resultados de sus pruebas de tracción por compresión y división mostraron la existencia de un contenido óptimo de fibra que depende del tipo de fibra para alcanzar la resistencia máxima, mientras que los resultados de la prueba de flexión indicaron una relación lineal entre la resistencia a la flexión y el contenido de fibra.

Se conoce que a inicios del siglo XX nacen las primeras combinaciones de concreto con fibras de asbesto o amianto, conocido como fibrocemento, el cual modificó en gran medida la construcción, sin embargo, los daños a la salud producidos por el fibrocemento, provocaron que se buscaran otros tipos de fibras que sirvieran de remplazo. Karjalainen (1997), comentó que la exposición al asbesto aumenta el riesgo de cáncer de pulmón y también causa enfermedades como asbestosis, mesotelioma maligno y pleuresía exudativa benigna. La exposición no solo afecta a quienes usan productos de asbesto, sino también a quienes trabajan en las proximidades.

Al inicio se utilizó la celulosa como fibra vegetal, y posteriormente aparecieron las fibras sintéticas que debido a la facilidad de fabricación generó que las fibras vegetales quedaran menos utilizadas. Una considerable cantidad de literatura científica se ha inclinado por las fibras con plásticos, carbón y vidrio (Ali 2020, Sormunen 2019, Hasani 2021, Silva 2020).

Según Madhavi (2021), el crecimiento sostenible de la industria de la construcción depende principalmente del uso de materiales respetuosos con el medio ambiente. Su estudio se centra en las propiedades mecánicas del concreto reforzado externamente con fibras naturales y sintéticas. Los resultados indicaron que los polímeros reforzados con fibra de yute natural están a la par con las fibras sintéticas de polipropileno cuando se utilizan como láminas de refuerzo externas para cilindros y prismas de concreto.

Las fibras naturales o vegetales se han usado para reforzar el concreto en las construcciones pudiéndose obtener las fibras naturales por medio del tallo u hojas de plantas. Sin embargo, para ser utilizadas como un potencial refuerzo en el concreto, se necesita analizar sus propiedades mecánicas. Aziz (1981), mostró que la trabajabilidad afecta las propiedades del concreto reforzado con fibras naturales, tanto en estado fresco como endurecido y Savastano Jr. (2016), indicó que las aplicaciones generales de fibras vegetales como elementos de refuerzo están relacionadas con matrices tanto poliméricas como cementosas, utilizando eficazmente las fibras naturales extraídas de plantas como el sisal, la cáscara de coco, el bambú, el bagazo de caña de azúcar, el curauá, el yute y plátano para la fabricación del concreto.

Bazán (2020), llevó a cabo un estudio sobre el efecto de la fibra de celulosa en el concreto de resistencia $f'c=210$ kg/cm² en su estado fresco y endurecido. Realizó ensayos de fuerza de flexión y tracción con la adición de tres diferentes dosificaciones: 0.5, 1.0 y 1.5 kg, sustituyendo un pequeño porcentaje de agregado tanto fino como grueso. Esto permitió evaluar y comparar el aumento en la resistencia en comparación con un concreto estándar (sin fibra). Los resultados de los ensayos indicaron que la resistencia a la tracción y flexión del concreto con fibra de celulosa aumentó en un 8.92, 24.07 y 7.56%, respectivamente, es decir aumentó de manera considerable la resistencia del concreto con respecto a la muestra patrón. Los principales problemas que se presentaron fueron respecto a la trabajabilidad y a la sustitución parcial de los agregados que ocasionó disminución de resistencia.

El algodón siendo un textil natural es usado como aislante térmico en la construcción por sus propiedades físico-mecánicas y siendo éste la forma natural más pura de la celulosa en aproximadamente un 90%, se han retomado y realizado diversos estudios para su aplicación (Batuer 2020, Aydın 2018, Singh 2020, Venkatarajan 2021).

Según Batuer (2020), el algodón usado es un material textil con altas propiedades mecánicas. Los resultados de su simulación indicaron que la resistencia a la rotura del hilo de algodón dependía principalmente de la resistencia mecánica de la celulosa amorfa.

Aydin (2018), investigó algunas propiedades físicas y mecánicas de los brotes de algodón (*Gossypium hirsutum*L). Las muestras fueron recolectadas de una parcela y las sometieron a una prueba de cizallamiento utilizando una máquina universal en el laboratorio. Aydin determinó el diámetro promedio de los brotes, la fuerza de corte, el contenido de agua y el esfuerzo de corte máximo.

Singh (2020), comentó que la formación de grietas bajo fuerzas de tensión es una debilidad importante del concreto. Las grietas hacen que el concreto sea vulnerable a ambientes extremos debido a la entrada de agua y compuestos dañinos del ambiente circundante. Su estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial de autocuración y la permeabilidad al agua del concreto armado con fibra de celulosa (CeFRC).

Saurabh (2014), investigó el efecto de incorporar fibra de algodón y humo de sílice en el comportamiento del concreto ante la resistencia a flexión y compresión. Se llevaron a cabo pruebas con diferentes cantidades de fibra de algodón, que oscilaron entre un 0,2% y un 0,4% del volumen total de la muestra, con una longitud de tres centímetros. También se sustituyó la adición de cemento por distintos porcentajes de humo de sílice, cantidades que variaron entre el 3% y el 12%. Los resultados del ensayo demostraron que solo con la incorporación de fibra de algodón de un 0,4% del volumen total, la resistencia a compresión mejoró en un 8% en comparación con la muestra sin refuerzo; sin embargo, presentó problemas de trabajabilidad.

Venkatarajan (2021), explicó que durante las últimas décadas, se ha manifestado un gran interés sobre los posibles usos de las fibras de celulosa natural para reemplazar las fibras sintéticas como el vidrio, la aramida y el carbono, en compuestos de matriz polimérica. Su trabajo fue presentado con el objetivo de desarrollar nuevos compuestos poliméricos reforzados con fibra de celulosa natural que tengan un mejor desempeño.

Martín (2020), realizó una comparación entre varias fibras naturales para su uso como refuerzo en concreto. Los resultados indicaron que las fibras de algodón y lino contienen un alto porcentaje de celulosa, lo que sugiere que podrían ofrecer mayor resistencia a la tracción. Por otro lado, las fibras de sisal, algodón y cáñamo presentarían un

valor de mejora menor que el de la fibra de vidrio, pero mayor que el de la fibra de acero en términos de esfuerzos de compresión. No obstante, se señaló que las fibras de algodón y lino podrían tener problemas de trabajabilidad mayores que las otras opciones.

Peña-Pichardo (2018), encontró que el concreto de poliéster con residuos de fibras de algodón con un tratamiento por irradiación gamma, tenía como resultados para la resistencia a la flexión el porcentaje de aumento en resistencia fue muy bajo inferior al 7% producto de los problemas de trabajabilidad.

Valdivieso (2016), realizó una comparación del comportamiento de concretos modificado con lana de borrego y fibras de algodón, como una alternativa sostenible para el aprovechamiento de recursos. Añadió un porcentaje de volumen del 15% y 30% de lana y algodón, respectivamente. Las pruebas de resistencia se realizaron a los 7, 14 y 28 días correspondientes. Concluyó que existe una relación directa entre la cantidad de fibra natural y la resistencia a la rotura por compresión y que ésta depende del tipo de fibra, la cantidad y el tratamiento que se da a la fibra. También se determinó que a mayor volumen de fibra en el concreto, disminuye su resistencia debido principalmente a la reducción de la matriz cementante y a la trabajabilidad.

Las investigaciones que se han realizado hasta el momento indican que la combinación de las fibras textiles naturales de algodón con concreto podría llegar a mejorar en gran medida el comportamiento mecánico de un concreto, por lo que sería de gran interés adentrarse y profundizar con una investigación del tema.

3. HIPÓTESIS

La modificación de la mezcla de concreto, mediante la incorporación de 0.5, 1.0 y 5.0% de fibras textiles de algodón proveniente de la ropa desechada por la industria textilera, permitirá reutilizar este material procedente de desecho; además, el concreto mantendrá la propiedad mecánica de resistencia a la compresión axial simple y no demeritará la resistencia a la tensión diametral al mejorarse la trabajabilidad, por lo que la combinación podrá ser utilizada como concreto convencional.

3.1 Variables

- Independientes: Proporción por peso de incorporación de fibras textiles de algodón de desecho.
- Dependientes: Propiedades físico y mecánicas del concreto (resistencia a la compresión axial simple).

4. OBJETIVOS

4.1 *Objetivo general*

Establecer una metodología de diseño de un concreto que a través de una adecuada manera de incorporación de las fibras de algodón, una dosificación y un mezclado adecuados puedan ayudar a mejorar la trabajabilidad de la mezcla y de esta manera se permita el reuso de fibras textiles de algodón, procedente de la ropa desechada por la industria textil, sin detrimento en sus propiedades físicas y mecánicas para su uso como concreto convencional.

4.2 *Objetivos específicos*

- Determinar la factibilidad del uso de material de desecho de algodón de industria textil para su uso como concreto convencional.
- Encontrar la cantidad de algodón que puede ser añadida a la mezcla sin que afecte las propiedades mecánicas mínimas para el uso en un concreto convencional.
- Establecer las condiciones adecuadas para la elaboración de la mezcla de los materiales que integran el concreto modificado con algodón de desecho de la industria textil.

5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

5.1 *Cemento*

De acuerdo con el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA, 2021), el cemento es un aglutinante hidráulico, lo que significa que es un material inorgánico molido finamente que, al mezclarse con agua, crea una pasta que se endurece a través de reacciones y procesos de hidratación. Una vez endurecido, el cemento mantiene su resistencia y estabilidad incluso en presencia de agua. (IECA, 2021).

El cemento hidráulico es un tipo de cemento que tiene la capacidad de fraguar y endurecerse mediante una reacción química con el agua, conocida como hidratación, y que puede llevarse a cabo incluso debajo del agua. Esta reacción de hidratación da lugar a la formación de una masa sólida y resistente. El cemento hidráulico más utilizado en la actualidad es el conocido como "cemento Portland" (Mather y Ozyildirim, 2004).

5.1.1 *Cemento portland*

El cemento Portland es un conglomerante hidráulico que, al ser hidratado, se solidifica y endurece. Se obtiene a través de un proceso industrial que consiste en pulverizar una mezcla fría de arcilla y materiales calcáreos, previamente sometidos a cocción, hasta obtener un grado de finura específico, que se conoce como clinker Portland. Para regular el tiempo de fraguado, se le agrega sulfato de calcio en forma de anhidrita, yeso o hemihidrato (N-CMT-2-02-001/02, 2002), (NMX-C-414-ONNCCE-1999, 1999).

El Clinker se enfría y muele hasta obtener un polvo muy fino, es conocido como cemento Portland. Durante el proceso de molienda, se agrega una cantidad del 2% al 5% en peso de sulfato de calcio para controlar las propiedades de fraguado (Mather y Ozyildirim, 2004).

El cemento portland consta de cuatro fases iniciales: silicato dicálcico, silicato de calcio, ferroaluminato tetracálcico y aluminato tricálcico. La resistencia y las propiedades

del concreto dependen principalmente de la hidratación de los silicatos tricálcico y dicálcico (Mather y Ozyildirim, 2004).

5.2 *Agregados pétreos (finos y gruesos)*

Los agregados son materiales pétreos naturales seleccionados y sometidos a tratamientos, como desintegración, trituración, cribado o lavado, o producidos por calcinación, expansión o fusión. Estos materiales se mezclan con cemento Portland y agua para formar el concreto hidráulico (N-CMT-2-02-002/02, 2002).

El agregado fino se compone de arena natural que ha sido seleccionada o triturada y cribada para obtener partículas con un tamaño que oscila entre los (75) micrómetros (malla N°200) y los (4.75) milímetros (malla N°4), pudiendo contener finos de menor tamaño (N-CMT-2-02-002/02, 2002).

El agregado grueso puede estar compuesto por grava natural seleccionada o bien, obtenerse a través de la trituración, cribado o partir de escorias de altos hornos enfriadas al aire. En cuanto a las partículas que lo conforman, su tamaño máximo suele oscilar entre 19 mm (malla 3/4") y 75 mm (malla 3"). Es importante mencionar que este material puede contener fragmentos de roca y arena (N-CMT-2-02-002/02, 2002).

5.3 *Agua.*

El agua es un componente esencial para generar las reacciones químicas en los cementantes del concreto hidráulico o el mortero de cemento Portland. Es posible utilizar agua potable, que es aquella que por sus características químicas y físicas resulta apta para el consumo humano (N-CMT-2-02-003/02, 2002).

5.4 *Generalidades del concreto común, concreto hidráulico y concreto armado*

El concreto es un material utilizado como elemento estructural, compuesto por agentes reforzadores. Está constituido por un medio aglutinante que se encuentra inmerso en un agregado fino, típicamente arena, y en un agregado grueso, típicamente grava. (Mather and Ozyildirim, 2004).

Las propiedades mecánicas y el endurecimiento del concreto son el resultado de un proceso químico que se produce cuando el cemento hidráulico se mezcla con agua para formar una pasta. Durante este proceso, las fases del cemento reaccionan con el agua y forman una estructura cementante de desarrollo lento que se adhiere a las partículas finas y gruesas y las aglutina para crear un concreto endurecido (Mather and Ozyildirim, 2004).

El concreto hidráulico es una mezcla moldeable que se forma al combinar cemento Portland, agregados pétreos, agua y, en algunas ocasiones, aditivos. Al fraguar, esta mezcla se convierte en un elemento rígido y resistente (N-CMT-2-02-005/04, 2004).

El concreto armado es una especie de material compuesto por concreto, que es el cuerpo principal o matriz del mismo, y refuerzo de acero que es una especie de metal dúctil y su elemento principal es el hierro, posee alta resistencia a la tensión (Guo, 2014).

5.5 Fibras de celulosa

Las fibras de celulosa natural pueden derivarse de diversos recursos biológicos como animales, aves, vegetales o minerales. Se obtienen de diversas partes de las verduras y plantas y se pueden clasificar como se muestra en la Fig.1 (Venkatarajan, 2021).

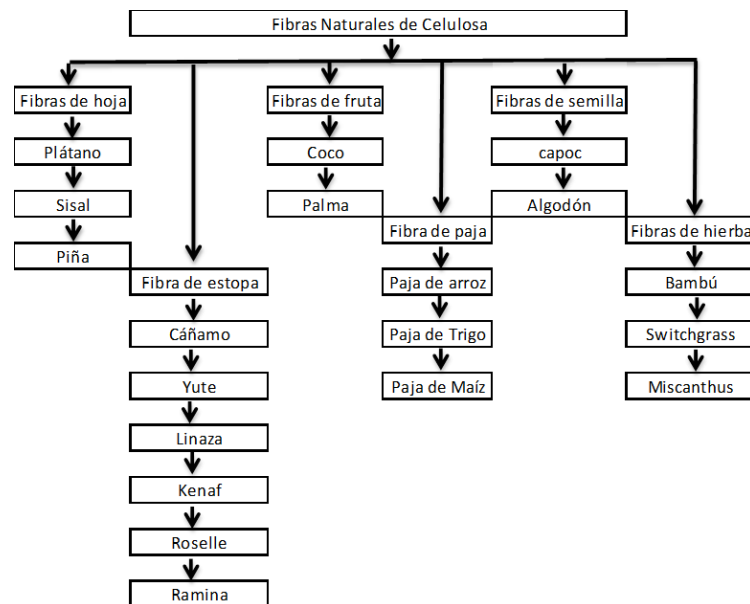


Figura 1. Clasificación de las fibras de celulosa natural (Venkatarajan, 2021).

La composición química, la localidad en la que se cultiva, la edad de la planta y los métodos de extracción son las que deciden las propiedades físicas y mecánicas de las fibras de celulosa naturales. La composición química típica de varias fibras de celulosa natural se da en la Tabla 1 y en la Tabla 2 se muestran las propiedades mecánicas de algunas fibras de celulosa natural (Venkatarajan, 2021).

Tabla 1. Composición química de algunas fibras naturales (Venkatarajan, 2021).

Fibras	Celulosa (wt%)	Hemicelulosa (wt%)	Lignin (wt%)	Pectina (wt%)	Ceras (wt%)	Contenido de humedad (wt%)
Yute	60.9-72.1	14.2-20.3	12-13	0.2	0.5	12.7-13.6
Linaza	71	18.6-20.6	2.2	2.3	1.7	8-12
Cáñamo	70-74	17.9-22.4	3.7-5.7	0.9	0.8	6.2-12
Sisal	66-78	10-14	10-14	10	2	10-22
Kenaf	45-57	21.5	8-13	3-5	-	-
Ramina	68.6-76.2	13.1-16.7	0.6-0.7	1.9	0.3	7.5-17
Plátano	63-64	10	5	-	-	10-12
Hoja de piña	70-82	-	5-12.7	-	-	11.8
Maíz	32-43	0.15-0.25	40-45	3-4	-	8
Algodón	85-90	5.7	-	0-1	0.6	7.85-8.5

Tabla 2. Propiedades mecánicas de algunas fibras naturales (Venkatarajan, 2021).

Fibras	Densidad (g/cm ³)	Alargamiento a la rotura (%)	Fuerza de tensión (Mpa)	Módulo de Young (Gpa)
Yute	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Kneaf	-	-	295	22
Linaza	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
Sisal	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22.0
Hemp	-	1.6	690	-
Ramina	-	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Maíz	1.2	30	175	4.0-6.0
Bamboo	1.5	3	575	27
Plátano	1.3	7	500	1.4
Bagazo	1.25	-	290	17
Algodón	1.5-1.6	7.0-8.0	287-597	5.5-12.6

Tabla 3. Factores que tienen influencia sobre las características de las fibras de origen natural. (ACI 544.1R-96, 2002)

Factores	Variables
Tipo de fibra	Bambú, sisal, madera, yute, etc.
Geometría de la fibra	Longitud, diámetro, anillos, sección
Forma de la fibra	Plegadas, espirales, monofilamento
Superficie de la fibra	Lisa, revestida
Propiedades de la matriz	Tipo de cemento, agregados y granulometría, aditivos
Diseño de la mezcla	Contenido de agua, trabajabilidad, contenido de fibra
Método de mezclado	Tipo de mezcladora, método de adicionar la fibra
Método de colocación	Vibrado tradicional, lanzado
Método de curado	Tradicional, técnicas especiales

Tabla 4. Fortalezas de fibra de celulosa (Bazán, 2020)

Fortalezas de fibra de celulosa
1.-Capacidad de absorber agua de la mezcla, ofreciendo el curado interno
2.-Absorbe el agua (hasta 85% de su peso), produciendo menos sangrado de agua en la superficie
3.-Ofrece gran capacidad de fuerza de tensión
4.-Reduce significativamente el agrietamiento por causa de cambios en temperatura
5.-Reduce hasta un 85% el desarrollo de grietas
6.-Contiene 77 millones de partículas de fibra por cada libra
7.-Fácil aplicación

5.5.1 Algodón

El algodón es la planta textil de fibra suave más significativa del mundo., tiene aproximadamente un 90% de celulosa y su cultivo es de los más antiguos. Sus especies son originarias de América tropical, Asia y África (Conacyt, 2021).

5.5.2 Propiedades físicas del algodón

En las aplicaciones de no tejidos, las tres propiedades más relevantes de la fibra de algodón son el micronaire, la longitud y la resistencia. En caso de que la apariencia visual sea relevante, también se deben tener en cuenta los neps (Cotton Inc, 2022).

5.5.2.1 Micronaire de algodón

Micronaire (MIC) es una medida que se utiliza para evaluar la finura y madurez de las fibras de algodón. Esta medida está relacionada con el diámetro de las fibras, lo que a su vez está asociado con la calidad de las capas de celulosa depositadas en la fibra. En el caso del algodón americano, el rango de micronaire típico en un año oscila entre 3,0 y 5,5 (Cotton Inc, 2022).

5.5.2.2 Longitud de fibra de algodón

La longitud de la fibra de algodón varía genéticamente, lo que resulta en una amplia variedad de longitudes de fibra en cualquier muestra de algodón. En general, la longitud de la fibra oscila entre 1,0 y 1,25 pulgadas para el algodón crudo estadounidense, y alcanza una longitud de 1,6 pulgadas para el algodón Pima. Por otro lado, las borras tienen una longitud de fibra inferior a 0,5 pulgadas (Cotton Inc, 2022).

5.5.2.3 Fuerza de fibra de algodón

Para medir la fuerza de la fibra, se necesita sujetar un manojo de fibras con un diámetro de 1/8 de pulgada entre dos juegos de mordazas y medir la fuerza necesaria para romper las fibras. El término "tex" se refiere a una unidad que indica el peso en gramos de

1.000 metros de fibra, mientras que el "denier" se refiere a una unidad que indica la masa en gramos por cada 9,000 metros de fibra.

Los resultados se expresan en gramos por tex o gramos por denier, lo que significa que la resistencia informada es la fuerza en gramos necesaria para romper un haz de fibras de un tamaño de unidad de tex (Cotton Inc, 2022).

5.5.2.4 Absorción y retención de humedad

El algodón es una fibra que tiene la capacidad de absorber agua gracias a la presencia de oxhidrilos, los cuales atraen moléculas de agua. Debido a esto, el proceso de secado del algodón es lento, ya que la humedad debe ser evaporada de la fibra. El porcentaje de humedad retenida por el algodón varía entre un 7 y 8% a temperaturas normales de entre 36.1°C y 37.2°C (Valdivieso, 2016).

5.5.3 Morfología y química del algodón

La celulosa es una macromolécula compuesta por una larga cadena de moléculas de glucosa unidas por puentes de oxígeno C-1 y C-4, y con liberación de agua. Estas unidades de anhidroglucosa están unidas en forma de beta-celobiosa, lo que hace que la anhidro-beta-celobiosa sea la unidad repetitiva en la cadena polimérica, tal y como se muestra en la (Fig. 2). El número de unidades repetidas unidas para formar el polímero de celulosa se conoce como "grado de polimerización" (Cotton Inc, 2022).

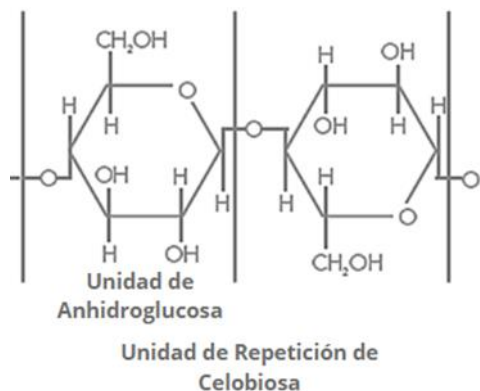


Figura 2. Estructura química de la celulosa de algodón (Cotton Inc, 2022).

La celulosa de algodón es diferente de la celulosa de madera principalmente debido a su mayor grado de polimerización y cristalinidad. La cristalinidad se refiere al empaquetamiento estrecho y paralelo de las moléculas de fibra (Fig. 2), mientras que la polimerización es un proceso químico en el que los monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se unen químicamente para formar una molécula de alto peso molecular llamada polímero, que puede ser una cadena lineal o una macromolécula tridimensional. La Tabla 5 muestra el grado promedio de polimerización y cristalinidad promedio de las fibras de celulosa de algodón, rayón viscosa y pulpa de madera. Un mayor grado de polimerización y cristalinidad se asocia con una mayor resistencia de las fibras. Las cadenas de celulosa en las fibras de algodón se mantienen en su lugar mediante enlaces de hidrógeno, que se forman entre los grupos hidroxilo de moléculas adyacentes y prevalecen en las áreas cristalinas de la fibra donde las moléculas están estrechamente empaquetadas y paralelas entre sí (Cotton Inc, 2022).

Tabla 5. Grado de polimerización y cristalinidad de las fibras de celulosa (Cotton Inc, 2022).

Fibra	Grado medio de polimerización	Cristalinidad media (%)
Algodón	9,000–15,000	73
Viscosa rayón regular	250–450	60
Alta tenacidad	500–650	-
Alto módulo húmedo	400–550	-
Pulpa de madera	600–1500	35

La capacidad del algodón para resistir aumenta normalmente con la presencia de mayor humedad. La variación en la respuesta de las fibras a la humedad se puede explicar gracias a los enlaces de hidrógeno intermoleculares presentes entre las cadenas de celulosa y su nivel de cristalinidad Tabla 5 y 6 (Cotton Inc, 2022).

El algodón no es una fibra termoplástica, lo que significa que no posee una temperatura de transición vítrea y permanece flexible incluso a temperaturas extremadamente bajas. A altas temperaturas, el algodón se descompone en lugar de fundirse. Si se expone al calor seco durante un período prolongado de tiempo a temperaturas superiores a los 300 °F (149 °C), las fibras de algodón se descomponen gradualmente, y temperaturas por encima de los 475 °F (246 °C) pueden causar un rápido deterioro (Cotton Inc, 2022).

Tabla 6. Resistencias secas y húmedas de las fibras (*g/tex*) (Cotton Inc, 2022).

Fibra	Seco	Húmedo
Algodón	27-45	30-54
Rayón (normal)	22-27	10-14
Pulpa de madera	27-54	27-54

5.5.4 Características de las fibras de algodón

La concentración de cada componente de las fibras de algodón de desecho se muestra en la Tabla 7, donde el componente principal corresponde a la celulosa; que puede variar según la procedencia y las condiciones climatológicas durante su cultivo. Se muestran las propiedades mecánicas de las fibras de algodón de desecho en la Tabla 8 (Peña-Pichardo, 2018).

Tabla 7. Composición de cada componente de las fibras de algodón de desecho (Peña-Pichardo, 2018).

Componente	Composición típica (wt%)	Composición de residuos (wt%)
Celulosa	95.0	88.0-96.0
Proteína	1.3	1.1-1.9
Ceniza	1.2	0.7-1.6
Sustancias pécticas	0.9	0.7-1.2
Ácidos orgánicos	0.8	0.5-1.0
Cera	0.6	0.4-1.0
Azúcares totales	0.2	0.1-1.0

Tabla 8. Propiedades mecánicas de las fibras de algodón de desecho (Peña-Pichardo, 2018).

Propiedad	Valor
Densidad, (g/cm^3)	1.5-1.6
Elongación, (%)	7.0-8.0
Fuerza de Tensión, (Mpa)	287.0-597.0
Módulo de Young, (Gpa)	5.5-12.6

Un conjunto de productos no celulósicos componen la capa externa de la fibra. Estos productos están relacionados con el tipo de suelo, la zona climática y los fertilizantes y pesticidas utilizados durante el cultivo. También se encuentra cera en la parte externa, conformada por una mezcla de alcoholes grasos, ácidos grasos y esteroides. Son los fosfatos y aminoácidos, así como la glucosa y los ácidos de la cera; los que facilitan la unión entre la celulosa y la cera (Valdivieso, 2016).

5.5.5 Características y propiedades de las fibras de algodón en combinación con el concreto

Valdivieso (2016), llegó a la conclusión de que la trabajabilidad del concreto en estado fresco se ve disminuida al incorporar fibras, debido al aumento del área superficial de los materiales que componen el concreto y la hidratación de las fibras por el agua.

El algodón usado es un material textil con altas propiedades mecánicas (Batuer, 2020).

Las fibras de celulosa o algodón pueden limitar el ancho de la fisura en la fase de contracción plástica y pueden reducir la fisuración en un 85% más que el concreto normal. Las fibras de celulosa tienen una alta absorción de agua del 85%, mejorando así el curado interno y ayudando en el mecanismo. Las fibras de celulosa tienen una alta resistencia a los álcalis y pueden funcionar como un depósito de agua que conduce a la cristalización de los productos de hidratación del cemento debido a la hidratación continua. Además, las fibras

de celulosa en el concreto aumentan la durabilidad de la congelación-descongelación y proporcionan una superficie de acabado agradable. Asimismo, son adecuados para plantas de concreto premezclado, lo que los hace fáciles de usar en la construcción de concreto de pequeña a gran escala (Singh, 2020).

Singh (2020), utilizó una relación cemento / arena y agua / cemento de 0,41 y 0,53 respectivamente en todos los tipos de mezclas de concreto, lo que representó una mezcla con una resistencia objetivo de 32 MPa, normalmente utilizada en el campo. En su estudio, se utilizó una fracción en volumen del 0,5% de fibras de celulosa para aumentar la dispersión de fibras a lo largo de la matriz.

Las proporciones de los componentes para la mezcla de concreto fueron las siguientes:

Tabla 9. Proporciones para mezcla de concreto (Singh, 2020).

Material	Cantidades	Unidad
Cemento	340.0	
Agregados	1120.0	
Arena	820.0	<i>kg/cm³</i>
Agua	181.0	
Fibras de celulosa 0% y 0.5%	0 y 5.5	

5.6 Procedimientos y resultados previos

En la investigación de Xu (2020), se utilizaron proporciones de fibras de celulosa de 1.0 kg / m³, 1.2 kg / m³, 1.5 kg / m³ y 1.8 kg / m³, en primer lugar, colocó en la revolvedora grava, arena y se mezcló durante 120s. Luego, el cemento se agregó para ser mezclado uniformemente durante unos 30s. A continuación, se roció uniformemente la fibra y se agitó durante unos 30s, y finalmente se añadió agua. Xu (2020), comentó que el concreto simple con fibras de celulosa agregadas de esta manera tienen un efecto positivo en la resistencia a la compresión axial del concreto, pero debilita la resistencia a la tensión por rotura. Recomendando que las dosis de fibra dependerán del requisito de resistencia a la compresión en casos específicos.

Singh (2020), inició el procedimiento de mezcla sumergiendo primero las fibras de celulosa en un 20% del agua de la mezcla total durante 15 minutos. Esto lo hizo para preparar una pasta en suspensión de fibras de celulosa para mejorar la uniformidad con otros ingredientes. Después de la formación de la suspensión, se mezcló con agregados gruesos durante dos minutos, una vez que la suspensión se mezcló completamente, se agregaron los ingredientes restantes al mezclador de tambor y se mezclaron durante 3 minutos seguidos de 2 minutos de reposo y una mezcla final de dos minutos. Singh (2020), concluyó que la fibra de celulosa actúa como depósito de agua y da como resultado un mejor curado interno del concreto, lo que indica que la fibra de celulosa tiene una buena fuerza de unión con la matriz de concreto y es capaz de transferir carga bajo fuerzas de tensión.

Peña-Pichardo (2018), empezó su procedimiento de mezcla cortando en trozos cuadrados de 1 x 1 cm los desechos textiles para posteriormente reducir su tamaño, utilizando un molino de cuchillas, a 4 ciclos de 15s cada uno. Después incorporó las fibras de manera uniforme en la mezcla de concreto. Concluyendo que las fibras de celulosa ayudan a mejorar la resistencia pero para mejorar las características de interfaz entre la matriz polimérica y las fibras de algodón de desecho, podría ser necesario cambiar su manera de incorporación.

Es importante considerar que no se produzca el doblamiento de las fibras, lo cual está determinado por la longitud y el volumen de las mismas, ya que esto puede causar una disminución en la resistencia del material compuesto. Para evitar esto, independientemente de la longitud y volumen óptimos, es necesario mezclar las fibras de manera gradual, con cuidado, separadas y con la presencia de áridos; nunca mezcladas únicamente con agua y cemento. Además, es esencial supervisar la relación agua/cemento (Valdivieso, 2016).

Alomayri (2014), investigó el efecto de la absorción de agua sobre las propiedades mecánicas y físicas de los compuestos reforzados con fibra de algodón. Concluyó que la magnitud de la absorción máxima de agua y el coeficiente de difusión se incrementaron con un aumento en el contenido de fibra y que en general, la difusión de la

humedad en un material compuesto depende de factores como el volumen o contenido de fibra con una mayor absorción si se encontraba en forma de bolitas o torundas. El aumento de la absorción de agua se debe a la naturaleza hidrófila de la fibra de algodón y a la mayor área entre la fibra y la matriz.

Teniendo en consideración lo descrito anteriormente se aportará una manera diferente de incorporación de las fibras de algodón, una dosificación y un mezclado adecuados para poder ayudar a mejorar las deficiencias presentadas. Por lo que la incorporación de las fibras de algodón podría mejorar la manera en que se incorporan los diferentes agregados (grava, arena, cemento y agua) en la matriz de concreto y ayudar a mejorar las resistencias actuando como depósito de agua durante el curado del concreto, gracias a su alta capacidad de adsorción.

6. METODOLOGÍA

Lo comprendido en esta investigación está limitado al análisis de las propiedades mecánicas del concreto con incorporaciones de 0.5, 1.0 y 5.0% de fibras textiles de algodón proveniente de la ropa desechada, ya que en la investigación de Peña-Pichardo (2018) se utilizó un 1.0% de algodón que mostró mejoría en algunas propiedades, por lo que se optó por mantener este porcentaje; utilizar 0.5% ya que mostró de igual manera resultados esperanzadores; e incrementarlo a 5.0% para tratar de demostrar que, a mayor incremento del porcentaje de fibras, existe reducción en la resistencia a la compresión. Esto se determinará mediante pruebas de laboratorio que muestren cómo las fibras inciden en el concreto, comparándose con un concreto convencional sin ningún tipo de fibras, demostrando si la combinación de materiales es beneficiosa para mejorar las propiedades mecánicas del concreto o no. Esto será efectuado haciendo uso de los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio.

Se tratará de determinar las propiedades mecánicas de 27 probetas con incorporaciones de 0.5, 1.0 y 5.0% de fibras textiles de algodón y de 9 probetas sin fibras obtenidos del diseño experimental de la Tabla 10. Conociendo lo anterior se pretende definir lo siguiente:

Para la realización de cada uno de los puntos siguientes se tomaron como guía las normas SCT.

6.1 *Obtención de materiales adecuados para mezcla de concreto*

Los materiales (agregados finos, gruesos y cemento) fueron recolectados de alguna casa o banco de materiales del Estado de Querétaro, Qro.

Para la obtención de las fibras textiles de algodón, se recolectaron de los desechos de la industria textil del estado de Querétaro.

El algodón de desecho fue recolectado de la industria textil encargada de la fabricación de ropa. Este algodón de desecho procedió de la ropa desechada que tiene el indicativo “100% algodón” y que por sus características no puedan ser vendidas o no

cumplan con estándares de calidad por consiguiente no cumplen la función de prenda de vestir. Además la ropa desechada debe de ser libre de cierres, botones, resortes, estampados, libre de liendres, piojos, roedores, insectos en general, restos de suciedad, etc.



Figura 3. Camisa desechada por la industria textil del estado de Querétaro.



Figura 4. Indicativo “100% algodón” en la ropa desechada.



Figura 5. Ropa desechada por la industria textil del estado de Querétaro.



Figura 6. Bolsas de ropa desechada previa a la obtención de las fibras.

6.2 *Muestreo y caracterización de los materiales pétreos*

El proceso de muestreo consistió en obtener una muestra representativa del agregado pétreo procesado de un almacén. Asimismo, se llevaron a cabo las operaciones de envase, identificación, transporte y almacenamiento de las muestras de acuerdo con lo establecido en la norma (M-MMP-2-02-019/20, 2020).

Para el muestreo del agregado grueso almacenado y debido a que el material estaba colocado en pilas se realizó el procedimiento marcado en la norma M-MMP-2-02-019/20, sección I donde el material fue sometido a un proceso de remezclado para garantizar la obtención de una muestra representativa formando un montículo. La superficie del montículo se dividió en cuatro cuadrantes y de cada uno se obtuvieron cantidades iguales.



Figura 7. Agregados pétreos almacenados.



Figura 8. Cuarteo del agregado grueso.

El material recolectado correspondiente a el agregado grueso fue de aproximadamente 150 kg.

Para la obtención del agregado fino se seleccionaron 5 puntos aleatorios para la extracción del material, dado que el material se segrega se usó el procedimiento marcado en la norma M-MMP-2-02-019/20, sección L.2. Se utilizó una pala para mezclar y cuartear el material.



Figura 9. Cuarteo del agregado fino.

Las muestras se envasaron en costales limpios, secos y se tuvo de precaución que no se contaminaran con basura u otras materias extrañas, por último se cerraron bien los costales con el objetivo de evitar pérdidas o alteraciones.

El material recolectado correspondiente a el agregado fino fue de aproximadamente 100 kg.



Figura 10. Bolsas con los agregados pétreos.

6.2.1 Granulometría de agregados pétreos

Se determinó la granulometría de las partículas de los agregados pétreos utilizados en la elaboración de mezclas de concreto hidráulico, mediante el tamizado de las mismas a través de un conjunto de mallas con aperturas específicas según la norma (M-MMP-2-02-020/18, 2018).

Para obtener la granulometría de la grava, se siguió el procedimiento de cuartear el material y tomar una muestra representativa de peso conocido. Luego, se realizó el cribado utilizando las mallas en orden ascendente de apertura: No. 4, 3/8", 1/2", 3/4" y 1". Durante el cribado, se movieron los brazos y se alternó la malla en forma horizontal y vertical para evitar la pérdida de material. Se consideró el proceso terminado cuando no pasó más del 1% en peso a través de la malla. Después, se pesaron las fracciones y se elaboraron las tablas correspondientes. Para graficar, se utilizó el tamaño de la malla en el eje X y los porcentajes retenidos acumulados en el eje Y. Finalmente, se realizaron los cálculos correspondientes.

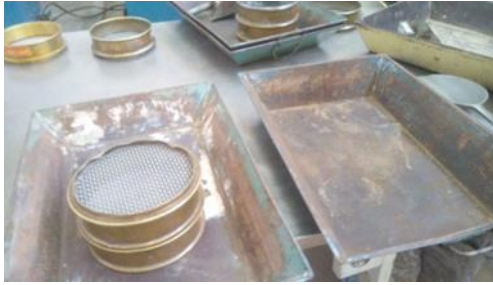


Figura 11. Material utilizado en la granulometría.



Figura 12. Muestra representativa para ser cribada.

6.2.2 Masa volumétrica de los agregados pétreos

Se determinaron las masas volumétricas de los agregados pétreos finos y gruesos que se emplean en la elaboración de concreto hidráulico, cuyo tamaño máximo de las partículas no excedan de 101 mm (4 in) o de la mezcla de ambos materiales según la norma (M-MMP-2-02-023/18, 2018).

La muestra se obtuvo por cuarteo, hecho lo anterior, la porción se mezcló hasta quedar perfectamente homogénea, posteriormente se secó en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ hasta masa constante.

La determinación de la masa volumétrica compactada se realizó por medio del procedimiento de compactación con varilla, ya que este procedimiento se aplica para agregados con tamaño máximo hasta de 37.5 mm. Se colocó en la balanza el recipiente vacío y se registró su masa. Se colocó dentro del recipiente una cantidad de la muestra, hasta que se llenó aproximadamente una tercera parte del volumen del recipiente y se

enrazo. Empleando la punta semiesférica de la varilla se compacto la capa del material, aplicando 25 penetraciones uniformemente sobre la superficie del material. Se colocó una nueva capa de material y se repitió el procedimiento anterior. Posteriormente se colocó una tercera capa de material sobrepasando el recipiente, se realizó el procedimiento nuevamente y se enrazo. Para finalizar se pesó el recipiente con el material en una balanza y se determinó la masa del agregado pétreo mediante la diferencia de lecturas.



Figura 13. Muestra de grava.



Figura 14. Muestra en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.



Figura 15. Computación del agregado grueso mediante varillado.

6.2.3 Partículas más finas que la malla N°200 (0.075 mm) en los agregados pétreos

Se determinó la cantidad de material que atraviesa la malla N°200 (0.075 mm) que contiene tanto agregados finos como gruesos. Se logró esto mediante el lavado de una muestra, de tal manera que el material fino en suspensión se separa de los agregados a través de la decantación. Luego, se tamiza la muestra utilizando un conjunto de mallas con aberturas específicas según la norma (M-MMP-2-02-030/18, 2018).

Se procedió a mezclar la muestra de manera uniforme y se humedeció ligeramente para evitar que se segregara o perdiera el material fino. Posteriormente, se cuarteo en una charola y se dejó secar a temperatura ambiente la muestra que sería utilizada en la prueba.

El procedimiento de prueba consistió en secar una muestra del material en un horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta que su masa se mantuviera constante. Luego, se agregó agua potable a la muestra y se dejó reposar durante 12 horas. Después de eso, se colocaron dos mallas, una de N°100 y otra de N°200, en orden descendente sobre una tarja para permitir que el agua se drenara. Este proceso se repitió varias veces hasta que el agua que pasaba por las mallas se veía limpia y libre de partículas. Finalmente, la muestra de prueba lavada se secó nuevamente en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta que su masa se mantuviera constante y se pesó, para luego realizar los cálculos necesarios.



Figura 16. Material que paso la malla no.200



Figura 17. Finos obtenidos.

6.2.4 Resistencia a la degradación del agregado grueso mediante la máquina de los ángeles

Se determinó la resistencia a la degradación por trituración de los materiales pétreos que se utilizan en la fabricación de concreto hidráulico. Se colocó una muestra dentro de un cilindro giratorio y se sometió a la acción de esferas metálicas durante un período de tiempo determinado. Luego, se midió la variación granulométrica de la muestra, que se calculó como la diferencia entre la masa que pasó a través de la malla N°12 (con una abertura de 1,7 mm) antes y después del tratamiento según la norma (M-MMP-2-02-032/18, 2018).

El procedimiento de prueba consistió en obtener la masa de la muestra y posteriormente se introdujo a la máquina de los ángeles, a continuación se introdujeron las esferas metálicas y se hizo funcionar a una velocidad de 30 a 33 rpm, durante 500

revoluciones, consecutivamente se retiró el material depositándolo en una charola y se desechó la fracción de muestra que paso la malla N°12. Finalmente se determinó su masa.

Al finalizar estas pruebas, podremos obtener información sobre la granulometría, tamaño máximo nominal, peso suelto seco, peso específico, porcentaje de absorción y porcentaje de humedad de la grava. En cuanto a la arena, podremos conocer su peso específico, porcentaje de absorción, porcentaje de humedad y módulo de finura.



Figura 18. Máquina de los ángeles.

6.3 *Evaluación y preparación de fibras textiles naturales de algodón*

La evaluación del algodón de desecho se realizó de manera visual y se consideró únicamente el algodón que cumplió con las siguientes características:

El algodón textil no tiene que tener ningún tipo de mancha, residuo o sustancia visible. El algodón textil no tiene que tener ningún desperdicio o materia orgánica ajena al algodón visible.

El procedimiento de preparación comenzó por separar y determinar el material innecesario del algodón a utilizar, observando como pudiera afectar este material el comportamiento de la mezcla.

Las fibras de algodón de desecho se extrajeron de la ropa usando el mismo procedimiento que se ocupa para la fabricación de estopa, mediante una maquina desfibadora de tela. El procedimiento consto de introducir en la maquina deshilachadora el material en tamaños uniformes, para ello, se utilizaron dos cortadoras rotativas con un

ángulo de 90 grados, de esta manera se consiguen pedazos cuadrados con cortes homogéneos de aproximadamente 10 mm por lado.

Este procedimiento se realizó en el estado de Querétaro por parte de una sucursal de la Industria Green Life encargada de la fabricación de trapos y estopa.



Figura 19. Sucursal de la Industria Green Life en el estado de Querétaro.



Figura 20. Máquina cortando la ropa en pedazos cuadrados homogéneos.



Figura 21. Ropa desechada cortada en cuadrados aproximadamente homogéneos.



Figura 22. Fibras de algodón de desecho.

Posteriormente, se llevaron a cabo la mezcla de los materiales destinados a ser deshilachados mediante un sistema de transporte neumático. Este proceso permitió suministrar material a la máquina deshilachadora de manera uniforme y constante. La máquina deshilachadora, que era modular y constaba de entre 1 y 6 secciones, procesó los residuos textiles. Los residuos fueron pasados a través de un cilindro de gran diámetro, que estaba recubierto por miles de finas puntas de acero afiladas a la perfección. Este cilindro

giró a altas velocidades y desgarró, deshilachó y desfibró el material, iniciando así la conversión hacia la fibra. Finalmente, en la máquina deshilachadora se llevó a cabo la conversión de los residuos previamente cortados y tratados en fibra.



Figura 23. Fibras de algodón de desecho cortadas en longitudes aproximadamente de 10 mm.

Cabe resaltar que las fibras textiles naturales del algodón desechado pudieran contener algún químico no visible que pudiera afectar la mezcla de concreto (Terrenos, 2016) y que las fibras de algodón también tienen degradación orgánica. Sin embargo, la propiedad con mayor importancia es la adsorción, esta propiedad se utilizará en el diseño de mezcla de concreto. Se seleccionarán las muestras que tengan menor contaminación de sustancias para aplicarlas en la elaboración del concreto.

6.4 *Diseño de mezcla de concreto con fibras*

Se realizó el diseño de mezcla para 9 especímenes de concreto con 0.5% de algodón, 9 con 1.0%, 9 con 5.0% y 9 especímenes de concreto convencional (sin fibras), con una resistencia de 210 kg/cm^2 o 20.60 Mpa y un revenimiento máximo de 10cm, para ser probados a compresión en laboratorio a 7, 14 y 28 días de curado. El diseño de mezcla será igual para los 36 especímenes de concreto (cilindros).

Tabla 10. Combinaciones, días de curado y especímenes para cada ensayo.

		Días de curado			
		Ensayo	7 días	14 días	28 días
Porcentaje de algodón del total del peso de un cilindro de concreto en estado seco.	Sin fibras 0%	Compresión	3	3	3
	0.5%	Compresión	3	3	3
	1.0%	Compresión	3	3	3
	5.0%	Compresión	3	3	3
		Total de especímenes	12	12	12

6.5 *Metodología de diseño de una mezcla de concreto modificado con fibras de algodón (Preparación de probetas/especímenes).*

Tomando en consideración las investigaciones anteriores (Peña-Pichardo, 2018; Singh, 2020; Xu, 2020; Navarro, (datos sin publicar)), el procedimiento de preparación de mezcla de concreto ecológico se utilizó una revolvedora, fue en primer lugar, colocar en la revolvedora el 50 % del total de grava, el 50 % del total de arena y mezclarlo durante 120 segundos. Luego, el 50% del total del cemento fue agregado para ser mezclado uniformemente durante unos 30 segundos. A continuación se sumergieron las fibras de algodón en un 20% del total de agua de la mezcla durante 15 minutos. Esto para preparar una suspensión de fibras de algodón para mejorar la uniformidad con otros ingredientes. Después de la formación de la suspensión, se mezclaron los agregados restantes (50% de grava, 50% de arena y 50% del cemento) junto con la suspensión de algodón en la revolvedora durante 2 minutos, una vez que la suspensión se mezcló completamente, se agregó el 80% de agua restante y se mezcló durante 3 minutos seguidos de 2 minutos de reposo y una mezcla final de 2 minutos. Una vez se logró la uniformidad en la mezcla, se colocó en los moldes deseados, se compacto, se vibró y se raspo el exceso de concreto según la norma M-MMP-2-02-055-06 para el diseño de concreto hidráulico de la siguiente manera:

Se colocaron los moldes en un lugar nivelado. Se utilizó un cucharón para tomar una muestra representativa de concreto y se vertió dentro del molde hasta llegar a 1/3 de su capacidad. Luego, se utilizó una varilla de compactación para distribuir uniformemente el concreto y acomodarlo mediante 25 golpes en la superficie.

Se repitió este proceso vertiendo una segunda porción de concreto hasta alcanzar aproximadamente 2/3 de la capacidad del molde. Nuevamente se compactó el concreto mediante 25 golpes, asegurándose de que la varilla de compactación penetre en la capa anterior unos 2 cm.

Finalmente, se vertió una tercera capa de concreto para llenar completamente el molde. Se compactó de la misma manera que antes, mediante 25 golpes, retirando el exceso de material al enrazar el molde. Para ello, se pasó horizontalmente la varilla de compactación por el borde superior del molde.

Después de raspar el exceso, los moldes se cubrieron con una bolsa de plástico y se colocaron a temperatura ambiente durante las siguientes 24 horas. El desmolde se realizó a las 24 horas y las muestras se colocaron en una cámara de curado estándar a temperatura mantenida a $23 \pm 2^\circ$ y humedad de 95% para curar durante 28 días.

Se realizaron las mezclas con incorporación de fibras de algodón con porcentajes de 0.5, 1.0 y 5.0% según el punto 6.4, se prepararon las probetas con dimensiones 10 cm de diámetro por 20 cm de alto y se realizó el colado y curado de las probetas de acuerdo a las normas (M-MMP-2-02-058/04, 2001) y (M-MMP-2-02-059/04, 2004). Por último, se prepararon las probetas para las mezclas de concreto sin fibras con las mismas normas.



Figura 24. Cilindros de acero con dimensiones 10 cm de diámetro por 20 cm de alto.



Figura 25. Cemento Portland CPC 30R RS utilizado.



Figura 26. Equipo utilizado para realizar la mezcla de concreto.



Figura 27. Revolvedora electica utilizada.



Figura 28. Material utilizado (algodón con longitud de 10 mm y arena).



Figura 29. Revolvedora con 50 % del total de grava y el 50 % del total de arena, mezclándose durante 120 segundos



Figura 30. Revolvedora con 50 % del total de grava, 50 % del total de arena, 50% del total del cemento mezclado durante unos 30 segundos.



Figura 31. Revolvedora con todos los materiales (grava, arena, cemento, agua y fibras de algodón).



Figura 32. Cilindros de concreto dentro de los moldes.

6.6 *Revenimiento del concreto fresco*

Se determinó la consistencia del concreto en su estado fresco, utilizando agregados con un tamaño nominal de hasta 37.5 mm (1.5 in). El procedimiento consistió en colocar una muestra de concreto fresco en un molde cónico truncado con dimensiones específicas, y medir la disminución en la altura del cono de concreto después de retirar el molde, siguiendo la norma (M-MMP-2-02-056/06, 2006).



Figura 33. Medición del revenimiento.

6.7 Ensayos de resistencia a la compresión axial simple

Esta prueba permitió medir la resistencia a la compresión simple del concreto hidráulico, con valores esperados menores de 51 Mpa ($500\text{kg}/\text{cm}^2$), utilizando especímenes cilíndricos moldeados con una relación altura/diámetro de 2 a 1.

Los ensayos de resistencia a la compresión se realizarán según la norma (M-MMP-2-02-058/04, 2001), la cual establece el procedimiento y las condiciones adecuadas para el ensayo de un concreto cilíndrico en laboratorio haciendo uso de una maquina universal.

Para este ensaye el espécimen fue medido en altura y diámetro, para posteriormente ser colocado en la maquina universal de manera centrada y alineada con respecto a las placas, la carga fue aplicada con una velocidad uniforme y continua dentro del intervalo de 84 a 210 $\text{kg}/\text{cm}^2/\text{min}$ aproximadamente hasta alcanzar la máxima carga permisible, la cual fue registrada.

Teniendo la máxima carga permisible se calculó y reporto la resistencia a compresión simple soportada por el espécimen, utilizando la siguiente expresión:

$$R = \frac{10P}{A} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

R = Resistencia a la compresión simple, (MPa)

P = Carga máxima, (kN)

A = Área promedio de la sección transversal del espécimen, (cm^2)



Figura 34. Maquina universal.



Figura 35. Cilindro de concreto colocado en la maquina universal.

6.8 *Análisis y comparación del comportamiento mecánico de los resultados*

Completados los ensayos de laboratorio, se realizarán los respectivos análisis de los resultados obtenidos y sus cálculos correspondientes, permitiendo establecer si las probetas lograron las resistencias esperadas según el diseño previo de mezcla; posterior a

ello se compararán los resultados de resistencias obtenidos por las probetas con fibras de 0.5, 1.0 y 5.0% con las probetas que no poseen ningún tipo de fibra.

7. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES

- a. Componentes para mezcla de concreto.
 - Arena.
 - Grava.
 - Agua.
 - Cemento tipo Portland.
 - Algodón desechado.

- b. Preparación de fibras textiles naturales de algodón.
 - Algodón desechado.
 - Guantes, tijeras, flexómetro.

- c. Preparación de mezcla para probetas.
 - Moldes cilíndricos para concreto de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura (24).
 - Tronco-cono metálico para determinar revenimiento.
 - Varillas punta de bala 5/8" (2).
 - Báscula de 120 kg de capacidad con pesas.
 - Báscula de 2.5 kg de capacidad con marco de pesas.
 - Báscula de 20 kg de capacidad con juego de pesas.
 - Charolas rectangulares de 80 x 40 x 20 cm (3).
 - Cucharones de 2 kg de capacidad (2).
 - Cubeta volumétrica de 10 lts. de capacidad.
 - Probetas de 1 lt de capacidad (2).
 - Flexómetro.
 - Charolas redondas (2).
 - Llaves para atornillar las mariposas de los cilindros.
 - Estopa.
 - Cinta masking tape.
 - Escoba, trapeador y franela.
 - Cubetas de plástico para agua (2).
 - Lana para enrasar los moldes de concreto.
 - Máquina revolvedora de un saco de cemento (En el caso que no se haga mezcla de manera manual).

- Placa metálica de espesor $\frac{3}{4}$ " para determinar revenimiento.
 - Aceite para lubricar los moldes cilíndricos.
- d. Curado de probetas.
- Cuarto de curado con humedad constante controlada o en su defecto en un recipiente para realizar inmersión total del espécimen.
- e. Ensaye de cilindros/probetas.
- Maquina Universal.
- f. Maquinaria y Equipo adicionales para ensayos de laboratorio:
- Maquina universal utilizada para los ensayos (M-MMP-2-02-058/04, 2001), y (M-MMP-2-02-059/04).
 - La máquina universal tendrá una capacidad 1200kN, control de velocidad, se usará de manera cuidadosa sin producir impactos ni pérdida de carga. Además, debe tener certificado de calibración vigente. El uso adecuado de la máquina universal comienza por mantener las superficies limpias inferiores y superiores. Se colocará el espécimen alineado y se aplicará cuidadosamente una carga a velocidad uniforme y continua. Se aplicará la carga hasta alcanzar la máxima permisible.
 - En el laboratorio, es obligatorio usar gafas de seguridad y una bata al utilizar la maquinaria y otros equipos adicionales. Si se tiene el pelo largo, debe estar recogido. No se permitirá la entrada de mochilas, abrigos, bolsos, etc. en el laboratorio. Fumar, consumir alimentos o bebidas está estrictamente prohibido en el laboratorio. Antes de salir del laboratorio, es necesario lavarse las manos y quitarse la bata.
- g. Desechos:
- Los cilindros de concreto destruidos serán utilizados para formar pavimentos arquitectónicos y perímetros de jardineras.
- h. Recursos:
- El agua utilizada en esta investigación provendrá de la Universidad Autónoma de Querétaro y el sobrante, si es el caso, será utilizada para regar las plantas que rodean el perímetro del laboratorio.
 - La grava, arena y cemento utilizados en esta investigación serán recolectados de la casa de materiales ubicada en la Colonia Candiles del Estado de Querétaro. El material sobrante, si es el caso, será utilizado para crear concreto y con ello crear jardineras y macetas.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Ensayos realizados a los agregados

Los ensayos realizados a los agregados fino y grueso son: Granulometría, Masa volumétrica de los agregados pétreos, Partículas más finas que la malla N°200, Resistencia a la degradación del agregado, Revenimiento del concreto fresco y Resistencia a la compresión.

8.2 Granulometría de agregados pétreos

8.2.1 Análisis Granulométrico

Tabla 11. Análisis Granulométrico de la grava.

Análisis Granulométrico del Agregado Grueso						
Origen:		Av Candiles 60, San José de los Olvera, Qro				
Peso de la muestra (gr):		7635				
Norma:		M-MMP-2-02-020-18				
Tamiz (in)	Abertura (mm)	MATERIAL RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	MATERIAL RETENIDO ACUMULADO (%)	MATERIAL QUE PASA (%)	ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL RETENIDO ACUMULADO
3	75	0	0	0	100	
2	50	0	0	0	100	
1 1/2	37.5	0	0	0	100	
1	25	134.4	1.76036737	1.760367372	98.2396326	0-10
3/4	19	1920	25.1481053	26.90847268	73.0915273	15-60
1/2	12.5	3150	41.2586103	68.16708296	31.832917	60-90
3/8	9.5	1180	15.4556064	83.62268935	16.3773106	85-100
#4	4.75	1250.37	16.3773106	100	0	
	Suma	7634.77	100	100	-	-
Tamaño nominal máximo			1 in			

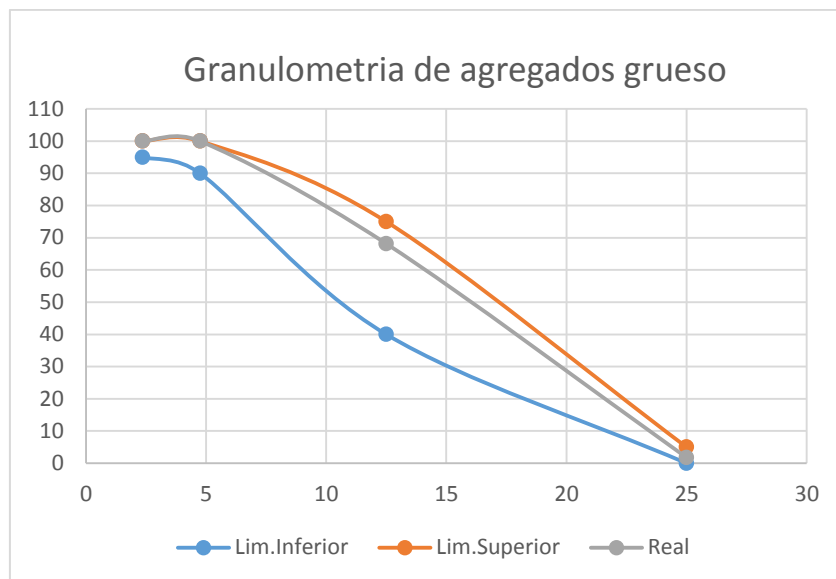


Figura 36. Diagrama de granulometría agregado grueso.

Tabla 12. Análisis Granulométrico de la arena.

Análisis Granulométrico del Agregado Fino					
Origen:		Av Candiles 60, San José de los Olvera, Qro			
Peso de la muestra (gr):		460			
Norma:		M-MMP-2-02-020-18			
Tamiz (in)	MATERIAL RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	MATERIAL RETENIDO ACUMULADO (%)	MATERIAL QUE PASA (%)	ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL RETENIDO ACUMULADO
4	22.3	4.849091067	4.84909107	95.15090893	0-5
8	60.8	13.22084022	18.0699313	81.93006871	0-20
16	103.52	22.51022006	40.5801513	59.41984866	15-50
30	83	18.04818648	58.6283378	41.37166217	40-75
50	109.26	23.75837175	82.3867096	17.61329042	70-90
100	47.32	10.28964078	92.6763504	7.323649648	90-98
200	33.68	7.323649648	100	0	-
Suma	459.88	100	0	-	0
Charola	37.4				
Módulo de finura			2.923414804		

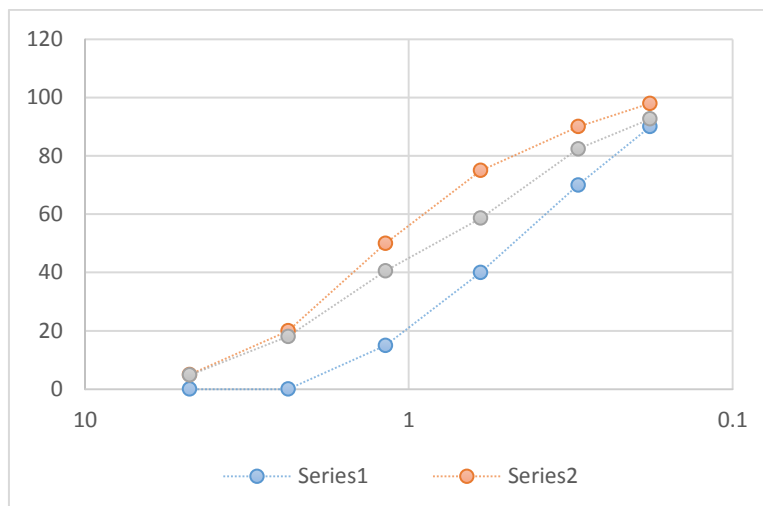


Figura 37. Diagrama de granulometría agregado fino.

8.3 *Peso volumétrica de los agregados pétreos*

Tabla 13. Peso volumétrico del agregado fino y grueso mediante compactación por varilla.

Masa volumétrica de los agregados pétreos		
Origen:	Av Candiles 60, San José de los Olvera, Qro	
Norma:	M-MMP-2-02-020-18	
Agregado	Grueso	Fino
Peso recipiente (kg):	3.841	1.000
Peso material en recipiente (kg):	18.730	4.830
Volumen recipiente (m3):	0.00958	0.002876
Peso volumétrico (kg/m3):	1554.18	1039.64

8.4 *Partículas más finas que la malla N°200 (0.075 mm) en los agregados pétreos*

Tabla 14. Partículas más finas que la malla N°200

LAVADO EN MALLA 200
PESO INICIAL: 2000 g
PESO FINAL: 89.568 g
%MQP200: 4.47 %

8.5 *Resistencia a la degradación del agregado grueso mediante la máquina de los ángeles*

Tabla 15. Degradación del agregado grueso

DESGASTE	P. INICIAL : 5000 gr	P. FINAL : 4350 gr	% DESG :13%
-----------------	----------------------	--------------------	-------------

8.6 *Densidad real de los agregados gruesos*

Tabla 16. Densidad real del agregado fino

Densidad real fino	
Designación	Valor
Masa del agua desalojada por la muestra	122.80 gr
Masa del agregado	329.20 gr
Volumen del agua desalojada	123.12 cm ³
Densidad real de la arena	2.67 gr/cm ³

Tabla 17. Densidad real del agregado grueso

Densidad real grava	
Designación	Valor
Masa de la muestra SSS en el aire	4085.00 gr
Masa de la muestra SSS en el agua	2568.00 gr
Volumen real de la muestra	1517.00 cm ³
Densidad real	2.69 gr/cm ³

8.7 *Capacidad de absorción de los agregados pétreos*

Tabla 18. Capacidad de absorción del agregado fino

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA	
PESO DE MSSS:	600 g
PESO DE MS:	622.27 g
% DE ABSORCION:	3.71%

Tabla 19. Capacidad de absorción del agregado grueso

CAPACIDAD DE ABSORCION DE LA GRAVA	
PESO DE MSSS:	2.5 kg
PESO DE MS	2.43 kg
% DE ABSORCIÓN	2.80%

8.8 *Contenido de humedad de los agregados pétreos*

Tabla 20. Contenido de humedad del agregado fino

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA
PESO INICIAL:217.3 gr
PESO FINAL:180.4gr
%HUMEDAD: 20.45%

Tabla 21. Contenido de humedad del agregado grueso

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA GRAVA
PESO INICIAL: 998.29 gr
PESO FINAL: 985.9 gr
% HUMEDAD: 1.493 %

8.9 *Diseño de mezcla de la mezcla de concreto*

Para realizar el diseño de mezcla de concreto se siguieron los criterios generales por el método del ACI (American Concrete Institute).

Tabla 22. Datos técnicos del material para la mezcla de concreto

Diseño de mezcla			
Designación		Características	Unidad
Resistencia a la compresión esperada:		210.00	kg/cm ²
Tipo de cemento utilizado:		Cemento Portland CPC 30R RS	
Revenimiento esperado:		10.00	cm
Revenimiento obtenido:		11.00	cm
Aire incluido:		No	
Densidad real:	Cemento:	2.908	gr/cm ³
	Arena:	2.67	gr/cm ³
	Grava:	2.69	gr/cm ³
Módulo de finura:	Arena:	2.923	
Peso volumétrico:	Grava:	1554.18	kg/m ³
	Arena:	1039.64	kg/m ³
Tamaño máximo:	Grava:	25.00	mm
Porcentaje de absorción:	Arena:	3.71	%
	Grava:	2.80	%
Porcentaje de humedad:	Arena:	20.45	%
	Grava:	1.49	%

Tabla 23. Proporcionamiento del material por metro cubico sin corrección por humedad y absorción

Material	Peso (kg) para un m³
Cemento	284
Arena	823
Grava	1026
Agua	193
Aire	20

Relación agua/cemento: 0.68

Tabla 24. Proporcionamiento del material por metro cubico con corrección por humedad y absorción

Proporción base		Corrección por humedad y absorción				Porción Real (kg)
		Humedad		Absorción		
Material	(kg)	%	Kg	%	Kg	
Cemento	284	-	-	-	-	284
Arena	823	20.45	168.3035	3.71	30.5333	960.7702
Grava	1026	1.49	15.2874	2.8	28.728	1012.5594
Agua	193		183.5909		59.2613	68.6704
Total	2326	-	-	-		2326

Tabla 25. Características de los especímenes para la realización de la mezcla de concreto

1 m3 de concreto:	2326	kg
Volumen del cilindro:	0.00157079	m3
Cantidad total de cilindros:	36	-
Volumen total de cilindros:	0.05654844	m3

Tabla 26. Proporción del material por cilindro de concreto

Material	Peso del material total (kg)	Total de cilindros	Peso del material por cilindro (kg)
Cemento	16.05975696	36	0.44610436
Arena	54.33005601	36	1.509168222
Grava	57.25865448	36	1.59051818
Agua	3.883203994	36	0.107866778

Tabla 27. Proporcionamiento del algodón para los cilindros del concreto

Porcentaje de algodón por cilindro de concreto			
Porcentaje de algodón	Cilindros	Peso algodón por cilindro (kg)	Cantidad total de algodón por % (kg)
0.0	9	0	0
0.5	9	0.018268288	0.164414589
1.0	9	0.036536575	0.328829179
5.0	9	0.182682877	1.644145893
		Suma	2.137389661

8.10 Revenimiento del concreto fresco

Revenimiento obtenido=11 cm

Revenimiento del proyecto=10 cm (Correspondiente a Vigas, muros y columnas)

Tamaño máximo del agregado=25 mm

8.11 Resistencia a la compresión axial simple

Resistencia a la compresión simple esperada a los 28 días: 210 kg/cm o 20.60 Mpa.

Tabla 28. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto con fibras de algodón a los 7 días

Informe de resultados para cilindros de concreto a los 7 días						
Incorporación de algodón (%)	Numero de cilindro	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área sección transversal (cm ²)	Carga máxima (KN)	Resistencia máxima a compresión simple f' _c , (Mpa)
0.0	1	10.13	19.99	80.60	99.61	12.36
	2	9.99	20.00	78.38	95.21	12.15
	3	10.09	20.06	79.96	105.41	13.18
0.5	4	10.05	20.60	79.33	91.82	11.57
	5	10.01	20.66	78.70	92.50	11.75
	6	10.02	20.17	78.85	91.98	11.66
1.0	7	9.92	19.95	77.29	45.89	5.94
	8	10.03	20.10	79.01	45.00	5.70
	9	10.03	20.04	79.01	46.61	5.90
5.0	10	10.07	20.11	79.64	26.96	3.39
	11	9.93	19.93	77.44	26.07	3.37
	12	10.06	19.94	79.49	27.01	3.40

Tabla 29. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto con fibras de algodón a los 14 días

Informe de resultados para cilindros de concreto a los 14 días						
Incorporación de algodón (%)	Numero de cilindro	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área sección transversal (cm ²)	Carga máxima (KN)	Resistencia máxima a compresión simple f' _c , (Mpa)
0.0	13	9.92	19.91	77.29	138.52	17.92
	14	10.08	20.03	79.80	146.31	18.33
	15	9.93	20.01	77.44	139.63	18.03
0.5	16	10.01	20.80	78.70	135.32	17.20
	17	10.04	20.21	79.17	133.50	16.86
	18	10.06	20.16	79.49	138.98	17.49
1.0	19	9.97	20.18	78.07	75.89	9.72
	20	9.91	20.11	77.13	75.00	9.72
	21	10.08	19.97	79.80	76.61	9.60
5.0	22	10.01	20.10	78.70	46.96	5.97
	23	10.03	19.91	79.01	46.07	5.83
	24	10.10	19.97	80.12	47.01	5.87

Tabla 30. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto con fibras de algodón a los 28 días

Informe de resultados para cilindros de concreto a los 28 días						
Incorporación de algodón (%)	Numero de cilindro	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área sección transversal (cm ²)	Carga máxima (KN)	Resistencia máxima a compresión simple f'c, (Mpa)
0.0	25	10.20	19.93	81.71	169.52	20.75
	26	10.03	20.07	79.01	161.31	20.42
	27	10.11	20.02	80.28	171.70	21.39
0.5	28	9.97	19.91	78.07	162.82	20.86
	29	9.94	20.15	77.60	168.50	21.71
	30	10.04	20.05	79.17	165.58	20.91
1.0	31	10.16	19.97	81.07	95.89	11.83
	32	10.09	20.01	79.96	105.00	13.13
	33	9.91	20.09	77.13	96.61	12.53
5.0	34	9.99	19.98	78.38	66.96	8.54
	35	10.07	19.97	79.64	61.07	7.67
	36	9.96	19.88	77.91	67.01	8.60

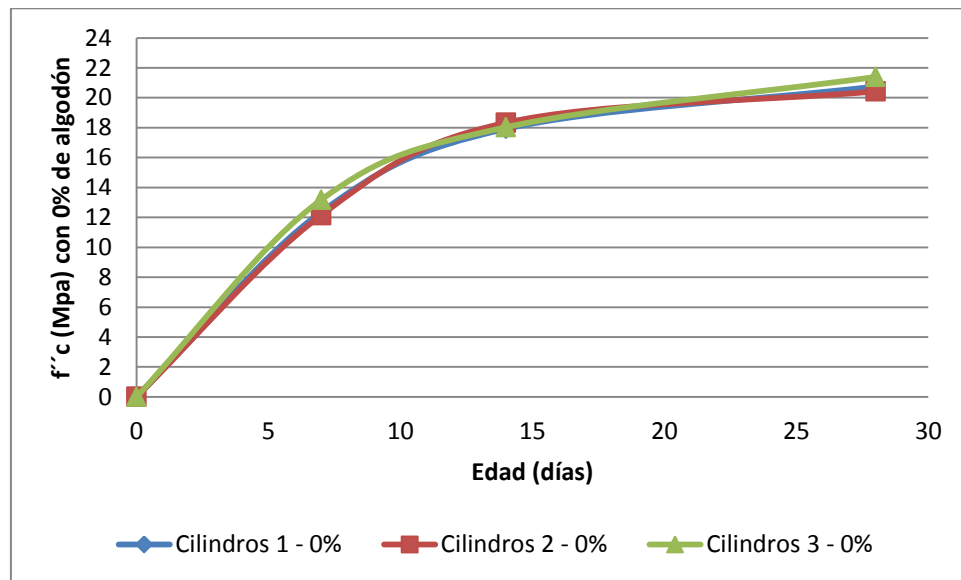


Figura 38. Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto con 0% de incorporación de algodón.

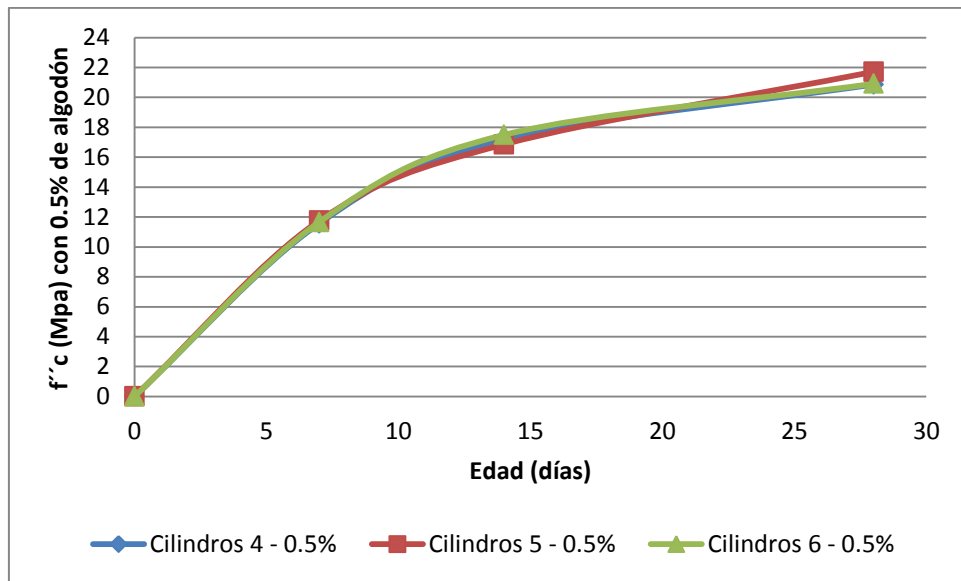


Figura 39. Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto con 0.5% de incorporación de algodón.

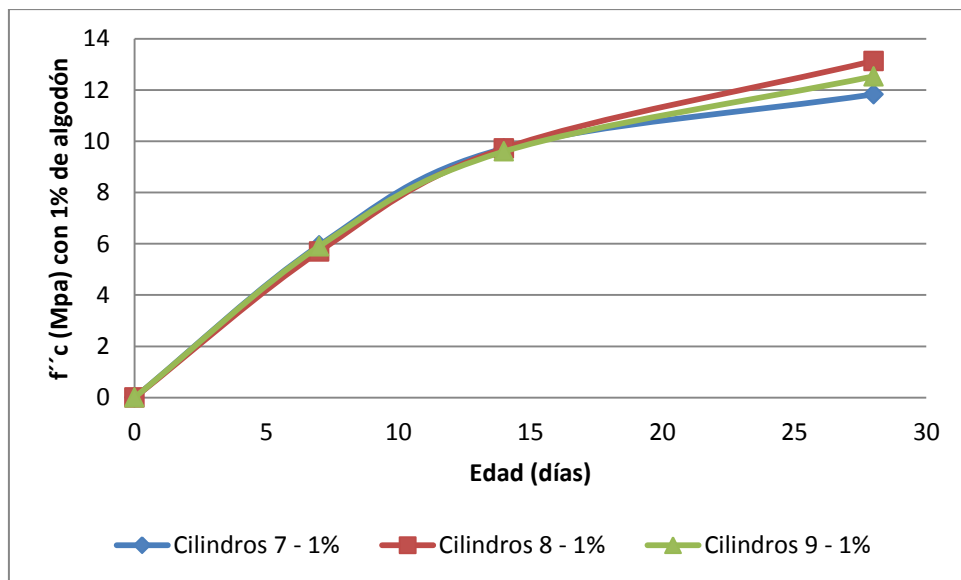


Figura 40. Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto con 1% de incorporación de algodón.

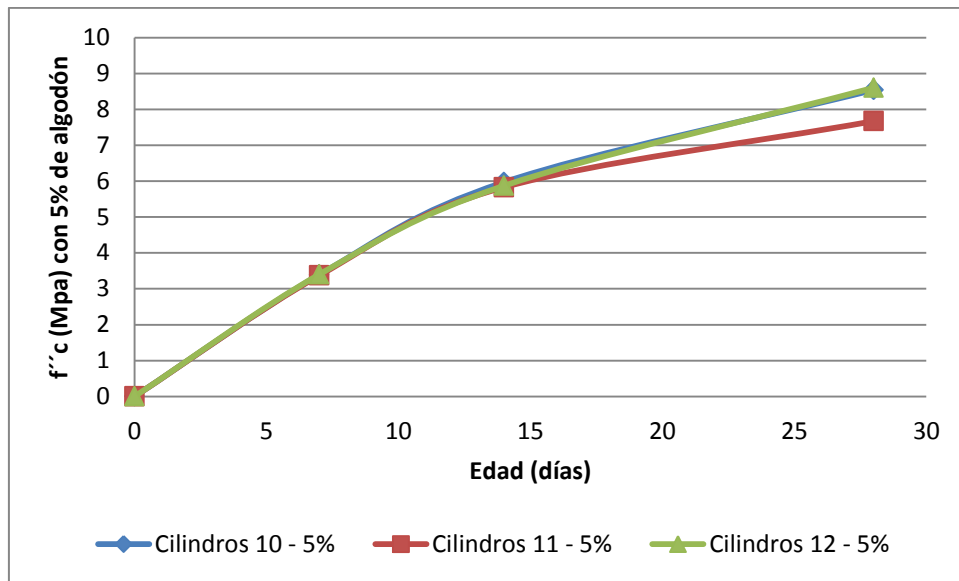


Figura 41. Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto con 5% de incorporación de algodón.

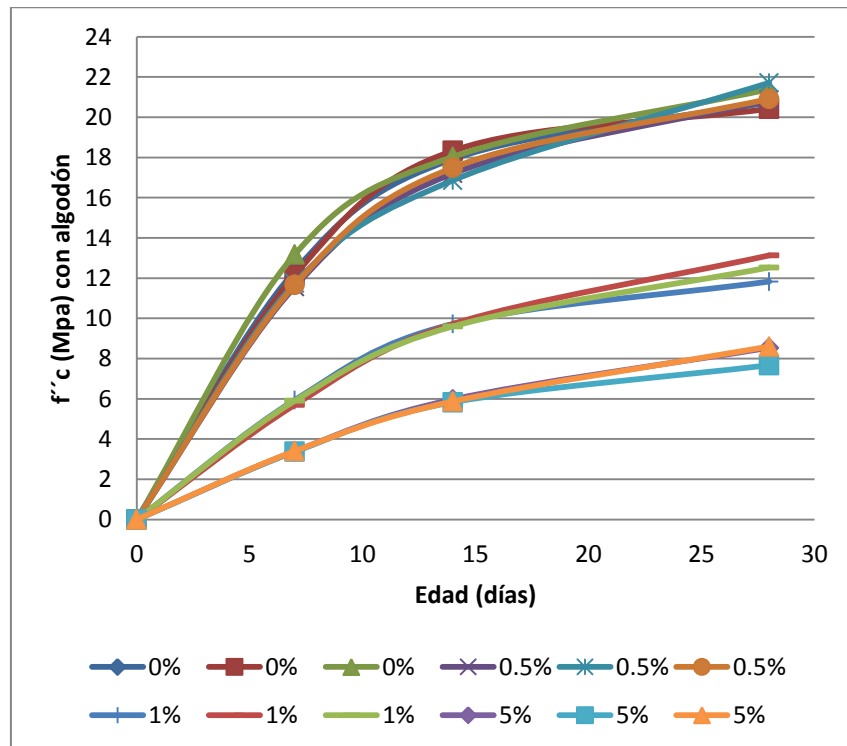


Figura 42. Comparación de la resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto con 0.0, 0.5, 1.0 y 5.0% de incorporación de algodón.

8.12 Tipos de fallas en los cilindros de concreto



Figura 43. Comparación de fallas a compresión simple de cilindros de concreto con 0.0 y 0.5% de incorporación de algodón.



Figura 44. Comparación de fallas a compresión simple de cilindros de concreto con 0.0 y 1.0 % de incorporación de algodón.



Figura 45. Comparación de fallas a compresión simple de cilindros de concreto con 0.0 y 5.0% de incorporación de algodón.



Figura 46. Comparación de cilindro de concreto con sin fibras antes haberse realizado prueba de compresión con cilindro de concreto con 5.0% de fibras después de realizarse prueba de compresión.

8.13 *Discusión*

Los resultados de las pruebas para los agregados pétreos dieron lo siguiente:

Al realizar el análisis granulométrico, determinar el porcentaje de paso de los diferentes tamaños del agregado (fino y grueso) y calcular si los agregados se encuentran dentro de los límites para hacer un buen diseño de mezcla, observamos que los agregados se encontraban dentro de los límites establecidos por la norma M-MMP-2-02-020-18.

Al determinar el peso volumétrico, obtuvimos que los agregados ligeros con peso volumétrico de 1039.64 kg/m³ se encontraban dentro del rango aceptable. En el caso de los agregados gruesos el peso volumétrico fue de 1554.18 kg/m³ mayor a 1120 kg/m³ por lo tanto puede ser utilizado en la elaboración de concreto.

En la prueba para el material que pasa la malla No.200, el porcentaje de los materiales que pasaron la malla fueron menores al 5% por lo que el agregado fino es bueno para una mezcla de concreto.

Al calcular la cantidad de absorción de la muestra de agregado fino de 3.71% y grueso de 2.80%, se logró observar que cumplen con los requerimientos para la elaboración de una mezcla de concreto.

Al realizar la prueba de resistencia a la degradación del agregado grueso, se obtuvo una pérdida en masa del 13%, menor al límite máximo que es del 50% por lo que el agregado grueso es apto para el diseño de una mezcla de concreto.

Para el concreto fresco, se obtuvo un revenimiento de 11 cm que cumple con lo indicado para el diseño de una mezcla de concreto correspondiente a ser utilizado en vigas, muros y columnas.

Después de realizar las pruebas para los agregados pétreos y obtener los resultados, podemos decir que los agregados cumplen con las características y requisitos de calidad indicados en las normas utilizadas.

Los resultados de las pruebas de la resistencia mecánica a compresión simple de cilindros de concreto elaborado con fibras de algodón de desecho demostraron ser prometedores en cuanto a su capacidad para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. La adición de estas fibras al concreto tiene un efecto positivo en la resistencia a la compresión. Se observó un aumento en la resistencia promedio a la compresión de 1.48% a 28 días de curado con 0.5% de incorporación de fibras de algodón en comparación con un concreto sin fibras.

En el estudio se elaboraron cilindros de concreto con diferentes porcentajes de fibras de algodón de desecho (0, 0.5, 1.0 y 5.0%) del total del peso de un cilindro de concreto en estado seco y se sometieron a pruebas de compresión simple para evaluar su resistencia mecánica.

Las pruebas se realizaron utilizando cilindros de concreto con un diámetro de 10 cm y una altura de 20 cm aproximadamente, los cuales fueron elaborados con una relación agua/cemento de 0.68. Los cilindros fueron curados durante 7, 14 y 28 días antes de ser sometidos a pruebas de compresión axial simple.

En la primer serie de pruebas indicadas en la Tabla 28, se utilizaron cilindros curados a 7 días con 0, 0.5, 1.0 y 5.0% de fibras de algodón de desecho. Los resultados mostraron que la resistencia a compresión promedio de los cilindros con 0.5% de fibras de algodón de desecho fue de 11.66 Mpa, para 1.0% de fibras fue de 5.84 Mpa, para 5.0% de fibras fue de 3.38 Mpa, mientras que la resistencia a compresión promedio de los cilindros sin fibras fue de 12.56 Mpa.

En la segunda serie de pruebas indicadas en la Tabla 29, se utilizaron cilindros curados a 14 días con 0, 0.5, 1.0 y 5.0% de fibras de algodón de desecho. Los resultados mostraron que la resistencia a compresión promedio de los cilindros con 0.5% de fibras de algodón de desecho fue de 17.18 Mpa, para 1.0% de fibras fue de 9.68 Mpa, para 5.0% de fibras fue de 5.89 Mpa, mientras que la resistencia a compresión promedio de los cilindros sin fibras fue de 18.09 Mpa.

En la tercera serie de pruebas indicadas en la Tabla 30, se utilizaron cilindros curados a 28 días con 0, 0.5, 1.0 y 5.0% de fibras de algodón de desecho. Los resultados mostraron que la resistencia a compresión promedio de los cilindros con 0.5% de fibras de algodón de desecho fue de 21.16 Mpa, para 1.0% de fibras fue de 12.49 Mpa, para 5.0% de fibras fue de 8.27 Mpa, mientras que la resistencia a compresión promedio de los cilindros sin fibras fue de 20.85 Mpa.

Se puede observar que para 7 días de curado la resistencia a compresión en los cilindros de concreto con fibras de algodón de desecho, existió una reducción de magnitud de 7.16% en los cilindros con 0.5% de fibras de algodón con respecto a los cilindros sin fibras, para 1.0% una reducción de magnitud de 53.50% y para 5.0% una reducción de magnitud de 73.08%.

Para 14 días de curado la resistencia a compresión en los cilindros de concreto con fibras de algodón de desecho, existió una reducción de magnitud de 5.03% en los cilindros con 0.5% de fibras de algodón con respecto a los cilindros sin fibras, para 1.0% una reducción de magnitud de 46.48% y para 5.0% una reducción de magnitud de 67.44%.

Para 28 días de curado la resistencia a compresión en los cilindros de concreto con fibras de algodón de desecho, existió un aumento de magnitud de 1.48% en los cilindros con 0.5% de fibras de algodón con respecto a los cilindros sin fibras; sin embargo para los cilindros con 1.0% de fibras de algodón existió una reducción de magnitud de 40.09% y para 5.0% una reducción de magnitud de 60.33%.

La reducción de la resistencia conforme aumenta el porcentaje de incorporación de fibras a los 7, 14 y 28 días de curado para 1.0 y 5.0% de fibras de algodón de desecho, probablemente se deba al aumento de la cantidad de fibras y a la disminución de la trabajabilidad al incorporarse un material extra a la mezcla de concreto; sin embargo se puede observar que el porcentaje de reducción disminuye a medida que los días de curado avanzan, probablemente se deba a que las fibras de algodón actúan como reservorio de agua, lo que ayuda a mejorar el curado interno del concreto; sin embargo se puede observar que para 0.5% de fibras de algodón existe un incremento en la resistencia a la compresión a

los 28 días de curado, esto probablemente debido al curado interno del concreto y a su mejor trabajabilidad ya que tiene menor porcentaje de incorporación de fibras de algodón de desecho. Esto indica que la adición de 0.5% de fibras de algodón de desecho al concreto aumenta la resistencia a 28 días de curado en 1.48% con respecto a un concreto sin fibras y no dificulta la trabajabilidad, es importante mencionar que la cantidad de fibras utilizadas en el concreto juegan un papel importante en el aumento o decremento de la resistencia. Por lo que este porcentaje de fibras podría ser una alternativa eficiente para mejorar las características mecánicas del concreto. Además, al ser fibras de algodón de desecho, su utilización contribuye a reducir la cantidad de residuos y a disminuir el impacto ambiental.

En cuanto a la Figura 42, se puede observar cómo la resistencia a la compresión disminuye a medida que los porcentaje de fibras de algodón en el concreto superan 0.5% del total del peso de un cilindro de concreto en estado seco.

En cuanto al tipo de falla en los cilindros de las Figuras 43, 44 y 45; se presentó la falla en forma de “X” que sucede cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.

De la figura 46, se puede observar una reducción promedio en la altura del cilindro con 5.0% de fibras de algodón de 6.75% con respecto a la altura total de un cilindro sin ser probado correspondiente aproximadamente a 20 cm de altura. Esto puede indicar que la adición de fibras de algodón de desecho al concreto ayuda a redistribuir las tensiones y mejorar la distribución de esfuerzos en el concreto. Además, las fibras ayudan a prevenir la propagación de grietas en el concreto, lo que junto a un buen porcentaje de incorporación de fibras que no dificulte la trabajabilidad aumentan la resistencia y la durabilidad del material.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en las pruebas deben ser interpretados con precaución ya que estas pruebas se realizaron en condiciones controladas y no necesariamente reflejan el comportamiento del concreto en condiciones reales de campo. Sin embargo, estos resultados son una buena indicación de las ventajas de utilizar fibras de algodón de desecho en la elaboración de mezcla de concretos.

9. CONCLUSIONES

La adición de fibras de algodón de desecho al concreto tiene varios beneficios.

En primer lugar, las fibras aumentan la resistencia a compresión del concreto al aumentar el número de puntos de anclaje entre las partículas de cemento y agua, lo que permite una distribución más homogénea de las tensiones en el concreto.

En segundo lugar, las fibras de algodón de desecho en el concreto pueden tener beneficios ambientales, tanto sostenibles como ecológicos, ya que se está reciclando un material que de otra manera sería considerado un residuo y terminaría en vertederos o en incendios controlados. Además, las fibras de algodón de desecho al ser un material orgánico pueden ser fácilmente recicladas y reutilizadas, ayudando a reducir el impacto ambiental de la industria textil al dar un nuevo uso a los residuos de algodón.

También, es importante destacar que el uso de fibras de algodón de desecho en la elaboración de concreto presenta algunas limitaciones o desventajas.

En primer lugar, es necesario tener en cuenta que el algodón es un material que puede variar en su comportamiento mecánico dependiendo de su origen y procesamiento. Se necesita considerar la calidad y limpieza de las fibras utilizadas, ya que las fibras sucias o dañadas pueden afectar negativamente las propiedades del concreto, así como malas condiciones de curado y almacenamiento del material. Además, el algodón es un material hidrófilo, lo que puede aumentar la absorción de agua en el concreto y, por lo tanto, afectar la trabajabilidad y disminuir su resistencia mecánica a compresión simple.

En segundo lugar, se ha observado que el uso de fibras de algodón de desecho puede aumentar el tiempo de fraguado, pero este efecto es generalmente insignificante y puede ser mitigado mediante la optimización de la dosificación de las fibras.

En este estudio, se ha demostrado que la adición de fibras de algodón de desecho al concreto es una opción viable para mejorar las propiedades mecánicas. Esto se debe a que las fibras son un material ligero, además de tener un alto contenido de celulosa, lo que

las convierte en una excelente opción para mejorar la resistencia a compresión del concreto y sostenible para el desarrollo de proyectos y materiales de construcción.

La resistencia mecánica a compresión simple de cilindros de concreto elaborados con las fibras ha demostrado ser comparable a la resistencia de cilindros de concreto convencionales, debido a la distribución homogénea de las fibras en el concreto; ya que estas fibras actúan como refuerzos mecánicos, ayudando a distribuir las tensiones en el material, aumentando la capacidad de absorción de cargas y logrando mejorar su comportamiento en caso de fallas.

Las pruebas han mostrado que la edición de fibras de algodón de desecho en pequeñas cantidades puede aumentar la resistencia a compresión del concreto, especialmente en el proceso de endurecimiento pasados los 14 días de curado. La incorporación de una cantidad moderada de fibras de algodón de desecho (0.5%) puede aumentar la resistencia a la compresión simple en 1.48%, esto dependerá del contenido y la longitud de las fibras utilizadas. Por lo tanto, se recomienda su uso en la construcción como un concreto convencional.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la cantidad, tamaño de las fibras de algodón de desecho utilizadas deben ser cuidadosamente controladas, así como la metodología de elaboración para evitar problemas de trabajabilidad, endurecimiento, reducción en la resistencia y un aumento en la porosidad del concreto.

Es importante mencionar que, aunque se han obtenido resultados positivos en cuanto a la resistencia a la compresión simple de cilindros del concreto elaborados con fibras de algodón de desecho, son solo un indicativo de las posibilidades que ofrece el uso de las fibras y es necesario continuar investigando para optimizar las proporciones adecuadas de fibras en el concreto, además, llevar acabo más investigaciones para obtener una compresión más completa de cómo las fibras afectan a otras propiedades mecánicas del concreto y cómo se comportan a largo plazo; también es necesario realizar pruebas en condiciones reales de construcción para poder determinar su comportamiento en un ambiente real.

También, es significativo mencionar que la resistencia mecánica a compresión simple no es el único factor a tener en cuenta en la evaluación de la calidad del concreto elaborado con fibras de algodón de desecho, se deben realizar más investigaciones para determinar la durabilidad y resistencia a factores como la flexión y a la torsión en estructuras elaboradas con estas fibras de algodón. Además, se debe seguir investigando y desarrollando tecnologías para asegurar una mejor distribución de las fibras y minimizar los efectos negativos en el proceso de producción y curado del concreto, contribuyendo a la construcción de edificios más seguros y duraderos.

La metodología de diseño utilizada en esta investigación se detalla en profundidad en el ANEXO I. Metodología de diseño de una mezcla de concreto modificado con fibras de algodón.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 544.1R-96 (2002). Fiber Reinforced Concrete (FRC). Report on Fiber Reinforced Concrete. Indiafiber.com., from <http://indiafiber.com/Files/ACI%20report.pdf>.
- Ali, B., Qureshi, L., & Khan, S. (2020). Flexural behavior of glass fiber-reinforced recycled aggregate concrete and its impact on the cost and carbon footprint of concrete pavement. *Construction And Building Materials*, 262, 120820. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120820>
- Alomayri, T., Assaedi, H., Shaikh, F., & Low, I. (2014). Effect of water absorption on the mechanical properties of cotton fabric-reinforced geopolymer composites. *Journal Of Asian Ceramic Societies*, 2(3), 223-230. <https://doi.org/10.1016/j.jascer.2014.05.005>
- Aslam, M., Huang, B., & Cui, L. (2020). Review of construction and demolition waste management in China and USA. *Journal Of Environmental Management*, 264, 110445. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110445>
- ASTM C199M-13 “Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1989, p.6.
- Aydın, İ., & Arslan, S. (2018). Mechanical properties of cotton shoots for topping. *Industrial Crops And Products*, 112, 396-401. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.036>
- Aziz, M., Paramasivam, P., & Lee, S. (1981). Prospects for natural fibre reinforced concretes in construction. *International Journal Of Cement Composites And Lightweight Concrete*, 3(2), 123-132. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(81\)90006-3](https://doi.org/10.1016/0262-5075(81)90006-3)
- B. Mather and H. Ozyildirim, Cartilla del concreto. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2004. ISBN 968-464-143-5.
- Batuer, A., Chen, D., Xin, Q., He, X., Zhang, J., & Huang, Z. (2020). Mechanical properties of waste cotton and their changes during early pyrolysis. *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, 149, 104855. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104855>

Bazán E., Ruiz F., (2020), Influencia de las fibras de celulosa en las propiedades físicas y mecánicas del concreto $f'_c=210$ kg/cm², Universidad César Vallejo, Tesis. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59789>

"Componentes y propiedades del cemento | Características - IECA", ieca, 2021. [Online]. Available: <https://www.ieca.es/componentes-y-propiedades-del-cemento/>.

Conacyt.mx, 2021. [Online]. Available: <https://conacyt.mx/cibiogem/algodon>.

Cotton Properties. Cottoninc.com. (2022). from <https://www.cottoninc.com/quality-products/nonwovens/cotton-fiber-tech-guide/cotton-properties/>.

Cotton Morphology and Chemistry. Cottoninc.com. (2022), from <https://www.cottoninc.com/quality-products/nonwovens/cotton-fiber-tech-guide/cotton-morphology-and-chemistry/>.

Del Rey Castillo, E., Almesfer, N., Saggi, O., & Ingham, J. (2020). Light-weight concrete with artificial aggregate manufactured from plastic waste. *Construction And Building Materials*, 265, 120199. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120199>

Djafari Petroudy, S. (2017). Physical and mechanical properties of natural fibers. *Advanced High Strength Natural Fibre Composites In Construction*, 59-83. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100411-1.00003-0>

Fan, M., & Fu, F. (2017). Introduction. *Advanced High Strength Natural Fibre Composites In Construction*, 1-20. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100411-1.00001-7>

Giaccio, G., & Zerbino, R. (1998). Failure Mechanism of Concrete. *Advanced Cement Based Materials*, 7(2), 41-48. [https://doi.org/10.1016/s1065-7355\(97\)00014-x](https://doi.org/10.1016/s1065-7355(97)00014-x)

Guo, Z. (2014). Part 2 Combination Function of Reinforcement and Concrete. *Principles Of Reinforced Concrete*, 157-158. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800859-1.02002-8>

Hasani, M., Moghadas Nejad, F., Sobhani, J., & Chini, M. (2021). Mechanical and durability properties of fiber reinforced concrete overlay: Experimental results and numerical simulation. *Construction And Building Materials*, 268, 121083. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121083>

- Hawley, J. (2009). Understanding and improving textile recycling: a systems perspective. *Sustainable Textiles*, 179-199. <https://doi.org/10.1533/9781845696948.1.179>
- Hayashi, S., & Gondo, T. (2021). Analysis of the construction of a reinforced-concrete free-form roof formwork and the development of a unit-construction method. *Journal Of Building Engineering*, 34, 101924. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101924>
- Ho, H., Iizuka, A., & Shibata, E. (2021). Chemical recycling and use of various types of concrete waste: A review. *Journal Of Cleaner Production*, 284, 124785. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124785>
- Kabirifar, K., Mojtahedi, M., Wang, C., & Tam, V. (2020). Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. *Journal Of Cleaner Production*, 263, 121265. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121265>
- Karjalainen, A., & Sisko, A. (1997). Asbestos exposure and the risk of lung cancer in urban populations. *Advances In Environmental Control Technology: Health And Toxicology*, 127-136. <https://doi.org/10.1016/b978-088415386-3/50008-4>
- Kimm, M., Pico, D., & Gries, T. (2020). Investigation of surface modification and volume content of glass and carbon fibres from fibre reinforced polymer waste for reinforcing concrete. *Journal Of Hazardous Materials*, 390, 121797. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121797>
- Madhavi, K., Harshith, V., Gangadhar, M., Chethan Kumar, V., & Raghavendra, T. (2021). External strengthening of concrete with natural and synthetic fiber composites. *Materials Today: Proceedings*, 38, 2803-2809. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.737>
- Martín A., (2020), Estudio del comportamiento de fibras naturales para reforzar concreto, Tesis, Universitat Politècnica de València, <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/160345/Mart%C3%ADn%20-%20Estudio%20comparativo%20de%20fibras%20naturales%20para%20reforzar%20hormig%C3%B3n.pdf?sequence=1>

- Moazzem, S., Wang, L., Daver, F., & Crossin, E. (2021). Environmental impact of discarded apparel landfilling and recycling. *Resources, Conservation And Recycling*, 166, 105338. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105338>
- Mohammadyan-Yasouj, S., & Ghaderi, A. (2020). Experimental investigation of waste glass powder, basalt fibre, and carbon nanotube on the mechanical properties of concrete. *Construction And Building Materials*, 252, 119115. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119115>
- M-MMP-2-02-001/00, Instituto Mexicano del Transporte, “*Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Muestreo de Cemento Portland*”, 2000. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-001-00.pdf>
- M-MMP-2-02-019/20, Instituto Mexicano del Transporte, “*Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Muestreo de Agregados Pétreos*”, 2020. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-019-20.pdf>
- M-MMP-2-02-020/18, Instituto Mexicano del Transporte, “*Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Granulometría de los Agregados Pétreos*”, 2018. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-020-18.pdf>
- M-MMP-2-02-023/18, Instituto Mexicano del Transporte, “*Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Masa Volumétrica de los Agregados Pétreos*”, 2018. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-023-18.pdf>
- M-MMP-2-02-030/18, Instituto Mexicano del Transporte, “*Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Partículas más finas que la malla N°200 (0.075 mm) en los agregados pétreos*”, 2018. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-030-18.pdf>
- M-MMP-2-02-032/18, Instituto Mexicano del Transporte, “*Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Resistencia a la degradación del agregado grueso mediante la máquina de los ángeles*”, 2018. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-032-18.pdf>
- M-MMP-2-02-056/06, Instituto Mexicano del Transporte, “*Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Revenimiento del Concreto Fresco*”, 2006. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-056-06.pdf>

- M-MMP-2-02-058/04, Instituto Mexicano del Transporte, “*Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto*”, 2004. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-058-04.pdf>
- M-MMP-2-02-059/04, Instituto Mexicano del Transporte, “*Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto*”, 2004. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-059-04.pdf>
- N-CMT-2-02-001/02, Instituto Mexicano del Transporte, “*Características de los Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Calidad del Cemento Portland*”, 2002. <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-001-02.pdf>
- N-CMT-2-02-002/02, Instituto Mexicano del Transporte, “*Características de los Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico*”, 2002. <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-002-02.pdf>
- N-CMT-2-02-003/02, Instituto Mexicano del Transporte, “*Características de los Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Calidad del Agua para Concreto Hidráulico*”, 2002. <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-003-02.pdf>
- N-CMT-2-02-005/04, Instituto Mexicano del Transporte, “*Características de los Materiales, Materiales para Concreto Hidráulico, Calidad del Concreto Hidráulico*”, 2004, <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-005-04.pdf>
- NMX C-122-1982, “*Agua para Concreto*”, Norma Mexicana, 1998.
- NMX-C-414-ONNCCE-1999, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, “*Cementos hidráulicos, Especificaciones u Métodos de Prueba, México, D.F.*”, 1999.
- Ochshorn, J. (2010). Material properties. *Structural Elements For Architects And Builders*, 61-71. <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-771-9.00003-9>
- Peña-Pichardo, P., Martínez-Barrera, G., Martínez-López, M., Ureña-Núñez, F., & dos Reis, J. (2018). Recovery of cotton fibers from waste Blue-Jeans and its use in

- polyester concrete. *Construction And Building Materials*, 177, 409-416. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.137>
- Perera, S., Arulrajah, A., Wong, Y., Horpibulsuk, S., & Maghool, F. (2019). Utilizing recycled PET blends with demolition wastes as construction materials. *Construction And Building Materials*, 221, 200-209. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.047>
- Savastano, H., Santos, S., Fiorelli, J., & Agopyan, V. (2016). Sustainable use of vegetable fibres and particles in civil construction. *Sustainability Of Construction Materials*, 477-520. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100370-1.00019-6>
- Saurabh A., Prof. A. R. Darji., (2014), Effect of strength of concrete incorporating cotton fiber and silica fume, International Journal for Scientific Research & Development, 107-109, <http://ijsrd.com/Article.php?manuscript=IJSRDV2I6041>
- Shahinur, S., & Hasan, M. (2020). Natural Fiber and Synthetic Fiber Composites: Comparison of Properties, Performance, Cost and Environmental Benefits. *Encyclopedia Of Renewable And Sustainable Materials*, 794-802. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.10994-4>
- Silva, G., Kim, S., Bertolotti, B., Nakamatsu, J., & Aguilar, R. (2020). Optimization of a reinforced geopolymer composite using natural fibers and construction wastes. *Construction And Building Materials*, 258, 119697. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119697>
- Singh, H., & Gupta, R. (2020). Influence of cellulose fiber addition on self-healing and water permeability of concrete. *Case Studies In Construction Materials*, 12, e00324. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00324>
- Sokhansefat, G., Ley, M., Cook, M., Alturki, R., & Moradian, M. (2019). Investigation of concrete workability through characterization of aggregate gradation in hardened concrete using X-ray computed tomography. *Cement And Concrete Composites*, 98, 150-161. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.02.008>
- Sormunen, P., & Kärki, T. (2019). Recycled construction and demolition waste as a possible source of materials for composite manufacturing. *Journal Of Building Engineering*, 24, 100742. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100742>

- Terrenos Luis Eduardo, Carvajal Iván Leonardo. (2016). “Análisis de las propiedades mecánicas de un hormigón convencional adicionando fibra de cáñamo”. Proyecto de grado para optar por título de ingeniero civil. 2016. p. 42.
- The Guardian, 2019. Opinion: Recycling, Australia recycles paper and plastics. So why does clothing end up in landfill. The Guardian. Retrieved from. <https://www.theguardian.com/commentisfree/2019/aug/27/australia-recycles-paper-and-plastics-so-why-does-clothing-end-up-in-landfill>.
- Tokyay, M., & Özdemir, M. (1997). Specimen shape and size effect on the compressive strength of higher strength concrete. *Cement And Concrete Research*, 27(8), 1281-1289. [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(97\)00104-x](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(97)00104-x)
- Valdiviezo Quispe, g. (2016). Análisis técnico comparativo del comportamiento a compresión de concretos fabricados con fibra proteica (lana de borrego) y fibra celular (algodón) como una alternativa sostenible de aprovechamiento de recursos. Tesis. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23921/1/Tesis%201045%20-%20Valdiviezo%20Quispe%20Grace%20Estefan%20C3%ADa.pdf>
- Venkatarajan, S., & Athijayamani, A. (2021). An overview on natural cellulose fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 37, 3620-3624. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.773>
- Vu, C., Plé, O., Weiss, J., & Amitrano, D. (2020). Revisiting the concept of characteristic compressive strength of concrete. *Construction And Building Materials*, 263, 120126. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120126>
- Vu, C., Weiss, J., Plé, O., Amitrano, D., & Vandembroucq, D. (2018). Revisiting statistical size effects on compressive failure of heterogeneous materials, with a special focus on concrete. *Journal Of The Mechanics And Physics Of Solids*, 121, 47-70. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2018.07.022>
- Xu, H., Shao, Z., Wang, Z., Cai, L., Li, Z., Jin, H., & Chen, T. (2020). Experimental study on mechanical properties of fiber reinforced concrete: Effect of cellulose fiber, polyvinyl alcohol fiber and polyolefin fiber. *Construction And Building Materials*, 261, 120610. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120610>

ANEXO I. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO MODIFICADO CON FIBRAS DE ALGODÓN.

Hay muchos métodos para diseñar mezclas de concreto con características específicas, pero es importante tener en cuenta que estos métodos son solo una guía y siempre se necesitan pruebas de laboratorio para ajustarlos correctamente.

Método general para diseño de mezcla de concreto con fibras de algodón.

1. Plantear resistencia ($f'c$) y revenimiento esperado. Antes de diseñar la mezcla, se deben plantear las propiedades del concreto que se desea producir, como la resistencia a la compresión. Estas propiedades determinarán la proporción adecuada de los materiales que se deben utilizar.
2. Encontrar el tamaño máximo de la grava. Para esto, se realiza un cribado utilizando las mallas en orden ascendente de apertura: No. 4, 3/8", 1/2", 3/4" y 1". Durante el cribado, se mueven los brazos y se alterna la malla en forma horizontal y vertical para evitar la pérdida de material. Se considerará el proceso terminado cuando no pase más del 1% en peso a través de la malla. Después, se pesan las fracciones y se elaboran las tablas correspondientes. Para graficar, se utiliza el tamaño de la malla en el eje X y los porcentajes retenidos acumulados en el eje Y. Finalmente, se realizan los cálculos correspondientes.
3. Cálculo de la cantidad de agua en la mezcla de concreto. Para esto se utiliza el revenimiento planteado, el tamaño máximo de grava obtenido y con la Tabla A.1.1 se obtiene la cantidad de agua.

Tabla A.1.1. Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado (American Concrete Institute, 2014)

Revenimiento, cm	Agua, kg/m ³ concreto para TMG, mm							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
De 2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
De 15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-----
Cantidad aprox. Aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
De 2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
De 7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
De 15.0 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	-----
Promedio recomendado de aire por incluir por exposición								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

4. Obtención de la relación agua/cemento. Se usa la resistencia ($f'c$) planteada y haciendo uso de la Tabla A.1.2 se obtiene la relación a/c.

Tabla A.1.2. Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto (American Concrete Institute, 2014)

Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm ²	Relación agua/cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-----
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

5. Determinar el consumo de cemento. Con la información obtenida en los pasos tres y cuatro, se determina el consumo de cemento, dividiendo la cantidad de agua requerida entre la relación agua/cemento.
6. Estimar la cantidad de grava. De la tabla A.1.3 se estima la cantidad de grava; para un módulo de finura y un tamaño máximo de grava obtenido, por lo tanto el peso de la grava es la multiplicación del volumen de agregado grueso por el peso volumétrico de la grava.

Tabla A.1.3. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto (American Concrete Institute, 2014)

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

7. Calcular la cantidad de arena mediante el método del peso o el método del volumen absoluto. Conociendo la cantidad de agua, cemento y grava, el material restante que completa un metro cúbico corresponderá a la arena y aire que pueda quedar atrapado.
8. Establecer el peso correspondiente al porcentaje de fibras de algodón para un m³ de concreto. Se multiplica el porcentaje total de fibras de algodón a incorporar por el peso total de todos los materiales a utilizar.

A continuación se presentará con un ejemplo de diseño de mezcla.

Se requiere preparar un metro cúbico de concreto, con una resistencia $f'c = 210$ kg/cm², con un revenimiento de 10 cm y 0.5% fibras de algodón del peso de un m³ de concreto. Se utilizará cemento Portland tipo CPC 30R RS. El tamaño máximo del agregado grueso es de 25 mm, con un peso volumétrico aparente de 1554.18 kg/m³, y una densidad de 2.69 gr/cm³. En cuanto al agregado fino, éste posee un módulo de finura de 2.92 y una densidad de 2.67 gr/cm³.

Tabla A.1.4. Datos técnicos del material para la mezcla de concreto

Diseño de mezcla			
Designación		Características	Unidad
Resistencia a la compresión esperada:		210.00	kg/cm ²
Tipo de cemento utilizado:		Cemento Portland CPC 30R RS	
Revenimiento obtenido:		10.00	cm
Aire incluido:		No	
Densidad real:	Cemento:	2.908	gr/cm ³
	Arena:	2.67	gr/cm ³
	Grava:	2.69	gr/cm ³
Módulo de finura:	Arena:	2.923	
Peso volumétrico:	Grava:	1554.18	kg/m ³
	Arena:	1039.64	kg/m ³
Tamaño máximo:	Grava:	25.00	mm
Porcentaje de absorción:	Arena:	3.71	%
	Grava:	2.80	%
Porcentaje de humedad:	Arena:	20.45	%
	Grava:	1.49	%

Es preciso realizar las pruebas físicas en el laboratorio, en cumplimiento con las normas SCT, NMX y/o ASTM, a fin de obtener la información mencionada anteriormente.

La dosificación del concreto se lleva a cabo de acuerdo a los siguientes pasos:

En el primer paso, consultaremos las tablas para diseñar una mezcla con una resistencia de $f'c = 210$ kg/cm² a los 28 días, un revenimiento de 10 cm y utilizando cemento de tipo CPC 30R.

En el segundo paso, se determina que el tamaño máximo de la grava es de 25 mm.

En el tercer paso, utilizando la Tabla A.1.1, se establece que para un concreto sin aire incluido, con un revenimiento de 10 cm y un tamaño máximo de grava de 25 mm, se requerirá una cantidad de 193 kg/m³ (litros) de agua.

En el cuarto paso, según la Tabla A.1.2, se necesita una relación agua/cemento de 0.68 para obtener una resistencia de 210 kg/cm² en el concreto sin aire incluido.

En el quinto paso, con la información obtenida en los pasos tres y cuatro, se determina que el consumo de cemento será de 283.82 kg/m³, dividiendo la cantidad de agua requerida (193 kg/m³) entre la relación agua/cemento (0.68).

En el sexto paso, utilizando la Tabla A.1.3, estimamos la cantidad de grava; para un módulo de finura de 2.92, un tamaño máximo de grava de 25 mm, puede emplearse 0.66 metros cúbicos de grava, por lo tanto el peso de la grava es de $1554.18 \times 0.66 = 1025.75$ kg/m³.

En el séptimo paso, sabiendo el consumo de agua, cemento y grava, se puede calcular la cantidad de arena necesaria para completar un metro cúbico de concreto, considerando también el aire atrapado.

En el octavo y último paso, se puede determinar la cantidad de agregado fino (arena) mediante el método del peso o el método del volumen absoluto, calculando la diferencia entre el volumen total de los materiales y la suma de los volúmenes de agua, cemento, grava y aire.

El primer método, llamado "método del peso", requiere conocimiento previo del peso del concreto por unidad de volumen. En caso de no conocerse, se puede suponer y luego restar el peso total de los demás componentes de la mezcla al peso del concreto fresco para obtener el peso necesario de agregado fino.

El segundo método, más preciso, implica conocer los volúmenes absolutos de los componentes de la mezcla. En este caso, se suman los volúmenes de los demás

componentes conocidos y se restan del volumen total del concreto para obtener el volumen del agregado fino necesario. Luego, multiplicando el volumen determinado de arena por su densidad, se obtiene la cantidad exacta de arena necesaria para la mezcla.

Tabla A.1.5. Proporcionamiento del material por metro cubico sin corrección por humedad y absorción.

Materiales	Peso (kg/m3)	Densidad (gr/cm3)	volumen (Its)
Agua	193	1	193
Cemento	283.82	2.908	97.5997249
Grava	1025.75	2.69	381.3197026
Vol. Aire	0.02	1000	20
Total	1502.59	----	691.9194275

Vol. Arena 308.08 Its

Arena 822.57 kg

En el noveno paso se realizará la corrección por humedad y absorción.

Tabla A.1.6. Proporcionamiento del material por metro cubico con corrección por humedad y absorción

Proporción base		Corrección por humedad y absorción				Porción Real (kg)
		Humedad		Absorción		
Material	(kg)	%	Kg	%	Kg	
Cemento	284	-	-	-	-	284
Arena	823	20.45	168.3035	3.71	30.5333	960.7702
Grava	1026	1.49	15.2874	2.8	28.728	1012.5594
Agua	193		183.5909		59.2613	68.6704
Total	2326	-	-	-		2326

En paso número diez, se calculará el peso correspondiente al 0.5% fibras de algodón para un m3 de concreto.

Tabla A.1.7. Cantidad de fibras de algodón en la mezcla de concreto.

Porcentaje de algodón para un m3 de concreto		
Porcentaje de algodón (%)	Peso de 1m3 de concreto calculado (kg)	Cantidad total de algodón por % (kg)
0.5	2326	11.63

El proceso de fabricación de una muestra de concreto con fibras de algodón para los especímenes que se utilizarán en los ensayos sigue el procedimiento especificado por la Norma Oficial Mexicana (NOM), que es la C-159. Los pasos para llevar a cabo este procedimiento son los siguientes:

1. Se toma la cantidad necesaria de material de los almacenes de materia prima para las pruebas según normas SCT.
2. Se prepara el equipo necesario para la elaboración de las pruebas según normas SCT.
3. Se determina la humedad de los materiales según normas SCT.
4. Se calcula el diseño de mezcla a ensayar y se realiza la corrección por humedad.
5. Se pesan las cantidades de material necesarias.
6. Se humedece la revolvedora y se dosifican los materiales de la siguiente manera:

En primer lugar, colocar en la revolvedora el 50 % del total de grava, el 50 % del total de arena y mezclarlo durante 120 segundos. Luego, el 50% del total del cemento para ser mezclado uniformemente durante 30 segundos. A continuación se sumergirán las fibras de algodón en un 20% del total de agua de la mezcla durante 15 minutos. Esto para preparar una suspensión de fibras de algodón para mejorar la uniformidad con otros ingredientes. Después de la formación de la suspensión, se mezclarán los agregados restantes (50% de

grava, 50% de arena y 50% del cemento) junto con la suspensión de algodón en la revolvedora durante 2 minutos, una vez que la suspensión se mezcló completamente, se agregará el 80% de agua restante y se mezclará durante 3 minutos seguidos de 2 minutos de reposo y una mezcla final de 2 minutos.

7. Se homogeniza la muestra y se determina el revenimiento según normas SCT.

8. La mezcla se colocará en los moldes deseados, se compactará, se vibrará y se raspará el exceso de concreto según la norma M-MMP-2-02-055-06 para el diseño de concreto hidráulico de la siguiente manera:

Los moldes de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura deben colocarse en una superficie nivelada. Se debe tomar una muestra representativa de concreto con un cucharón y verterla dentro del molde hasta que alcance un tercio de su capacidad. Luego, se debe utilizar una varilla de compactación para darle 25 golpes uniformes en la superficie del concreto.

En seguida, se debe seguir el mismo proceso para verter una segunda porción de concreto, que debe llenar aproximadamente dos tercios del molde, y se debe compactar de nuevo con 25 golpes de la varilla. La varilla debe penetrar aproximadamente 2 cm en la capa anterior.

Posteriormente, se debe verter una tercera capa de concreto para llenar el molde y compactar de nuevo con 25 golpes. Después, retire el excedente de material en el molde, utilizando la varilla de compactación para nivelar el borde superior del molde de manera horizontal.

Después de raspar el exceso, los moldes se cubrieran con una bolsa de plástico y se colocarán a temperatura ambiente durante las siguientes 24 horas.

9. El desmolde se realizará a las 24 horas y las muestras se colocarán en una cámara de curado estándar a temperatura mantenida a $23 \pm 2^\circ$ y humedad de 95% para

curar durante 28 días de acuerdo a las normas (M-MMP-2-02-058/04, 2001) y (M-MMP-2-02-059/04, 2004).

En resumen, este procedimiento asegura que se sigan los estándares adecuados para la fabricación de una muestra de concreto con fibras para los especímenes que se utilizarán en los ensayos, lo que garantiza resultados precisos y confiables.