UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

TITULO:

DETERMINACIÓN DE LOS PORCENTAJES ÓPTIMOS DE FIBRA DE COCO EN HORMIGONES HIDRÁULICOS.

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:

GILLIAN LARA

NOMBRE DEL TUTOR:

ING. CARMEN TERREROS, PHD, MSC.

SAMBORONDÓN, SEPTIEMBRE 2017

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DE MIEMBRO DE TRIBUNAL

En mi calidad de miembro del tribunal del estudiante **Gillian Denisse Lara Zamora**, que cursa estudios en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UEES,

CERTIFICO:

Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **DETERMINACIÓN DE LOS PORCENTAJES OPTIMOS DE FIBRA DE COCO EN HORMIGONES HIDRÁULICOS,** presentado por el estudiante, con cédula de ciudadanía N° 1206810903, como requisito previo para optar por el título de **Ingeniera Civil**, y considero que dicho trabajo investigativo reúnelos requisitos y méritos suficientes para ser presentado en Defensa Final.

Miembros del Tribunal:

Samborondón, Septiembre 2017

CERTIFICACIÓN FINAL DE APROBACIÓN DEL TUTOR

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a mis profesores, la Ing. Carmen Terreros de Varela y el Ing. Urbano Caicedo, quienes son parte fundamental de lo que ha sido mi transcurso en toda mi carrera universitaria, agradecerles por los conocimientos inculcados dentro y fuera de las aulas lo cual ha sido de suma importancia en el campo laboral, un agradecimiento a mi compañero y amigo, el Ing. Franklin Barros, por haber sido un mentor y guía en todos estos años de carrera.

A todos quienes de una u otra forma estuvieron respaldando la realización del presente trabajo de Investigación.

DEDICATORIA

En este día tan importante me gustaría dedicar este logro a Dios por darme la inteligencia, paciencia y perseverancia para lograr culminar una etapa más como lo es mi carrera universitaria. Gracias totales a mi familia; a mi mamá por su ejemplo de lucha la cual ha sido un pilar fundamental, a mis amigos, que en el transcurso de la carrera fueron parte esencial de mi crecimiento en las aulas, a mis profesores, los cuales gracias a sus enseñanzas lograron impregnar conocimientos que me servirán para toda la vida.

CONTENIDO

RESUMEN.....XV

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA 1

1.1. Planteamiento del problema 1

1.2. Formulación del problema..... 3

1.3. Sistematización del problema..... 3

1.4. OBJETIVOS..... 4

1.4.1. Objetivo General 4

1.4.2. Objetivos Específicos..... 4

1.5. Justificación..... 4

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 5

2.1. Marco Referencial 5

2.1.1. Antecedentes. 5

2.2. Hormigón como material de construcción 5

2.2.1. Introducción 5

2.2.2. Componentes básicos del hormigón. 6

2.2.3. Características esfuerzo-deformación del hormigón simple bajo compresión axial. 14

2.2.4. Características esfuerzo-deformación del hormigón simple bajo flexión. 20

2.3. Fibra de coco como material de construcción. 23

2.3.1. Introducción 23

2.3.2. Características de la fibra de coco 24

2.3.3. Interacción fibra-hormigón 26

2.3.4. Costo de la fibra de coco 28

2.3.5. Durabilidad. 28

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA. 30

3.1. Materiales usados. 30

3.2. Características de las muestras. 32

3.3. Características del agregado grueso. 33

3.4. Características del agregado fino. 35

3.5. Dosificación del hormigón a ensayar. 36

3.6. Instrumentos de recolección de datos. 38

3.7. Técnicas de investigación. 39

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS. 40

4.1. Introducción. 40

4.2. Análisis y presentación de resultados con muestras a compresión simple (cilindros). 40

4.3. Análisis y presentación de resultados con muestras a flexión (viguetas). 49

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 62

5.1. Conclusiones 62

5.2. Recomendaciones. 63

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1, Esquema de un horno para Clinker. 7

Figura 2, Sacos de cemento para varios usos. 9

Figura 3, Agregados para el hormigón. 10

Figura 4, Máquina de tamizado 12

Figura 5, Adición de agua a la mezcla de hormigón. 13

Figura 6 Falla en compresión de un cilindro de hormigón. 15

Figura 7 Curva esfuerzo – deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración 17

Figura 8, Efecto de la edad al ensayar en la resistencia. 18

Figura 9, Variación de resistencia del hormigón con la edad 19

Figura 10, Efecto de la resistencia en el hormigón, (Park) 20

Figura 11, Ensayo a flexión en vigas de hormigón simple (Contreras 2007) 21

Figura 12, Fibra de coco para ensayos en probetas de hormigón 23

Figura 13, Probetas de hormigón con fibra de coco 27

Figura 14, Concretera para realizar mezclas de agregados 32

Figura 15, Curva granulométrica de piedra ¾..... 34

Figura 16, Curva granulométrica de arena homogeneizada. 35

Figura 17, Modelo matemático de compresión, f'c= 190 Kg/cm² 41

Figura 18, Gráfica Resistencia a la compresión simple VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=190 Kg/cm²..... 42

Figura 19, Gráfica Peso de muestras a compresión VS porcentaje de fibra, ... 42

Figura 20, Modelo matemático de compresión, f'c= 210 Kg/cm² 43

Figura 21, Gráfica Resistencia a la compresión simple VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=210 Kg/cm²..... 44

Figura 22, Gráfica Peso de muestras a compresión VS porcentaje de fibra, f'c=210 Kg/cm²..... 44

Figura 23, Modelo matemático de compresión, f'c= 270 Kg/cm² 45

Figura 24, Gráfica Resistencia a la compresión simple VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=270 Kg/cm²..... 46

Figura 25, Gráfica Peso de muestras a compresión VS porcentaje de fibra, f'c=270 Kg/cm²..... 46

Figura 26, Modelo matemático de compresión, f'c= 350 Kg/cm² 47

Figura 27, Gráfica Resistencia a la compresión simple VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=350 Kg/cm² 48

Figura 28, Gráfica Peso de muestras a compresión VS porcentaje de fibra, f'c=350 Kg/cm² 48

Figura 29, Modelo matemático de flexión, f'c= 190 Kg/cm² 50

Figura 30, Gráfica Resistencia a la flexión VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=190Kg/cm² 51

Figura 31, Gráfica Peso de muestras a flexión VS porcentaje de fibra, f'c=190 Kg/cm² 51

Figura 32, Modelo matemático de flexión, f'c= 210 Kg/cm² 52

Figura 33, Gráfica Resistencia a la flexión VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=210Kg/cm² 53

Figura 34, Gráfica Peso de muestras a flexión VS porcentaje de fibra, f'c=210Kg/ cm² 53

Figura 35, Modelo matemático de flexión, f'c= 270 Kg/cm² 54

Figura 36, Gráfica Resistencia a la flexión VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=270Kg/cm² 55

Figura 37, Gráfica Peso de muestras a flexión VS porcentaje de fibra,..... 55

Figura 38, Modelo matemático de flexión, f'c= 350 Kg/cm² 56

Figura 39, Gráfica Resistencia a la flexión VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=350Kg/cm² 57

Figura 40, Gráfica Peso de muestras a flexión VS porcentaje de fibra, f'c=350Kg/cm² 57

Figura 41, Gráfica de relación de pesos entre muestras a compresión simple..... 60

Figura 42, Gráfica de relación de pesos entre muestras a flexión..... 61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1, Compuestos del cemento. 7

Tabla 2, Tabla de materiales y laboratorio donde se realizaron los ensayos. 30

Tabla 3, Relación agua/cemento y resistencias del hormigón. 31

Tabla 4, Tabla con el número de cilindros ensayados 33

Tabla 5, Granulometría piedra ¾. 34

Tabla 6, Granulometría de arena homogeneizada. 35

Tabla 7, Dosificación para hormigón de f'c= 190 Kg/cm² 36

Tabla 8, Dosificación para hormigón de f'c= 210 Kg/cm² 36

Tabla 9, Dosificación para hormigón de f'c= 270 Kg/cm² 37

Tabla 10, Dosificación para hormigón de f'c= 350 Kg/cm² 37

Tabla 11, Resultados obtenidos a partir de cilindros a compresión, f'c=190 Kg/cm² 41

Tabla 12, Resultados obtenidos a partir de cilindros a compresión, f'c=210 Kg/cm² 43

Tabla 13, Resultados obtenidos a partir de cilindros a compresión, f'c=270 Kg/cm² 45

Tabla 14, Resultados obtenidos a partir de cilindros a compresión, f'c=350 Kg/cm² 47

Tabla 15, Resultados obtenidos a partir de viguetas, f'c=190 Kg/cm² 50

Tabla 16, Resultados obtenidos a partir de viguetas, f'c=210 Kg/cm² 52

Tabla 17, Resultados obtenidos a partir de viguetas, f'c=270 Kg/cm² 54

Tabla 18, Resultados obtenidos a partir de viguetas, f'c=350 Kg/cm² 56

Tabla 19, Relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a flexión del hormigón. 58

Tabla 20, Relación de pesos entre muestras a compresión simple 59

Tabla 21, Relación de pesos entre muestras a flexión 60

RESUMEN

Se ha evaluado el comportamiento del hormigón a distintas resistencias mediante la adición de fibra de estopa de coco obtenida como un residuo, tomando en consideración varios porcentajes de volumen, desde 0.5% al 2%.

Se presentan los resultados obtenidos en los compuestos, los cuales fueron probados a compresión axial y flexión mostrando resultados diferentes con cada porcentaje de fibra evaluado concluyendo dichos ensayos con una disminución de la resistencia de los elementos a un 2% de fibra.

Otro tipo de resultados presentados son las relaciones porcentuales entre la muestra de referencia y las muestras con la incorporación de la fibra evaluando el nivel de la reducción de pesos y resistencias.

Los resultados obtenidos son concordantes con investigaciones mediante experimentación, realizadas con anterioridad por diversos Institutos Académicos y corroboran una mejora en la tenacidad de la matriz de los elementos de hormigón.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El hormigón en su estado más básico es una mezcla de arena, piedra, cemento que mediante una reacción química con el agua forman una pasta que permite la adherencia entre los elementos mencionados, en ciertas ocasiones se suele agregar aditivos a la mezcla de hormigón para mejorar su durabilidad, resistencia entre otras propiedades.

Como la mayoría de los compuestos rocosos, el hormigón tiene una alta resistencia a la compresión y una baja capacidad a los esfuerzos de tensión. La baja capacidad a tensión del hormigón ha conducido a diseñadores en estructuras a adicionar elementos como varillas de acero para soportar dichos esfuerzos.

El hormigón probablemente sea el material más importante en la construcción, es usado de una u otra forma en diversos proyectos ya sean de pequeño, mediano o alto alcance como por ejemplo edificios, pavimentos, presas, túneles, sistemas de drenaje, tanques de almacenamiento, entre otros.

El gran éxito del material en proyectos alrededor de todo el mundo se puede entender de manera sencilla si se consideran las numerosas ventajas que presenta como por ejemplo gran resistencia a esfuerzos de compresión, durable frente a condiciones extremas sea mediante el uso del fuego o del agua, es un material moldeable que permite adoptar muchas formas de acuerdo a las necesidades del proyecto, presenta una alternativa económica (única alternativa en nuestro medio) para estructuras de cimentación sea superficial o profundas (pilotes). Sin embargo presenta ciertas desventajas como por ejemplo baja

resistencia a la tensión, es un material de alta densidad y por lo tanto pesado, tarda 28 días para garantizar su resistencia máxima, entre otras.

Para cada desventaja que presenta el material, se presentan soluciones adecuadas por ejemplo la integración de varillas de acero para elevar la resistencia a los esfuerzos de tensión, el uso de aditivos para disminuir el tiempo de fraguado y adquirir mayores resistencias en menor tiempo y el uso de distintos materiales para disminuir el peso del material sin afectar de una manera sensible su resistencia.

Se han realizado investigaciones acerca de la integración de fibras de distinto origen en el hormigón para mejorar su resistencia y a la vez hacerlo más ligero, tenemos por ejemplo fibras de amianto que permite mejorar su rendimiento, fibras de polipropileno, fibras inorgánicas como el carbono, el vidrio o el boro; así como también fibras orgánicas como la fibra de estopa de coco.

La fibra de estopa de coco se puede convertir en una valiosa alternativa de utilización de materia prima como agregado liviano en la composición del hormigón, todo esto con un doble fin: disminuir el peso de las estructuras y por supuesto ofrecer un grado adecuado de resistencia.

Investigaciones con fibras vegetales han sido realizados por muchas entidades académicas alrededor de todo el mundo, investigadores han enfatizado en el uso de fibras naturales como material de refuerzo en estructuras compuestas cuyos resultados han sido expuestos en congresos y simposios internacionales; en Latinoamérica se destacan publicaciones en Colombia por el Grupo de Investigación sobre el Fique, del Departamento de Materiales de Ingeniería de la

Universidad del Valle, grupo que ha desarrollado procesos para su aplicación como material de fibra (refuerzo en la fabricación de tejas).

Gracias a que la fibra de estopa de coco es un material económico y de fácil integración en la composición del hormigón con el fin de buscar material más ligero para la construcción, se considera que una investigación alrededor del tema es relevante en Ecuador.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las ventajas desde el punto de vista técnico de incorporar fibras de estopa de coco a la composición del hormigón?

1.3. Sistematización del problema

- ¿Cuál es la dosificación optima de fibra de coco en la composición del hormigón que permita mantener niveles adecuados de resistencia y permita hacerlo más ligero?
- ¿Qué beneficio económico se podría estimar cualitativamente al usar fibras orgánicas (fibra de coco) en la composición del hormigón?
- ¿De qué manera se altera la resistencia del hormigón ante esfuerzos de compresión y flexión mediante la integración de fibra de coco en la composición de la mezcla?
- ¿Qué variación de peso presentan los elementos de hormigón por medio de la adición de la fibra de coco en la composición de la mezcla?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Comparar y evaluar la resistencia en el tiempo, estimar rendimiento económico y la durabilidad del hormigón como material de construcción con la integración de fibra de estopa de coco en su composición.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Elaborar muestras para ensayos con distintas dosificaciones de fibra de coco en la composición del hormigón.
- Realizar una comparativa técnica de resistencias a la compresión de la muestra de referencia (sin fibra) VS las muestras con la integración de distintos porcentajes de fibra de coco.
- Realizar una comparativa técnica de resistencia a la flexión de la muestra de referencia (sin fibra) VS las muestras con la integración de distintos porcentajes de fibra de coco.
- Realizar una estimación de ventajas económicas en una estructura mediante la adición de la fibra de coco en el hormigón.

1.5. Justificación

Gracias al potencial presentado por investigaciones alrededor del mundo acerca de la integración de la fibra de coco como agregado ligero en la dosificación del hormigón se pretende realizar una comparativa mediante ensayos de laboratorio con agregados.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Referencial

2.1.1. Antecedentes.

Se requiere evaluar definiciones tanto del hormigón y su comportamiento, como de la fibra de coco y sus beneficios en la mezcla.

A partir de investigaciones anteriores se ha concluido que mediante la adición de fibras orgánicas como la de coco al hormigón se permite una disminución del peso de los elementos, manteniendo sus resistencias en niveles aceptables así como un aumento en resistencias a la tensión debido a que la fibra permite tejer las fallas por corte.

Teóricamente la fibra es un material de menor densidad que el hormigón por lo tanto al ocupar un porcentaje del volumen total, inmediatamente se verá reflejado como una disminución del peso de las muestras.

2.2. Hormigón como material de construcción

2.2.1. Introducción

> *"En su forma más simple, el concreto es una mezcla de pasta y áridos. La pasta, compuesto de cemento portland y agua, cubre la superficie de los agregados finos y gruesos. A través de una reacción química llamada hidratación, la pasta se endurece y gana resistencia para formar una masa mejor conocida como el hormigón" (Jiménez, 1991).*

El peso volumétrico del hormigón es elevado en comparación a otros materiales de construcción, y como los elementos estructurales de hormigón son

generalmente voluminosos, el peso es una característica que debe tomarse en consideración. Su valor oscila entre 1.9 y 2.5 Ton/m³ dependiendo principalmente del tipo de agregado pétreo que se use para la mezcla. Varias de otras características del hormigón se ven influenciadas por su peso volumétrico por esta razón, ciertos reglamentos de construcción en varios países establecen disposiciones que dependen del peso volumétrico.

El hormigón simple es resistente a la compresión pero su resistencia a la tensión es despreciable lo que limita su aplicabilidad como material estructural. Para resistir tensiones se emplea refuerzo de acero, generalmente en forma de barras, en donde se prevé que se desarrollaran tensiones bajo las acciones de servicio.

2.2.2. Componentes básicos del hormigón.

2.2.2.1. Cemento.

El cemento Portland es un conglomerante hidráulico que cuando se mezcla con áridos finos y gruesos en conjunto con el agua, tiene la propiedad de formar una masa pétrea resistente llamada hormigón. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con la misma para formar un material de propiedades aglutinantes.

Es considerado como un alúmino silicato de calcio, patentado por Joseph Aspdin en 1884, y denominado Portland por su semejanza a una piedra que abunda en esa localidad en Inglaterra. Se obtiene por calentamiento incipiente (aproximadamente 1300 °C) de una mezcla de minerales molidos, formados por

piedra caliza y arcilla. El calentamiento se produce en hornos giratorios levemente inclinados de 3.00 m de diámetro y 100.00 m de largo.

El material obtenido denominado *"Clinker"* se muele finamente adicionándole de un 2% a 3% de yeso para evitar un fraguado instantáneo.

Los compuestos del cemento así formado son:

NOMBRE	FÓRMULA	FÓRMULA DE ÓXIDOS	PORCIENTO
Silicato dicálcico	Ca_2SiO_4	SiO_2 . 2caO	32%
Silicato tricálcico	Ca_3SiO_5	SiO_2 .3CaO	40%
Aluminato tricálcico	$Ca_3Al_2O_6$	Al_2O_3. .3CaO	10%
Ferroaluminato tetra cálcico	$Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$	Al_2O_3. Fe_2O_3.4CaO	9%
Sulfato de calcio[1]	$CaSO_4$		2-3%

Tabla 1, Compuestos del cemento.

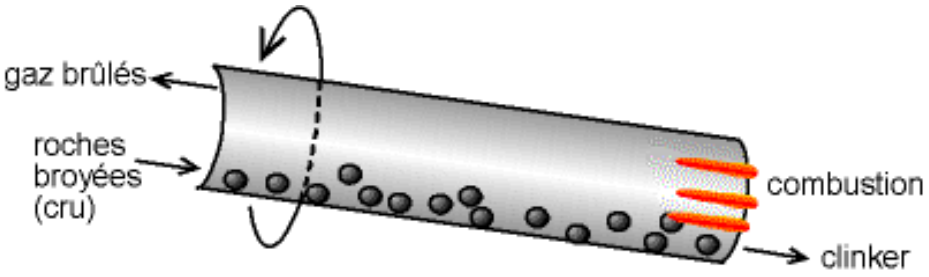

Figura 1, Esquema de un horno para Clinker.

El cemento Portland se presenta en varios tipos tal como se detalla a continuación:

- Cemento Tipo I: Es el cemento Portland destinado a obras de hormigón en general, cuando en las mismas no se especifique la utilización de otro tipo (edificios, estructuras industriales, conjuntos habitacionales). Libera más calor de hidratación que otros tipos de cemento.
- Cemento Tipo II: De moderada resistencia a los sulfatos, es el cemento Portland destinado a obras de hormigón en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación, cuando así sea especificado. (puentes, tuberías de hormigón).
- Cemento Tipo III: Presenta una alta resistencia inicial, como cuando se necesita que la estructura de hormigón pueda soportar la carga lo antes posible o se requiera desencofrar a los pocos días del vaciado.
- Cemento Tipo IV: Se requiere bajo calor de hidratación y es muy útil cuando no deben producirse dilataciones de los elementos de hormigón durante el fraguado (presas).

- Cemento Tipo V: Usado Donde se requiera una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos (canales, alcantarillas, obras portuarias)

Figura 2, Sacos de cemento para varios usos.

2.2.2.2. Agregados.

Los agregados o áridos son materiales granulares inertes tales como arena, grava o piedra triturada que en conjunto con el cemento y el agua forman los ingredientes fundamentales del hormigón.

> *"Para una buena mezcla de concreto, agregados deben ser, partículas sólidas duras limpias libres de productos químicos o revestimientos de arcilla y otros materiales nobles absorbidos que podrían causar el deterioro del hormigón. Los agregados, que representan de 60 a 75 por ciento del volumen total de hormigón, se dividen en dos categorías distintas: fino y grueso. Estos agregados generalmente consisten en arena natural o piedra triturada con la mayoría de las partículas que pasan a través de un tamiz de 3/8 pulgadas. Los agregados gruesos son cualesquiera partículas mayores de 0,19 pulgadas, pero generalmente oscilan entre 3/8 y 1,5 pulgadas de diámetro. Las gravas que constituyen la mayoría del agregado grueso utilizado en concretos son piedras trituradas." (Romo Proaño)*

La arena por lo general se excava o se draga de un pozo, río o lecho marino, mientras que la grava es producida por la trituración de la roca de cantera, cantos rodados, adoquines o gravas de gran tamaño. Una fuente que también se puede tomar en consideración como agregado grueso, es el hormigón reciclado habiendo sido utilizado satisfactoriamente en hormigón nuevo y subbases.

Figura 3, Agregados para el hormigón.

Después de la trituración, el agregado se procesa, tamiza y se lava para obtener la limpieza y la gradación adecuada de acuerdo a los requerimientos de normas ASTM. Una vez hecho el procesamiento, los agregados se almacenan para minimizar en lo posible la segregación, degradación y prevenir sobre todo la contaminación.

Los agregados tienen una fuerte influencia sobre el mezclado y endurecido del hormigón, las proporciones en la mezcla y su economía, por lo tanto

la selección del agregado grueso y fino es un proceso muy relevante. Las características más importantes que se consideran en la selección de los agregados son las siguientes:

- Peso y porosidad
- Durabilidad
- Clasificación.
- La absorción de la humedad.
- La abrasión y resistencia al deslizamiento
- Forma de partículas y la textura de la superficie

Para garantizar la calidad de los agregados en la mezcla de hormigón se realizan ensayos que permiten conocer si las características de los mismos se encuentran dentro de los límites aceptables, entre los ensayos más importantes se encuentran:

- Análisis granulométrico.
- Módulo de finura.
- Gravedad especifica.

- Absorción de humedad.

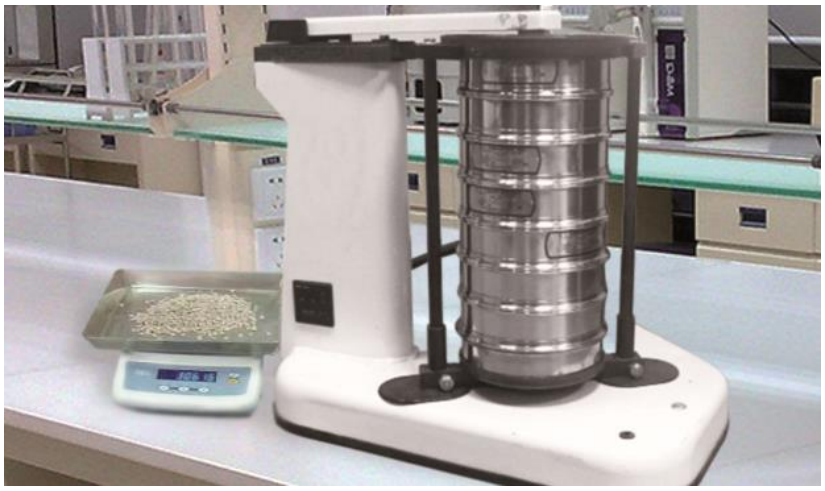

Figura 4, Máquina de tamizado

2.2.2.3. Agua.

El agua, es considerada con una de las materias primas para la confección y curado del hormigón, y se requiere que cumpla con normas de calidad. Esta deberá ser limpia y fresca hasta donde sea posible y no deberá contener residuos de aceites, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio y calcio, sales, limo, materia orgánica u otras sustancias dañinas.

Una vez que se ha elaborado la mezcla combinando los agregados, el cemento y el agua, comienza el endurecimiento de la misma. Todos los cementos Portland son hidráulicos que establecen y se endurecen a través de una reacción química con la llamada agua de hidratación. Durante esta reacción, se forma un nodo en la superficie de cada partícula de cemento. El nodo crece y se expande hasta que enlaza con nodos de otras partículas de cemento o se adhiere a los agregados adyacentes. Una vez que el hormigón ha sido elaborado, se coloca en encofrados antes de que la mezcla se haya endurecido demasiado para

posteriormente mediante vibrado, eliminar bolsas de aire que puedan existir. (*Determinación de los porcentajes óptimos de fibra de vidrio para hormigones de baja, mediana y alta resistencia, UEES, 2016)*

Figura 5, Adición de agua a la mezcla de hormigón.

El curado se inicia una vez se ha endurecido el hormigón y se encarga de asegurar la hidratación continua del cemento para que el hormigón siga ganando resistencia. Entre los métodos de curado más usados están la aspersión con niebla de agua, mediante el uso de telas que retienen la humedad, sellado de superficie con plástico para evitar la pérdida de humedad, sprays especiales llamados compuestos de curado entre otros. La mayor parte del aumento de la hidratación y la fuerza tienen lugar durante el primer mes del ciclo de vida del hormigón, pero la hidratación continúa durante muchos años a un ritmo más lento. (*Determinación de los Porcentajes Óptimos de Fibra de Vidrio para Hormigones de Baja, Mediana y Alta Resistencia, UEES, 2016)*

2.2.3. Características esfuerzo-deformación del hormigón simple bajo compresión axial.

El objeto principal del estudio del comportamiento del hormigón es la obtención de las relaciones acción-respuesta del material, bajo la gama total de solicitaciones a que puede estar sujeto. Estas características acción-respuesta pueden describirse claramente mediante curvas esfuerzo-deformación de especímenes ensayados bajo distintas condiciones. (*Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado, González Cuevas, 2005)*

El esfuerzo es una medida de la acción ejercida en el espécimen, y la deformación, una medida de la respuesta. Sin embargo, en ciertos casos, como por ejemplo en asentamientos y contracciones, esta relación se invierte; es decir, las solicitaciones quedan medidas por la deformación y la respuesta está representada por los esfuerzos respectivos.

Para conocer el comportamiento del hormigón es necesario determinar las curvas esfuerzo – deformación correspondientes a distintos tipos de acciones a que puede estar sometido como estados uniaxiales de compresión y tensión, a estados biaxiales de compresión y tensión y a estados triaxiales de compresión.

2.2.3.1. Modos de falla.

En la *figura 6* se muestra un cilindro de hormigón ensayado a compresión axial. En cilindros con relaciones de lado a diámetro igual a dos, como el que se muestra en la figura, la falla puede presentarse a través de planos diagonales con respecto a la dirección de la carga.

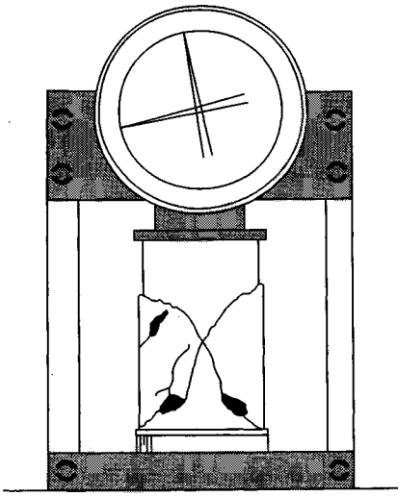

Figura 6 Falla en compresión de un cilindro de hormigón.

Esta inclinación se debe principalmente a la restricción que ofrecen las placas de apoyo de la máquina contra movimientos laterales. Si se engrasan los extremos del cilindro para reducir fricciones o en su defecto el espécimen fuese más esbelto, las grietas se producirían de forma paralela a la aplicación de la carga debido a que el hormigón tratará de expandirse lateralmente. (*Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado, González Cuevas, 2005)*

2.2.3.2. Curvas esfuerzo – Deformación.

Las curvas esfuerzo – Deformación se obtienen del ensaye de prismas sujetos a cargas axial repartida uniformemente en la sección transversal. Los valores del esfuerzo resultan de dividir la carga aplicada P para el área de la sección transversal de espécimen y representan valores promedio obtenidos bajo la hipótesis de que la distribución de deformaciones es uniforme y que las características esfuerzo – deformación del hormigón son constantes en toda la masa. El valor de la deformación unitaria, %, es la relación entre el acortamiento total, a, y la longitud de medición l, tal como se muestra en la *figura 7*.

Hay que tomar en consideración que el hormigón es un material heterogéneo, lo anterior es una idealización del fenómeno. Según la distribución de la pasta y del agregado en la masa total, los esfuerzos, considerados como la carga soportada en un área diferencial, variarán de un punto a otro de una misma sección. Sin embargo esta variación no será significativa desde el punto de vista del diseño estructural.

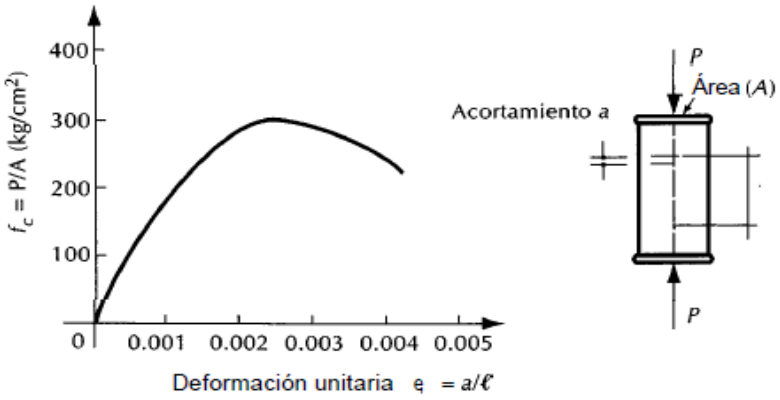

Figura 7 Curva esfuerzo – deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración.

De acuerdo a la curva esfuerzo-deformación presentada en la *figura 2* se puede apreciar que el hormigón no es un material elástico y que la primera parte de la curva no es rigurosamente recta. Sin embargo puede considerarse una porción recta hasta el 40% de la carga máxima. Se observa adicionalmente que la curva llega un punto máximo y luego tiene una rama descendente. El colapso se produce comúnmente a una carga menor que la máxima.

2.2.3.3. Efecto de la edad.

Debido al proceso continuo de hidratación del cemento, el hormigón aumenta su capacidad de carga con el tiempo. Este proceso suele ser más o menos efectivo de acuerdo a la condiciones de intercambio de agua con el ambiente, por lo tanto, la capacidad de carga del hormigón depende de las condiciones del curado en el tiempo.

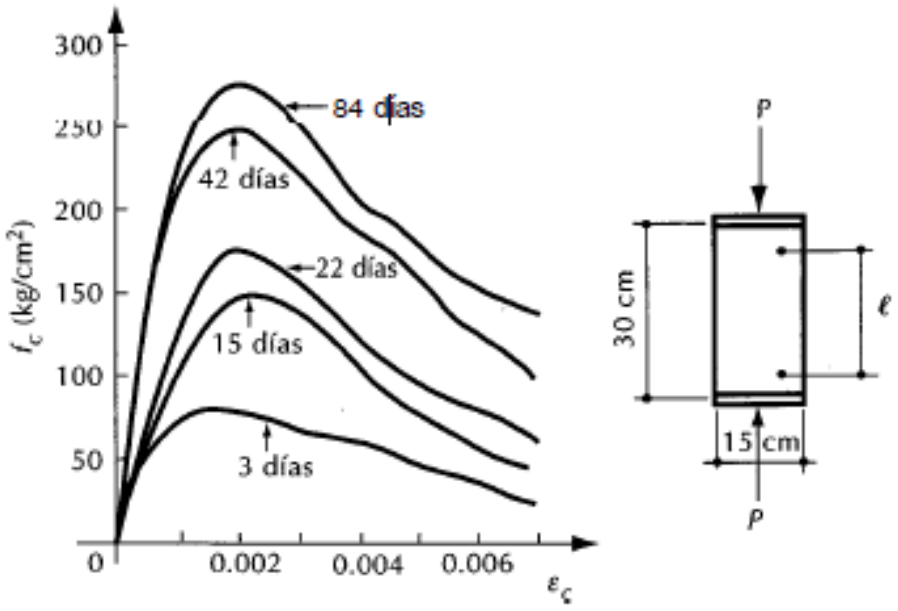

Figura 8, Efecto de la edad al ensayar en la resistencia.

La *figura 8* muestra curvas esfuerzo-deformación de cilindros de 15x30 cm, fabricados de un mismo hormigón y ensayados a distintas edades. Todos los cilindros fueron curados en las mismas condiciones hasta el día en que fueron ensayados.

El aumento de la edad depende también del tipo de cemento, sobre todo a edades tempranas del hormigón, la *figura 9* muestra el aumento de resistencia con la edad para cilindros de 15x30 cm, hechos con cemento normal (tipo I), y de alta resistencia inicial (tipo III), que son los tipos más empleados en construcciones de hormigón armado.

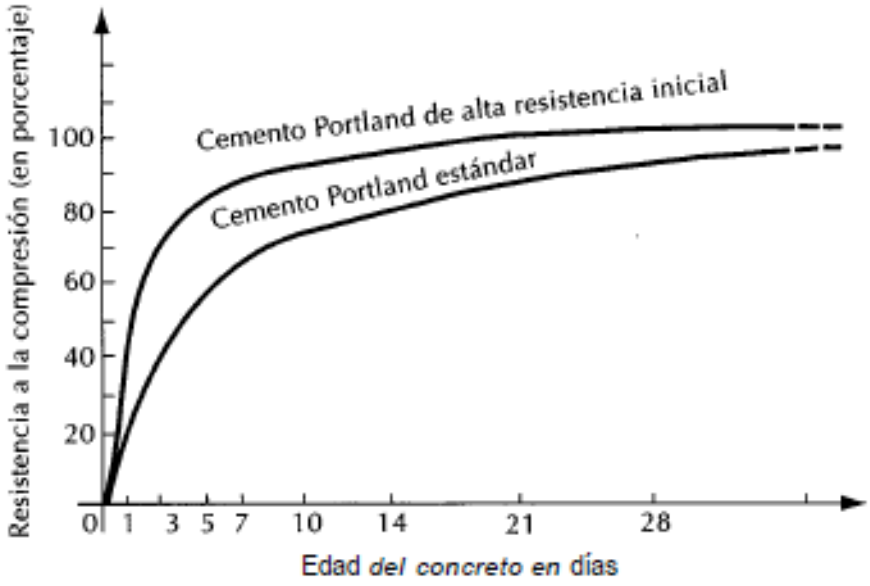

Figura 9, Variación de resistencia del hormigón con la edad

2.2.3.4. Efecto de la resistencia.

Las curvas mostradas en la *figura* corresponden a hormigones con resistencias a la compresión comprendidas entre 200 y 300 Kg/cm². En tiempos modernos se han desarrollado hormigones con resistencias mucho mayores, hasta más de 1000 Kg/cm², llamados hormigones de muy alta resistencia. Aunque no hay una definición precisa, se puede considerar que un hormigón con una resistencia mayo r a 400 Kg/cm², ya es de muy alta resistencia.

La forma de la curva esfuerzo-deformación varía con la resistencia del hormigón, en la *figura 10* se muestran curvas de concreto cuyas resistencias varían de 250 Kg/cm² a 1200Kg/cm². Se puede observar que conforme aumenta la resistencia, las gráficas se vuelven más cercanas a una línea recta en la parte inicial y sus ramas descendentes se hacen más pronunciadas. La deformación última, *εcu,* disminuye significativamente, mientras que la deformación correspondiente al esfuerzo máximo va siendo mayor. Mientras mayor es la resistencia, el comportamiento es más frágil.

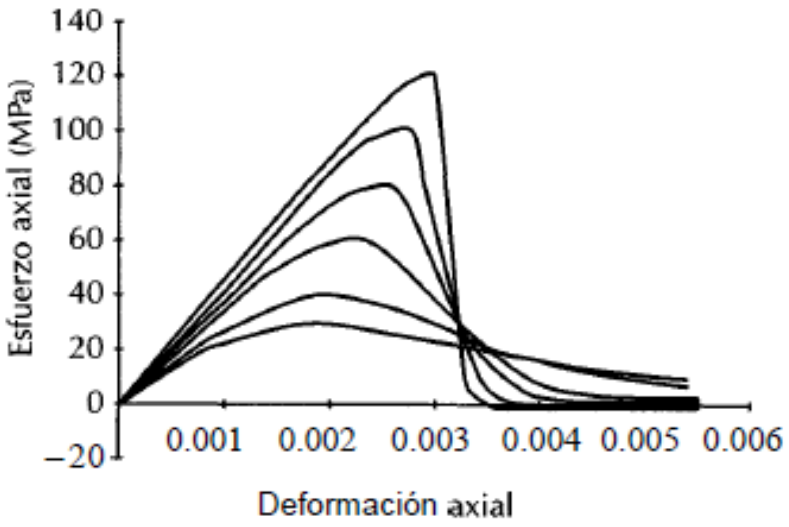

Figura 10, Efecto de la resistencia en el hormigón, (Park)

2.2.4. Características esfuerzo-deformación del hormigón simple bajo flexión.

Para algunas aplicaciones, tales como pavimentos de hormigón, es necesario conocer aproximadamente la resistencia a flexión del hormigón simple. Ésta se determina con frecuencia ensayando un prisma de hormigón libremente apoyado, sujeto a una o dos cargas concentradas. La falla es brusca, con una grieta

única que fractura el espécimen. (*Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado, González Cuevas, 2005)*

El esfuerzo de tensión en la fibra inferior correspondiente a la rotura se calcula mediante la expresión:

$$f_r = \frac{MC}{I}$$

En donde *fr* es el módulo de rotura, *M* es el momento flexionante correspondiente a la carga máxima aplicada, *C* es el medio peralte, e *I* es el momento de inercia de la sección transversal del prisma.

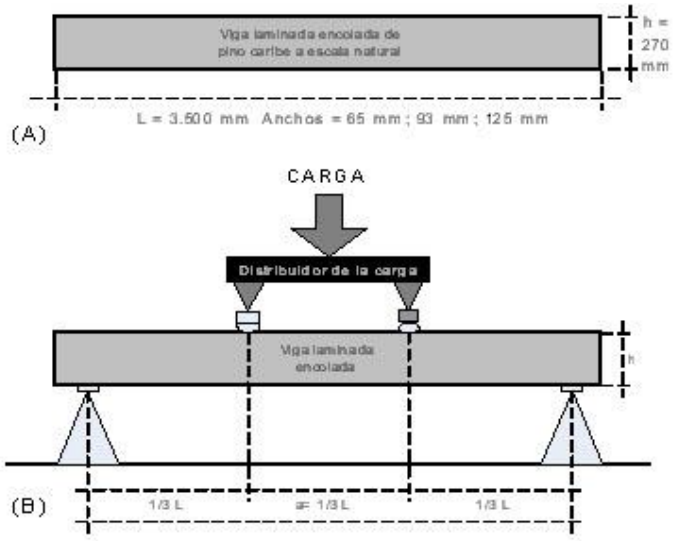

Figura 11, Ensayo a flexión en vigas de hormigón simple (Contreras 2007)

Al aplicar la expresión anterior se supone que el hormigón es elástico hasta la rotura, hipótesis que, como se ha indicado, no es correcta para toda la escala de la carga.

Esta prueba proporciona una medida de la resistencia del hormigón a flexión, o más bien, a la tensión debida a la flexión. Debido a que la medición de deformaciones es difícil de realizar, no existen muchos datos experimentales sobre las características esfuerzo-deformación de prismas sujetos a flexión simple. (*Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado, González Cuevas, 2005)*

Es difícil establecer relaciones generales entre los valores de *fr* y *f'c*, ya que la relación depende del tipo de hormigón. Uno de los comités técnicos del ACI (American Concrete Institute) recomienda la siguiente ecuación para calcular la resistencia a flexión en términos de la resistencia a compresión:

$$f_r = g_r[w_c\, f'_c]^{0.5}$$

Donde *Wc* es el peso volumétrico del hormigón en Kg/m³ y *gr* es un factor que puede variar de 0.04 a 0.07 dependiendo del tipo de hormigón, Un valor usual aproximado es:

$$f_r = 2\sqrt{f'_c}$$

2.3. Fibra de coco como material de construcción.

2.3.1. Introducción

El coco está constituido por una parte interior y un líquido, de los cuales se puede obtener mediante procesos industriales, grasas, aceites comestibles, confites y copra; sin embargo también está constituido por la estopa o mesocarpio, que se encuentra entre el exocarpio duro o cubierta externa, y el endocarpio o envoltura dura, que encierra la semilla; el valor de ésta estriba en su contenido de fibra (fibra bonote), de la cual se pueden distinguir tres tipos principales: una larga y fina, una tosca y una más corta, material que se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa como agregado liviano, en la industria del hormigón aligerado, con un doble fin: disminuir el peso de las estructuras y proporcionar un grado aceptable de resistencia.

Figura 12, Fibra de coco para ensayos en probetas de hormigón

2.3.2. Características de la fibra de coco

Los parámetros que describen una fibra son su longitud, su diámetro y su aspecto o esbeltez, que es la relación existente entre la longitud y el diámetro.

Según el origen, las fibras pueden ser clasificadas como sintéticas o naturales. Las fibras naturales como la fibra de coco es de origen vegetal y están constituidas por ligamentos fibrosos, que a su vez se componen de microfibrillas dispuestas en camadas de diferentes espesores y ángulos de orientación, las cuales son ricas en celulosa. Las diversas células que componen una fibra se encuentran aglomeradas por la mela intercelular, compuesta por hemicelulosa, petina y principalmente liginina. La región central de la fibra también puede presentar una cavidad denominada lacuna.

Las lacunas y los lúmenes son responsables de la gran incidencia de poros permeables en las fibras, ya que absorben una elevada cantidad de agua, como lo menciona Agoppyan y Savastano. (*Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, Universidad del Norte, Colombia*)

La fibra de estopa de coco, se puede clasificar en 3 tipos principales: una más larga y fina que se conoce con el nombre de fibra de esteras o hilo; una más tosca, que se conoce con el nombre de fibra de cerda, y una fibra más corta, conocida con el nombre de fibra para colchones. En

general la fibras de coco son relativamente cortas, sus células fibrosas miden alrededor de 1 mm de longitud y un diámetro promedio de 15 micras; un haz de fibras puede tener de 30 a 3000 o más células en su sección transversal total.

La fibra cortada de coco varía entre 15 y 35 mms, su diámetro varía de 0.1-1.5 mm y cuenta con una capacidad de estiramiento de 29.04% aproximadamente, con un módulo de rigidez de 1.8924 dinas/cm². (*Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, Universidad del Norte, Colombia*)

Es importante notar que la fibra de coco cuenta con facultad de estirarse más allá de su límite elástico sin romperse, así como su capacidad de absorber un estiramiento permanente cuando soporta esta carga; la resistencia a tracción de la fibra disminuye con la inmersión en el agua de 35%-45%.

El rendimiento de la fibra varía según el tamaño de los cocos, la madurez, la variedad y el método de preparación, pero para cálculos generales puede considerarse un promedio de 130 Kg de fibra por 1000 cáscaras. (*Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, Universidad del Norte, Colombia*)

2.3.3. Interacción fibra-hormigón

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

Naaman y Castro realizaron estudios con fibras vegetales, con importantes propiedades mecánicas, sin embargo observaron una reducción en la manejabilidad de la mezcla al adicionar las fibras, y contenidos altos de agua y/o superplastificantes fueron necesarios para alcanzar condiciones normales de mezclado.

La matriz reforzada con fibras naturales puede alcanzar una buena resistencia bajo condiciones ambientales normales, sin embargo, son sensibles a los efectos de la humedad ocasionando caídas importantes en resistencias a la flexión de la muestra. El humedecimiento conduce a un aumento hacia la falla por estiramiento, antes que a la falla por fractura de la fibra. Esta es la causa por la que con un incremento en el porcentaje de

fibra se reduce la gravedad específica y crecen la absorción de agua y los movimientos de humedad tal como lo expresa Marikunte. (*Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, Universidad del Norte, Colombia*)

Figura 13, Probetas de hormigón con fibra de coco

De acuerdo con Delvasto, los materiales cementicios reforzados con fibras vegetales pueden presentar los siguientes problemas:

- Alta alcalinidad (pH 12-13), que deteriora con el tiempo las fibras naturales celulósicas por lixiviación de los componentes ligantes de las celdas de su microestructura.

- Mineralización en el interior de las fibras por precipitación de los productos de hidratación del cemento
- Deterioro de la fibra por aumento de la densificación de la interface, y la degradación de las propias cadenas de celulosa con el tiempo por ataque alcalino.

2.3.4. Costo de la fibra de coco

Se considera que la fibra de coco es un material económico, ya que se obtiene de la cáscara de coco que es desechada, el costo aproximado de una tonelada de fibra es de 310.00 dólares americanos.

Considerando que la fibra de coco ocupará un porcentaje del volumen total de los elementos de hormigón, el costo total de la estructura sería reducido de igual manera, sin embargo esta reducción sería considerada como despreciable debido al bajo porcentaje de volumen que será ocupado (1%-2%).

Una reducción importante en el costo de una estructura debido a la adición de fibra de coco se evidenciará en los cimientos de dicha estructura, debido a la reducción del peso de los elementos de hormigón y con ello de la descarga al suelo.

2.3.5. Durabilidad.

Se han realizado muchas investigaciones acerca de la durabilidad de la fibra de coco en mezclas cementicias como el hormigón, Gram desarrolló la primera investigación sistemática y comprensiva de la durabilidad de la fibra de coco como reforzamiento en elementos de cemento Portland. La degradación de la

fibra en un ambiente alcalino fue evaluada exponiendo las fibras en soluciones alcalinas y midiendo la variación de la resistencia a la tensión en el tiempo. La investigación incluyó envejecimiento acelerado de la fibra de coco mediante varios ensayos, ciclos de mojado y secado a 20 °C por 40 meses, exposición continua en ambiente de laboratorio e inmersión en agua a 50 °C. La exposición en ambiente seco no causó una degradación significante en las muestras de fibra de coco. La exposición continua en agua caliente causa degradación.

El autor concluye que los ciclos de mojado y secado incrementan la velocidad con que se degrada la fibra debido a que el agua transporta iones OH, que disuelve la lignina descomponiéndola. A partir de los ensayos también se llegó a la conclusión que la fibra se degrada más a temperaturas altas que en temperaturas bajas.

La carbonatación de la matriz no afecta la resistencia de la fibra sino más bien la preserva.

Después de los resultados obtenidos Gram concluyó que la reducción de la dureza de la muestra compuesta fue causada por la delignificación de la fibra debido al ambiente alcalino producido por el fraguado del cemento.

Para evaluar la delignificación de la fibra causada por el ambiente alcalino presente en el hormigón, se estudiaron muestras de hormigón reforzado con fibra de coco de 20 años de antigüedad, durante ese tiempo el porcentaje de lignina removido fue del 35%. (*Durability of slag mortar reinforced with coconut fibre, University of Sao Paulo, Brazil)*

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.

3.1. Materiales usados.

La investigación aplicada es del tipo experimental, ya que se ensayan distintas muestras considerando diferentes resistencias a la compresión (cilindros) y flexión (viguetas) para cada caso.

En primer lugar se requiere detallar los materiales necesarios para elaborar un las muestras a ensayar, se han considerado distintos porcentajes de fibra dentro de la matriz de hormigón, estos porcentajes varían entre 0% (muestra de hormigón de referencia) y 2%.

A continuación se presentan los materiales usados y su origen para la investigación:

MATERIAL	ORIGEN
Arena homogeneizada	Cantera Canven S.A.
Piedra de 3/4"	Comercial DISENSA
Cemento Portland tipo I	Holcim S.A.
Agua	Laboratorio
Fibra de coco	Fabrica Sta. Elena
Laboratorio	UEES

Tabla 2, Tabla de materiales y laboratorio donde se realizaron los ensayos.

Se requiere realizar ensayos preliminares de los agregados, ya que son la parte fundamental que otorga la resistencia al hormigón. Los ensayos mencionados permiten conocer las características mecánicas de cada agregado para establecer que sus parámetros se encuentren dentro de lo especificado en las normas ASTM. Los ensayos ejecutados fueron los siguientes:

- Granulometría de los agregados tanto fino como grueso.
- Densidad saturada superficialmente seca de los agregados.
- Peso volumétrico suelto de los agregados
- Peso volumétrico varillado de la piedra.
- Absorción.
- Módulo de finura del agregado fino.

Comprobando mediante los parámetros obtenidos en los ensayos que los materiales son adecuados para la mezcla, se proceden a elaborar muestras en forma de cilindro para ensayos a compresión simple y viguetas para ensayos a flexión. Las resistencias escogidas para los ensayos son distintas considerando relaciones agua/cemento variables de acuerdo a lo estipulado por ACI (American Concrete Institute), se presenta a continuación la tabla con las resistencias de hormigón usadas y sus respectivas relaciones agua/cemento:

RELACIÓN A/C	**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/m²)**
0.65	190
0.60	210
0.53	270
0.40	350

Tabla 3, Relación agua/cemento y resistencias del hormigón.

Figura 14, Concretera para realizar mezclas de agregados

Otra variable importante en la investigación, es el porcentaje de fibra usado en la matriz de hormigón para obtener los resultados mediante ensayos de la muestra. De acuerdo al porcentaje de fibra de coco utilizado para cada relación agua/cemento se obtendrán distintos valores de resistencia a la compresión y flexión que servirán posteriormente para establecer conclusiones acerca de la eficiencia de la fibra en elementos de hormigón.

Los porcentajes específicos de fibra de coco utilizados son los siguientes: **0.5%, 1.5% y 2%.**

3.2. Características de las muestras.

El número de cilindros elaborados es de dos para cada porcentaje en función de cada resistencia seleccionada, la siguiente tabla muestra la cantidad de ensayos de compresión realizados.

RESITENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm²)	% DE FIBRA DE COCO	DIMENSIONES DE LA MUESTRA		CILINDROS ENSAYADOS	DIAS A LA ROTURA
		ALTURA (m)	DIAMETRO (m)		
190	0.5	0.15	0.30	2	14-28
	1.5			2	14-28
	2.0			2	14-28
210	0.5	0.15	0.30	2	14-28
	1.5			2	14-28
	2.0			2	14-28
270	0.5	0.15	0.30	2	14-28
	1.5			2	14-28
	2.0			2	14-28
350	0.5	0.15	0.30	2	14-28
	1.5			2	14-28
	2.0			2	14-28
TOTAL				**24**	

Tabla 4, Tabla con el número de cilindros ensayados

Para conocer la resistencia a flexión se ensayaron vigas de hormigón de igual manera considerando las resistencias seleccionadas y porcentajes determinados de fibra de coco tal como se elaboró para los cilindros.

3.3. Características del agregado grueso.

Los agregados usados en los ensayos fueron proporcionados por la cantera CanVen S.A., cuyos materiales son clasificados geológicamente como lutitas silisificadas en su gran mayoría. También tienen presencia de areniscas líticas y grauvacas.

A continuación se presentan las características granulométricas de la piedra ¾ usada para las muestras.

Tamiz	Diámetro	Peso Parcial	Porcentaje Retenido	Porcentaje Acumulado	Porcentaje Que Pasa	Norma
1"	25.40	0	0%	0%	100%	100
3/8"	9.51	550	55%	55%	45%	20-55
N°4	4.75	350	35%	90%	10%	0-10
N°8	2.36	80	8%	98%	2%	0-5
Fondo		20	2%	100%	0%	
		1000	100%			

Tabla 5, Granulometría piedra ¾.

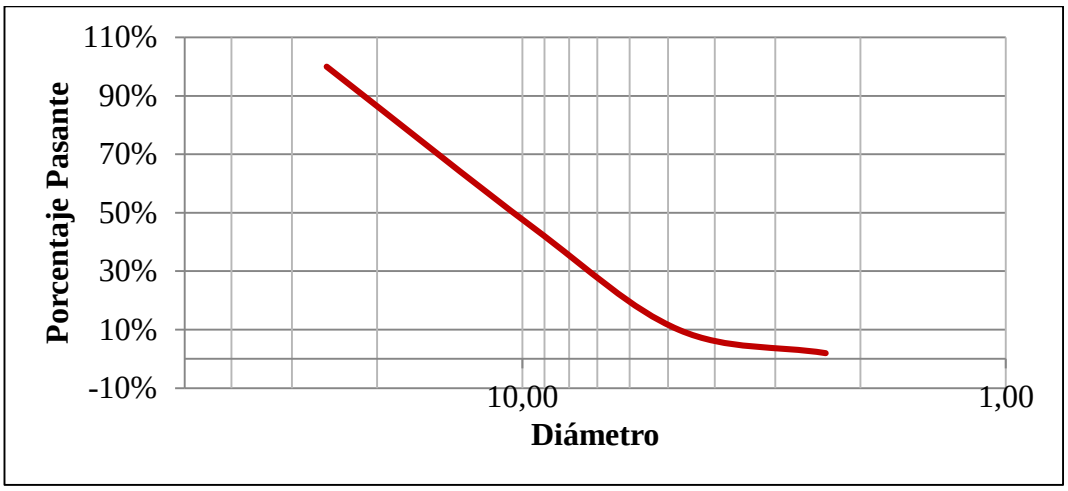

Figura 15, Curva granulométrica de piedra ¾.

3.4. Características del agregado fino.

La arena usada en las muestras a ensayar tienen las siguientes características granulométricas:

Tamiz	Diámetro	Peso parcial	Porcentaje Retenido	Porcentaje Acumulado	Porcentaje Que Pasa	Norma
3/8	9.50	0	0%	0%	100%	100
N4	4.75	40	4%	4%	96%	95-100
N8	2.36	90	9%	13%	87%	80-100
n16	1.18	350	35%	48%	52%	50-85
n30	0.6	230	23%	71%	29%	25-60
n50	0.3	150	15%	86%	14%	5 a 30
N100	0.15	90	9%	95%	5%	0-10
Fondo		50	5%	100%	0%	
		1000	100%			

Tabla 6, Granulometría de arena homogeneizada.

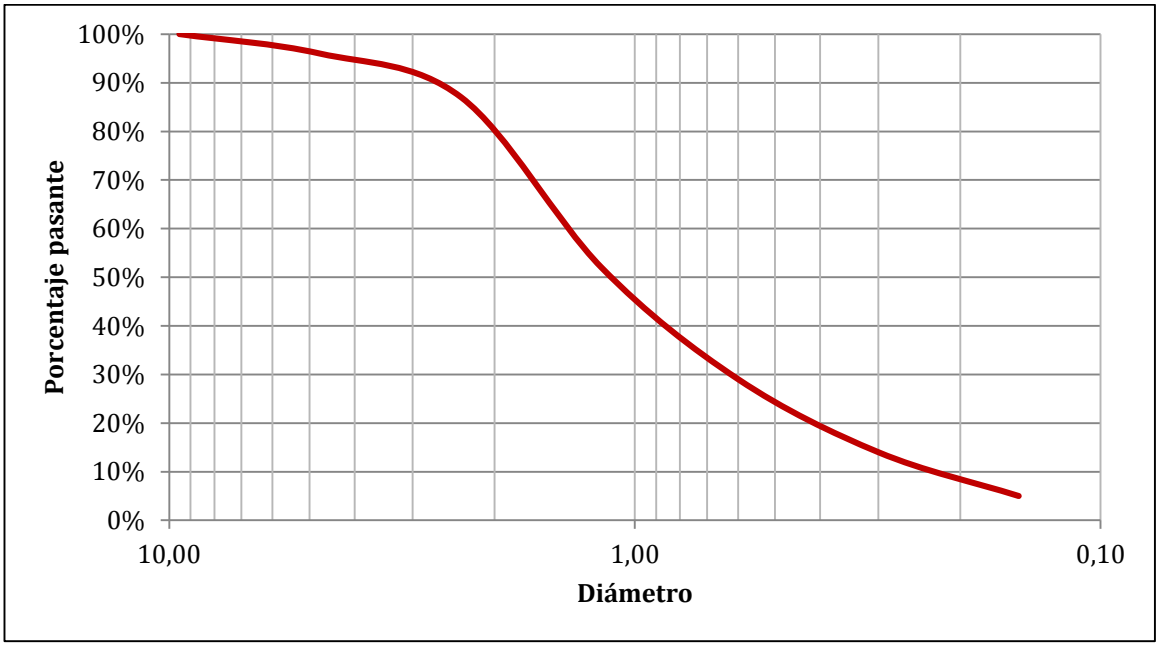

Figura 16, Curva granulométrica de arena homogeneizada.

3.5. Dosificación del hormigón a ensayar.

A continuación se presentan las dosificaciones utilizadas en la investigación para las distintas resistencias de la muestra de referencia o testigo, anteriormente se detalló las relaciones agua/cemento utilizadas que permiten la variación especificada:

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 190 Kg/cm²

COMPONENTES	DOSIFICACIÓN POR PESO (Kg)
Cemento	2.50
Agua	1.63
Arena	4.03
Piedra	4.69

Tabla 7, Dosificación para hormigón de f'c= 190 Kg/cm²

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 210 Kg/cm²

COMPONENTES	DOSIFICACIÓN POR PESO (Kg)
Cemento	2.50
Agua	1.50
Arena	3.67
Piedra	4.27

Tabla 8, Dosificación para hormigón de f'c= 210 Kg/cm²

Nota: La fibra se la integra a la mezcla en porcentajes del volumen total tal como se especificó anteriormente (0.5%, 1.5%, 2.0%).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 270 Kg/cm²

COMPONENTES	DOSIFICACIÓN POR PESO (Kg)
Cemento	2.50
Agua	1.33
Arena	2.95
Piedra	3.45

Tabla 9, Dosificación para hormigón de f'c= 270 Kg/cm²

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 350 Kg/cm²

COMPONENTES	DOSIFICACIÓN POR PESO (Kg)
Cemento	2.50
Agua	1.00
Arena	2.24
Piedra	2.60

Tabla 10, Dosificación para hormigón de f'c= 350 Kg/cm²

Nota: La fibra se la integra a la mezcla en porcentajes del volumen total tal como se especificó anteriormente (0.5%, 1.5%, 2.0%).

3.6. Instrumentos de recolección de datos.

Para la recolección de datos de cada ensayo ejecutado se usaron varios métodos que se encuentran en las normas ASTM (American Association for Testing Materials) y el ACI (American Concrete Institute), y se especifican a continuación:

- Especificación Normalizada para Agregados para Concreto (ASTM C33, 2013)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Gruesos (04, 2012)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Finos (ASTM C128 - 04a, 2012)
- *Historical Standard*: Especificación Normalizada para Concreto Premezclado (ASTM C94/C94M - 09, 2014)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico (ASTM C143/C143M - 10, 2012)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Hormigón en Estado Fresco (ASTM C1688 / C1688M - 14a, 2013)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto (ASTM C39/C39M - 12, 2012)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro) (ASTM C78/C78M - 02, 2010)
- *Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete* (C1116M, 2015)
- *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318-02, 2002)
- *Historical Standard*: Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico (ASTM C143/C143M - 10, 2011)

3.7. Técnicas de investigación.

Para conseguir claridad en la investigación, se considera esencial seguir un orden y una organización para alcanzar los objetivos propuestos. Esta investigación experimental tiene como base el método científico, donde se incluyen técnicas de observación, razonamiento y deducción. Se requiere tomar en consideración las siguientes variables para concebir lo mencionado anteriormente:

- Hipótesis
- Variables dependientes
- Variables independientes
- Planteamiento del problema
- Objetivos de la investigación
- Formulación del problema
- Justificación del problema
- Delimitación del problema
- Objetivos generales
- Objetivos específicos
- Fuentes consultadas
- Recomendaciones y conclusiones

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

4.1. Introducción.

A partir de los ensayos ejecutados se elaboraron tablas para presentar los resultados obtenidos de cada muestra (cilindros y viguetas), se hace un estudio comparativo con la muestra de referencia (muestra sin fibra) para evaluar las diferencias entre resistencias y pesos de los especímenes tomando en consideración los distintos porcentajes de fibra utilizados mencionados en el capítulo 3.

4.2. Análisis y presentación de resultados con muestras a compresión simple (cilindros).

Se elaboraron cilindros con los distintos porcentajes de fibra escogidos **(0.5%, 1.5%, 2%)** usando dosificaciones a/c distintas para ensayar con diferentes resistencias a la compresión simple a 14 y 28 días de fraguado, todo esto para evaluar de qué manera influyen a la adición de fibra de coco en los valores obtenidos.

A continuación se presenta tablas con los resultados a partir de los ensayos:

Cilindro N	F'c (Kg/cm²)	Porcentaje de Fibra	Peso de fibra (gr)	Días a la rotura	Altura (m)	Diámetro (m)	Volumen (m³)	Masa (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)
1	190	0.5%	12.5	14	0.3	0.15	0.0053015	12.47	2352.00	1595	135.42
3		1.5%	37.5					10.18	1920.00	1621	137.62
4		2%	62.5					9.92	1872.00	1549	131.56
5		0.5%	12.5	28	0.3	0.15	0.0053015	12.47	2352.00	2278	193.46
7		1.5%	37.5					10.18	1920.00	2315	196.60
8		2%	62.5					9.92	1872.00	2213	187.94

Tabla 11, Resultados obtenidos a partir de cilindros a compresión, f'c=190 Kg/cm²

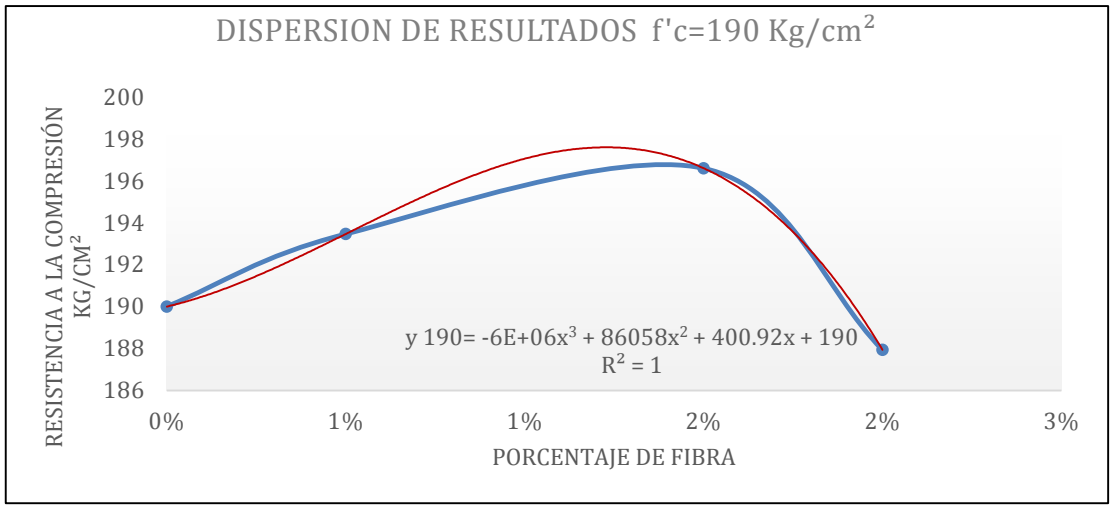

Figura 17, Modelo matemático de compresión, f'c= 190 Kg/cm²

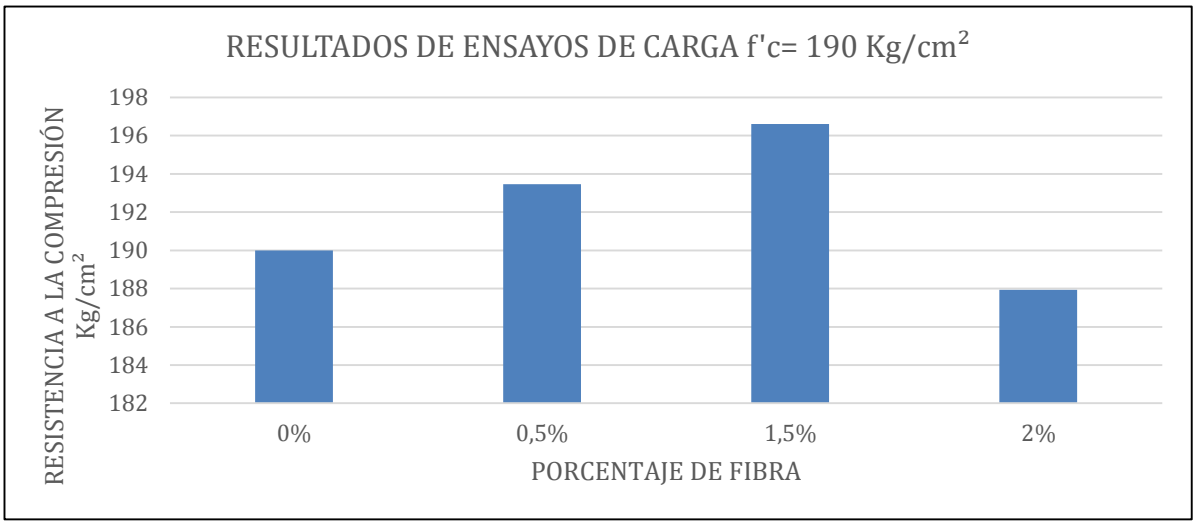

Figura 18, Gráfica Resistencia a la compresión simple VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=190 Kg/cm²

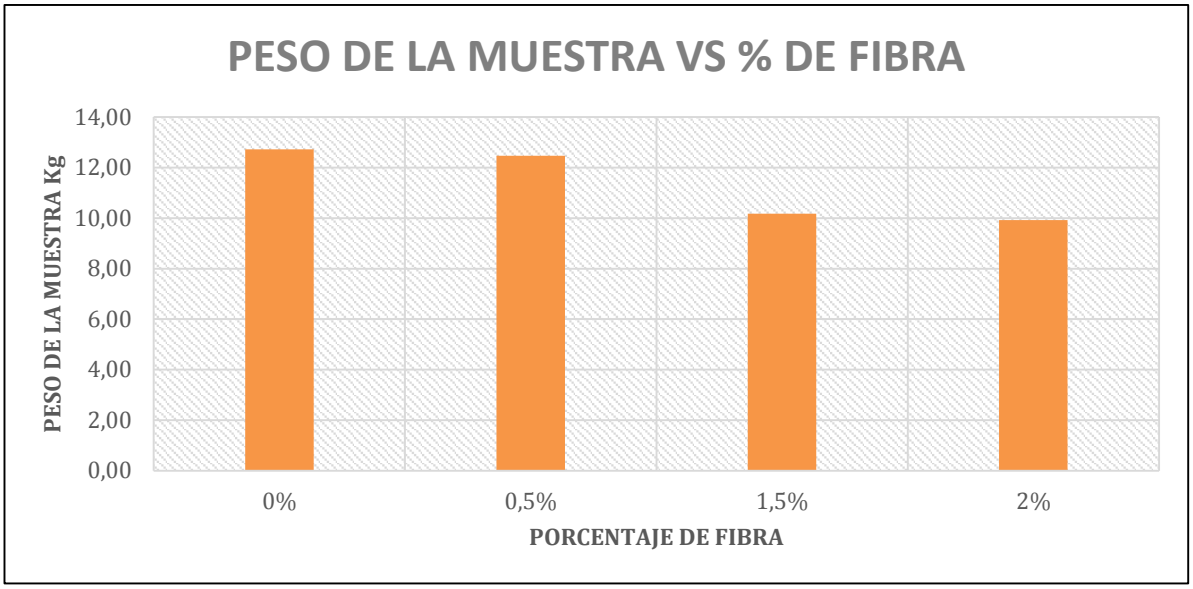

Figura 19, Gráfica Peso de muestras a compresión VS porcentaje de fibra, f'c=190 Kg/cm²

Cilindro N	F'c (Kg/cm²)	Porcentaje de Fibra	Peso de fibra (gr)	Días a la rotura	Altura (m)	Diámetro (m)	Volumen (m³)	Masa (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)
1	210	0.5%	12.5	14	0.3	0.15	0.0053015	12.16	2293.71	1798	152.66
3		1.5%	37.5					9.88	1863.64	2045	173.71
4		2%	62.5					9.03	1703.31	1586	134.65
5		0.5%	12.5	28	0.3	0.15	0.0053015	12.16	2293.71	2568	218.09
7		1.5%	37.5					9.88	1863.64	2922	248.15
8		2%	62.5					9.03	1703.31	2265	192.36

Tabla 12, Resultados obtenidos a partir de cilindros a compresión, f'c=210 Kg/cm²

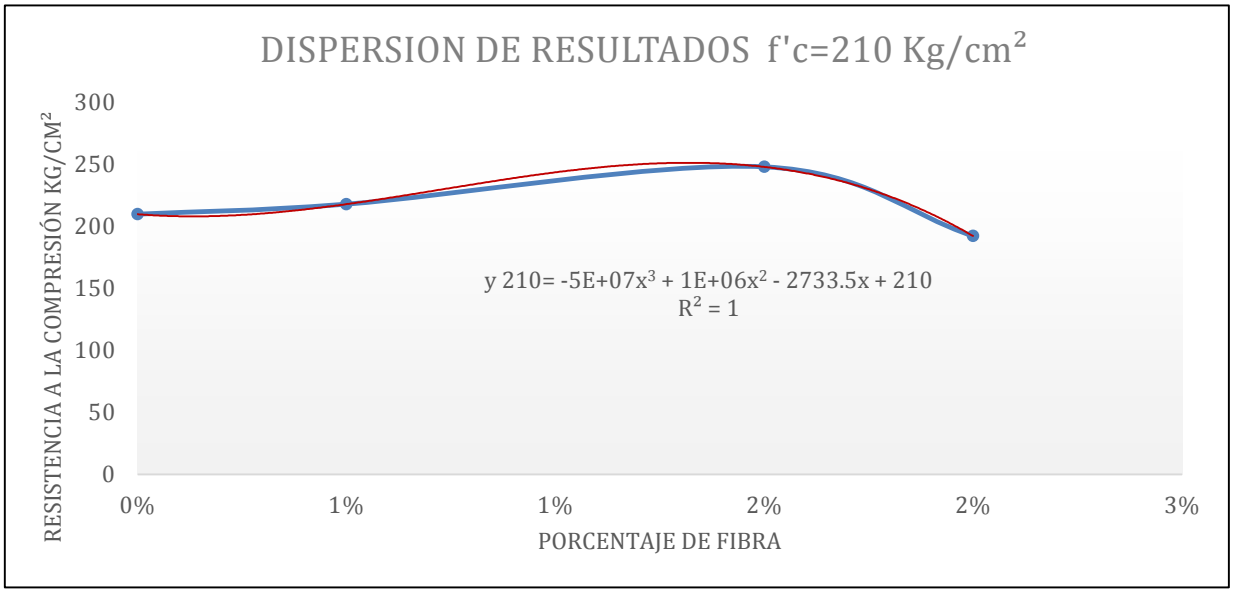

Figura 20, Modelo matemático de compresión, f'c= 210 Kg/cm²

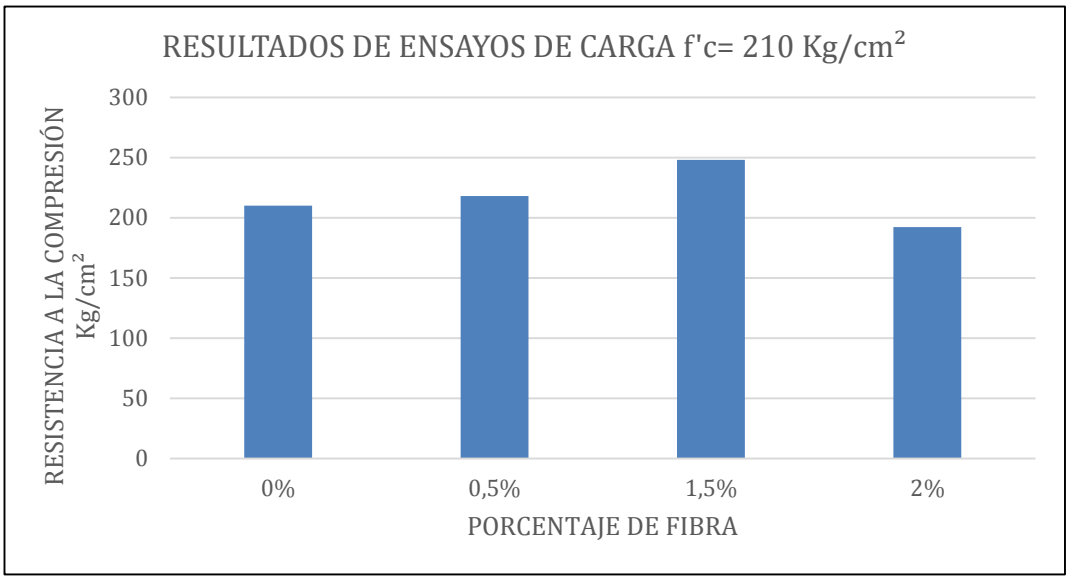

Figura 21, Gráfica Resistencia a la compresión simple VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=210 Kg/cm²

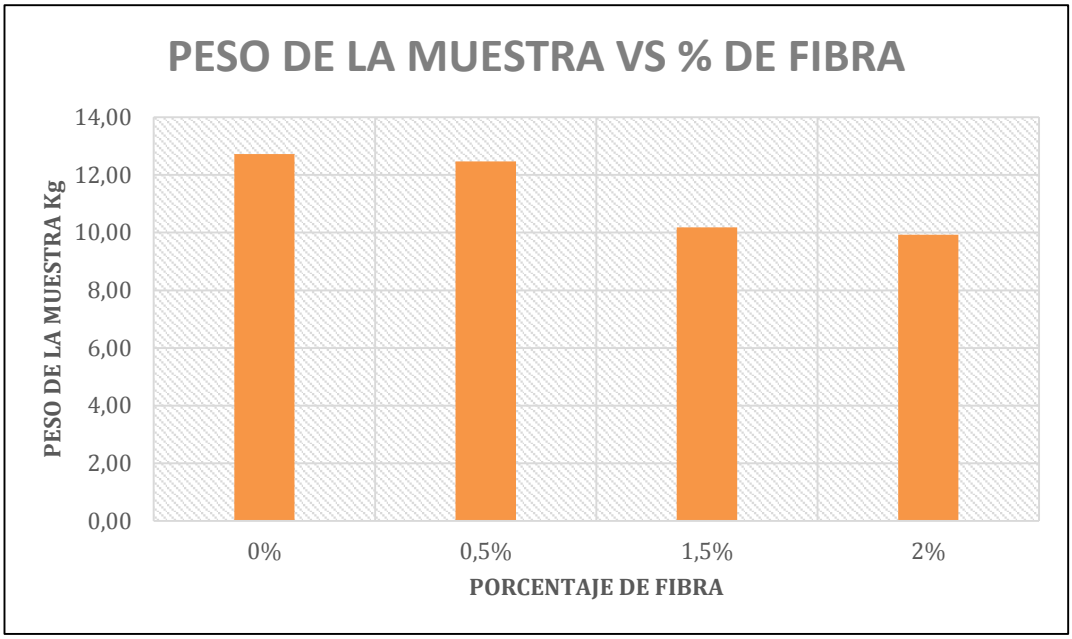

Figura 22, Gráfica Peso de muestras a compresión VS porcentaje de fibra, f'c=210 Kg/cm²

Cilindro N	F'c (Kg/cm²)	Porcentaje de Fibra	Peso de fibra (gr)	Días a la rotura	Altura (m)	Diámetro (m)	Volumen (m³)	Masa (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)
1	270	0.5%	12.5	14	0.3	0.15	0.0053015	12.38	2335.21	2279	193.56
3		1.5%	37.5					10.57	1993.79	2416	205.21
4		2%	62.5					9.66	1822.14	2117	179.77
5		0.5%	12.5	28	0.3	0.15	0.0053015	12.38	2335.21	3256	276.52
7		1.5%	37.5					10.57	1993.79	3452	293.16
8		2%	62.5					9.66	1822.14	3024	256.82

Tabla 13, Resultados obtenidos a partir de cilindros a compresión, f'c=270 Kg/cm²

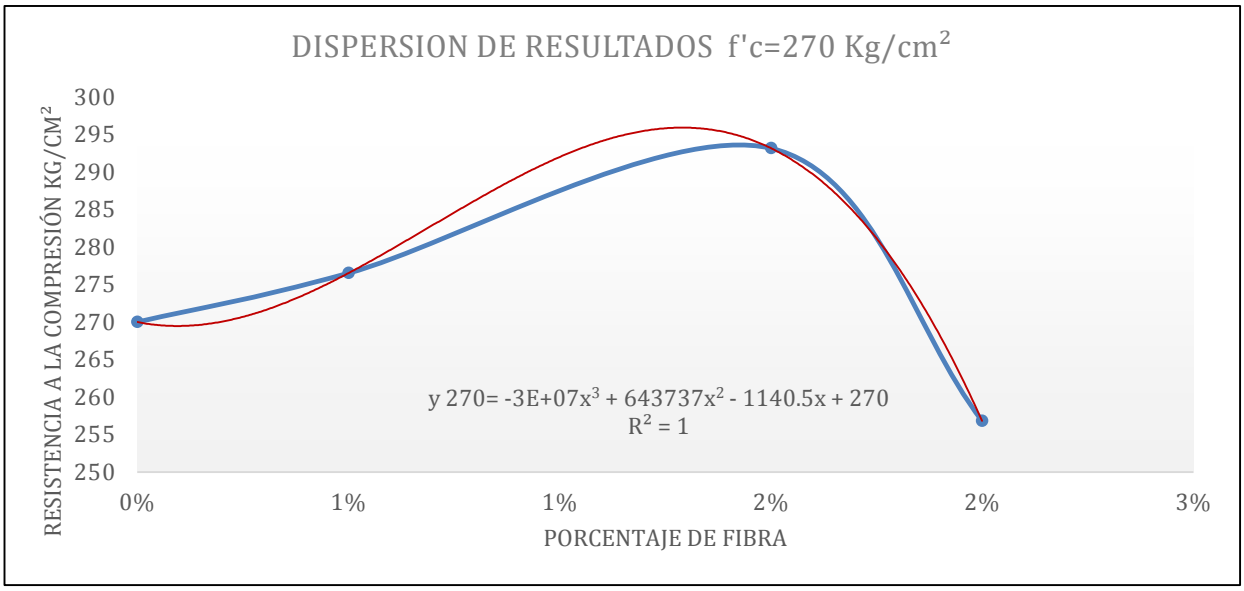

Figura 23, Modelo matemático de compresión, f'c= 270 Kg/cm²

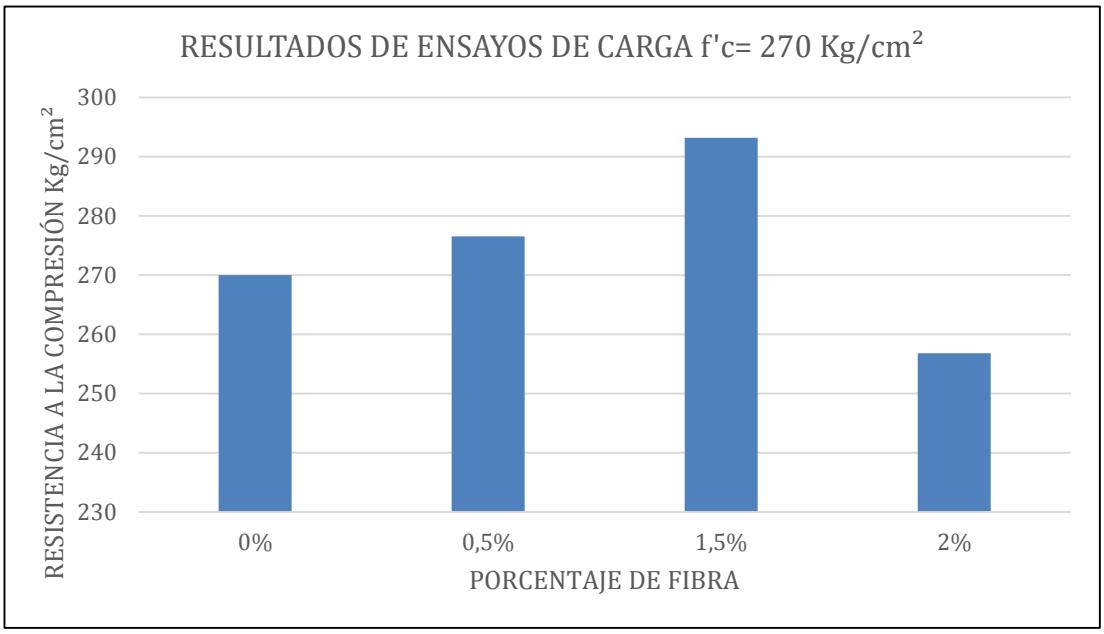

Figura 24, Gráfica Resistencia a la compresión simple VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=270 Kg/cm²

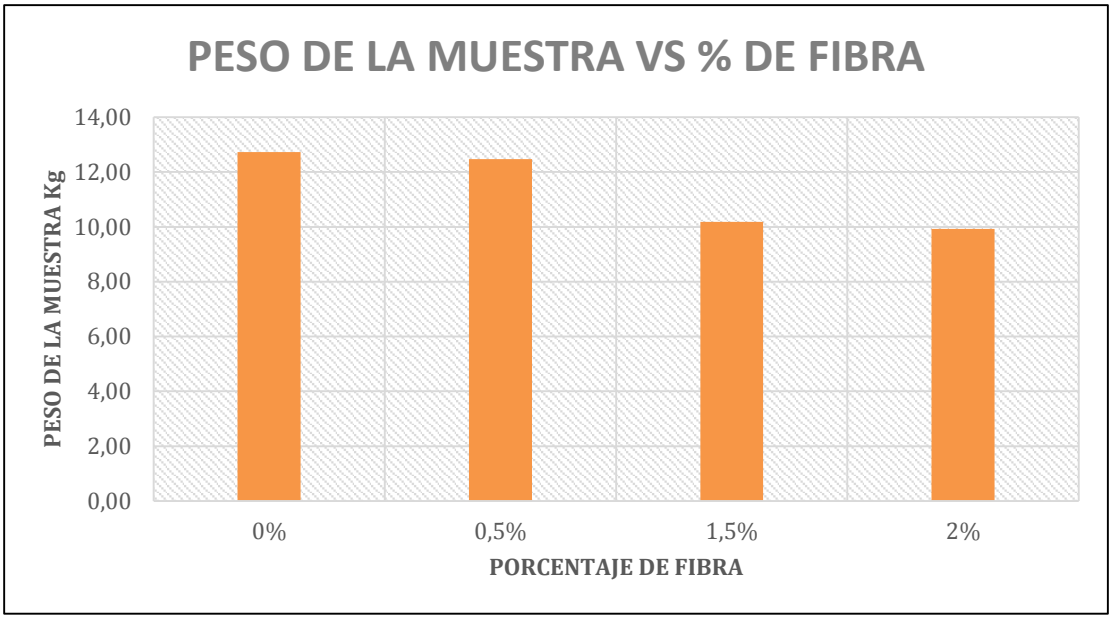

Figura 25, Gráfica Peso de muestras a compresión VS porcentaje de fibra, f'c=270 Kg/cm²

Cilindro N	F'c (Kg/cm²)	Porcentaje de Fibra	Peso de fibra (gr)	Días a la rotura	Altura (m)	Diámetro (m)	Volumen (m³)	Masa (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)
1	350	0.5%	12.5	14	0.3	0.15	0.0053015	12.28	2316.35	2895	245.88
3		1.5%	37.5					9.65	1820.26	2992	254.08
4		2%	62.5					8.82	1663.70	2790	236.90
5		0.5%	12.5	28	0.3	0.15	0.0053015	12.28	2316.35	4136	351.25
7		1.5%	37.5					9.65	1820.26	4274	362.97
8		2%	62.5					8.82	1663.70	3985	338.43

Tabla 14, Resultados obtenidos a partir de cilindros a compresión, f'c=350 Kg/cm²

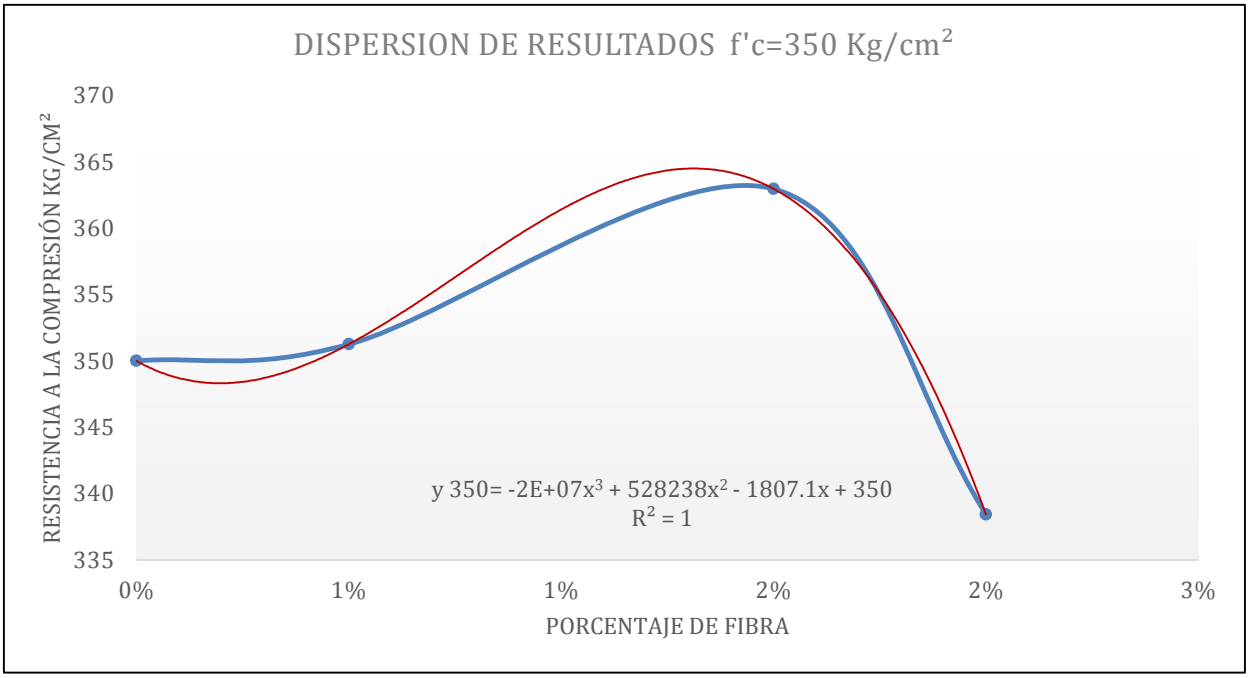

Figura 26, Modelo matemático de compresión, f'c= 350 Kg/cm²

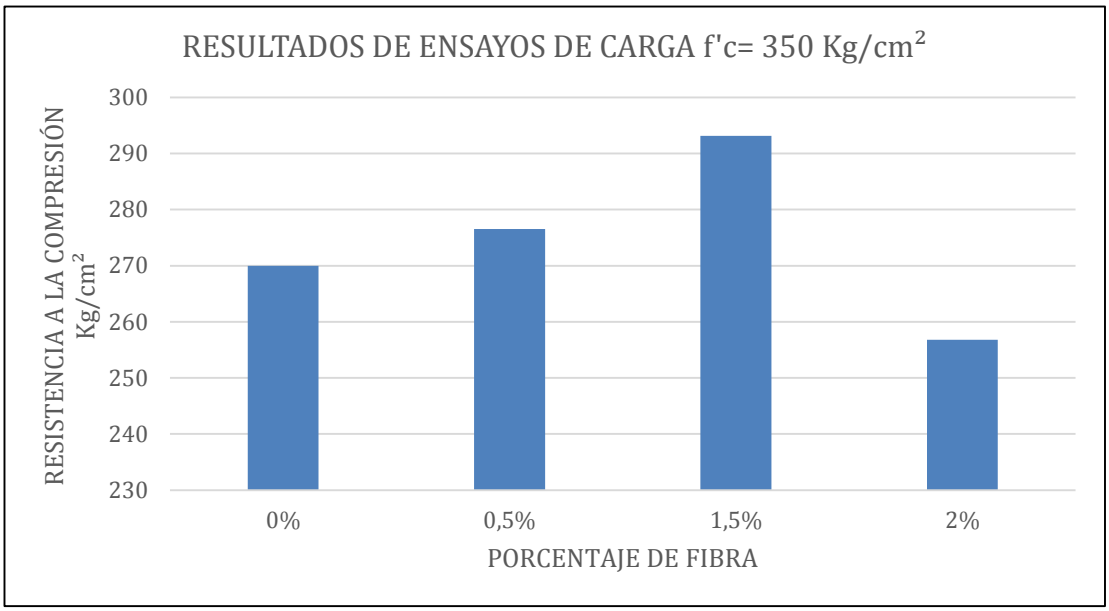

Figura 27, Gráfica Resistencia a la compresión simple VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=350 Kg/cm²

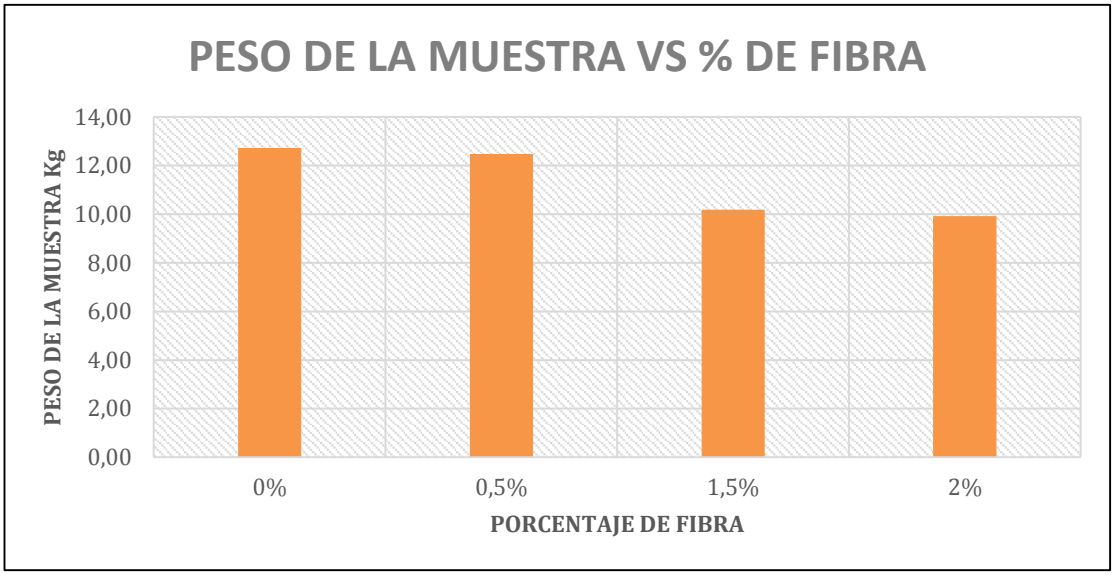

Figura 28, Gráfica Peso de muestras a compresión VS porcentaje de fibra, f'c=350 Kg/cm²

4.3. Análisis y presentación de resultados con muestras a flexión (viguetas).

Se elaboraron viguetas con los distintos porcentajes de fibra escogidos **(0.5%, 1.5%, 2%)** usando dosificaciones a/c distintas para ensayar con diferentes resistencias a la compresión simple a 14 y 28 días de fraguado, todo esto para evaluar de qué manera influyen a la adición de fibra de coco en los valores obtenidos.

A continuación se presentan tablas con los resultados a partir de los ensayos:

Vigueta N	F'c (Kg/cm²)	Porcentaje de Fibra	Peso de fibra (gr)	Días a la rotura	Longitud (m)	Altura (m)	Ancho (m)	Volumen (m³)	Masa (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)
1	190	0.5%	12.5	14	0.50	0.15	0.15	0.01125	25.65	2280.00	175	14.90
3		1.5%	37.5						21.60	1920.00	194	16.51
4		2%	62.5						20.79	1848.00	139	11.84
5		0.5%	12.5	28	0.50	0.15	0.15	0.01125	25.65	2280.00	250.58	21.28
7		1.5%	37.5						21.60	1920.00	277.80	23.59
8		2%	62.5						20.79	1848.00	199.17	16.91

Tabla 15, Resultados obtenidos a partir de viguetas, f'c=190 Kg/cm²

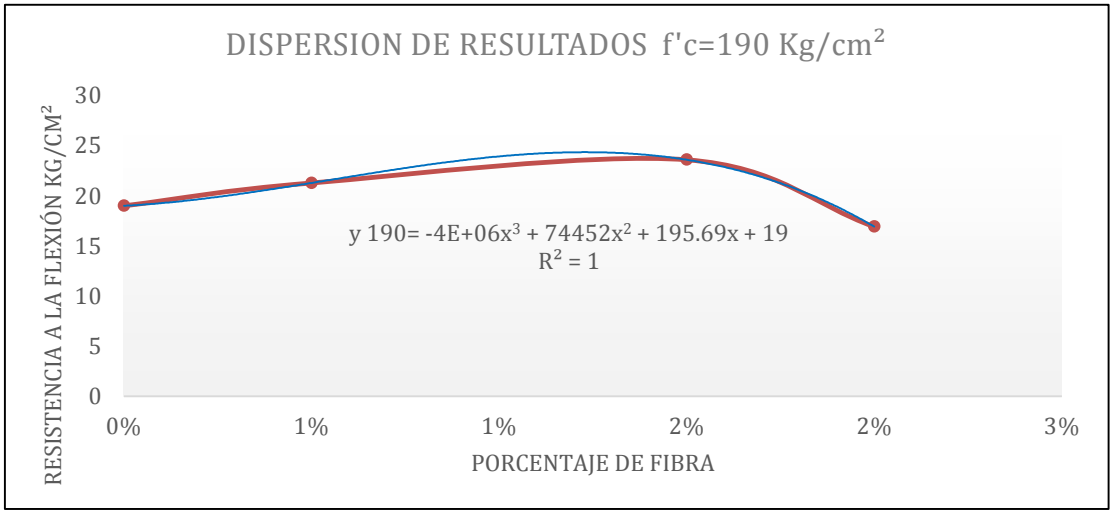

Figura 29, Modelo matemático de flexión, f'c= 190 Kg/cm²

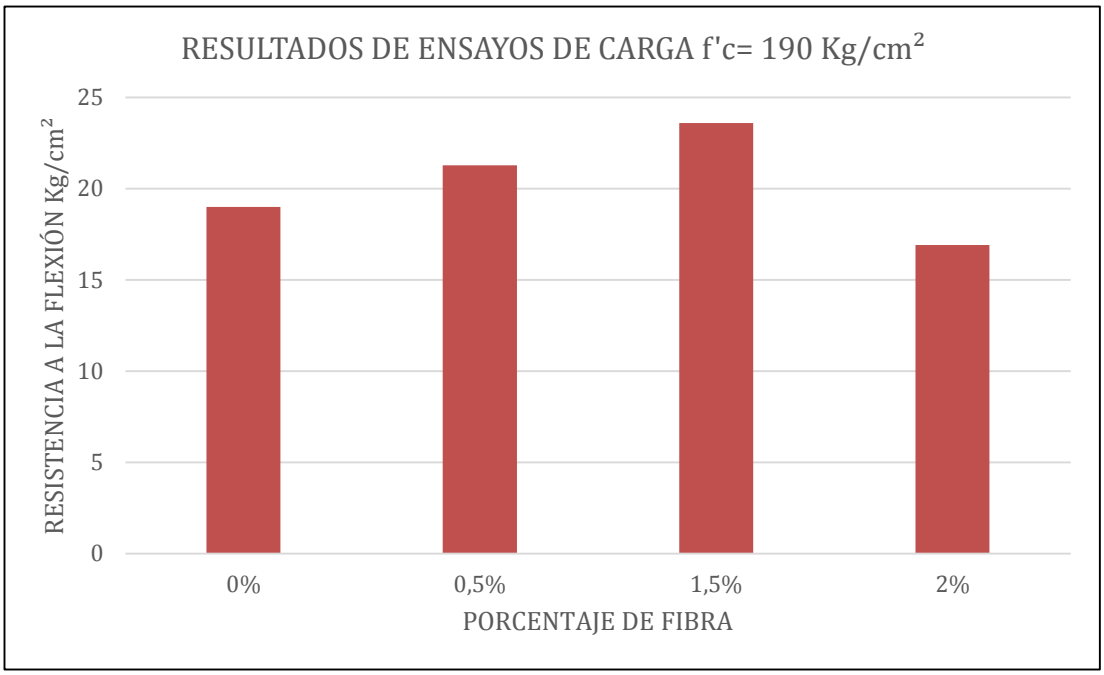

Figura 30, Gráfica Resistencia a la flexión VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=190Kg/cm²

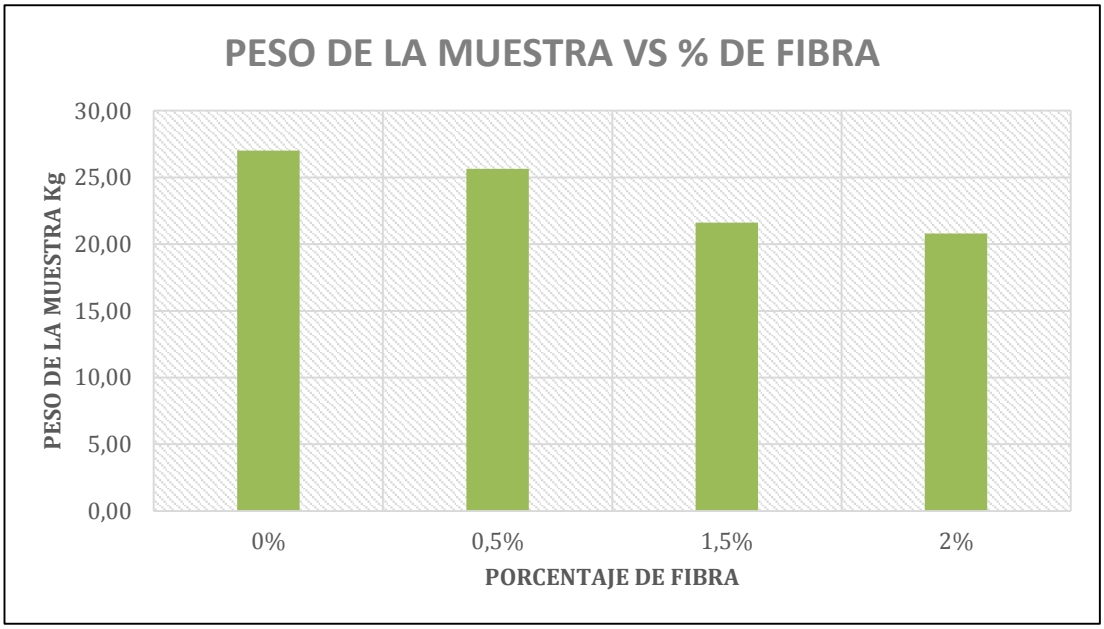

Figura 31, Gráfica Peso de muestras a flexión VS porcentaje de fibra, f'c=190 Kg/cm²

Vigueta N	F'c (Kg/cm²)	Porcentaje de Fibra	Peso de fibra (gr)	Días a la rotura	Longitud (m)	Altura (m)	Ancho (m)	Volumen (m³)	Masa (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)
1	210	0.5%	12.5	14	0.50	0.15	0.15	0.01125	25.38	2256.00	198	16.79
3		1.5%	37.5						21.42	1904.00	245	20.84
4		2%	62.5						20.73	1842.67	143	12.12
5		0.5%	12.5	28	0.50	0.15	0.15	0.01125	25.38	2256.00	282.48	23.99
7		1.5%	37.5						21.42	1904.00	350.64	29.78
8		2%	62.5						20.73	1842.67	203.85	17.31

Tabla 16, Resultados obtenidos a partir de viguetas, f'c=210 Kg/cm²

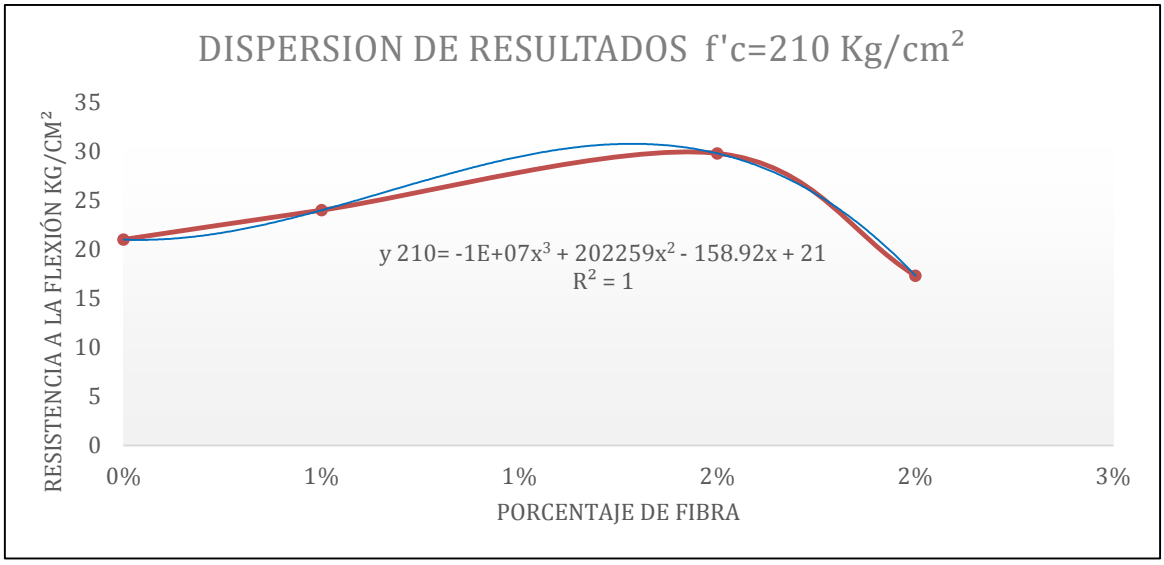

Figura 32, Modelo matemático de flexión, f'c= 210 Kg/cm²

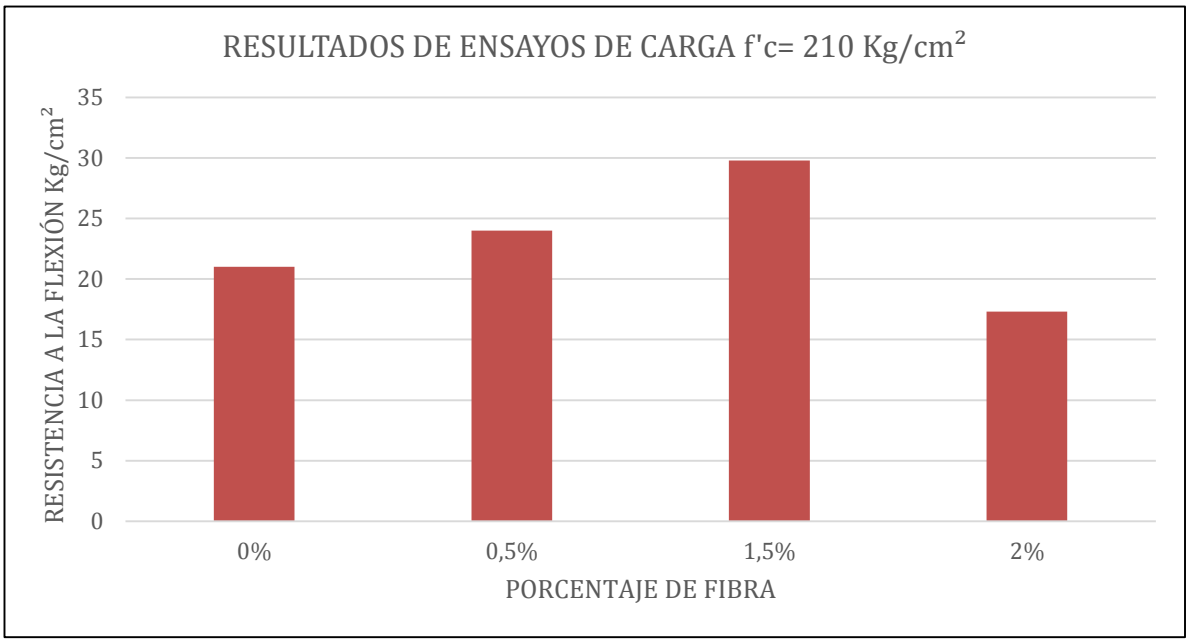

Figura 33, Gráfica Resistencia a la flexión VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=210Kg/cm²

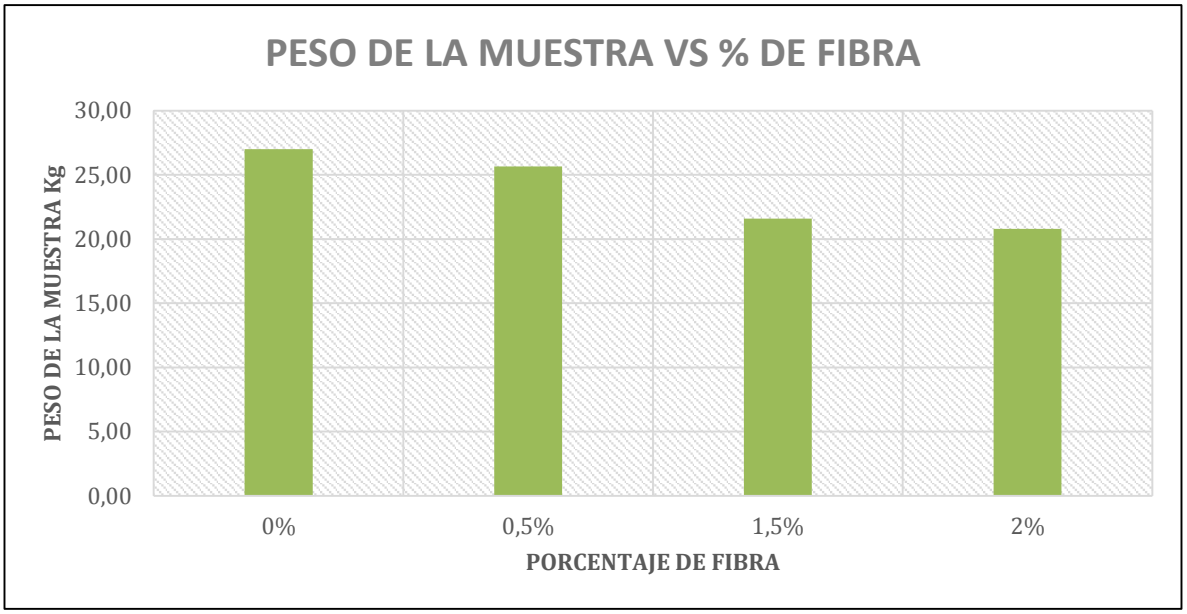

Figura 34, Gráfica Peso de muestras a flexión VS porcentaje de fibra, f'c=210Kg/ cm²

Vigueta N	F'c (Kg/cm²)	Porcentaje de Fibra	Peso de fibra (gr)	Días a la rotura	Longitud (m)	Altura (m)	Ancho (m)	Volumen (m³)	Masa (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)
1	270	0.5%	12.5	14	0.50	0.15	0.15	0.01125	25.16	2236.44	228	19.36
3		1.5%	37.5						20.98	1864.89	314	26.68
4		2%	62.5						20.31	1805.33	191	16.18
5		0.5%	12.5	28	0.50	0.15	0.15	0.01125	25.16	2236.44	325.6	27.65
7		1.5%	37.5						20.98	1864.89	448.76	38.11
8		2%	62.5						20.31	1805.33	272.16	23.11

Tabla 17, Resultados obtenidos a partir de viguetas, f'c=270 Kg/cm²

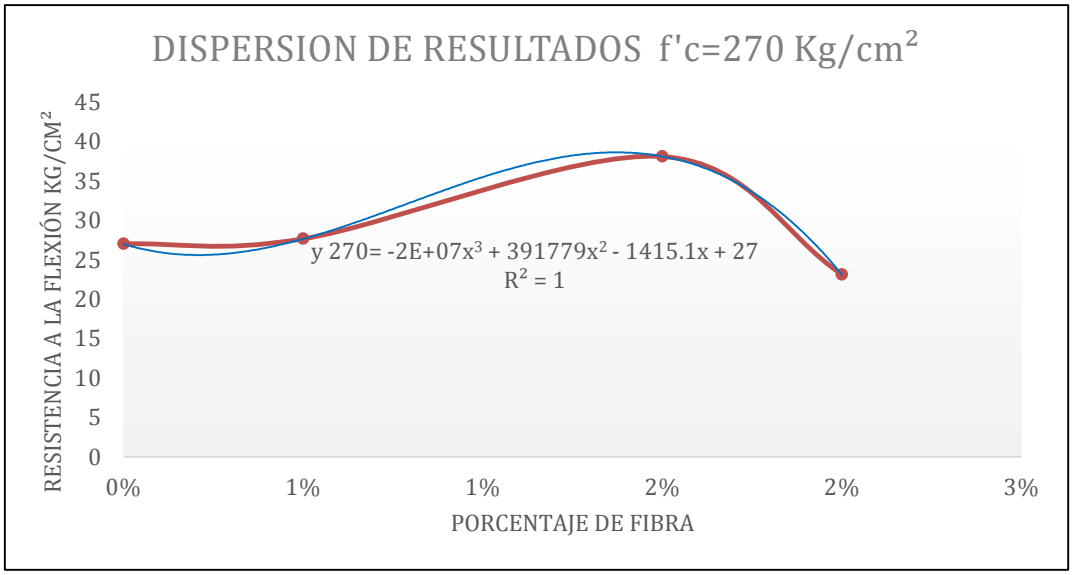

Figura 35, Modelo matemático de flexión, f'c= 270 Kg/cm²

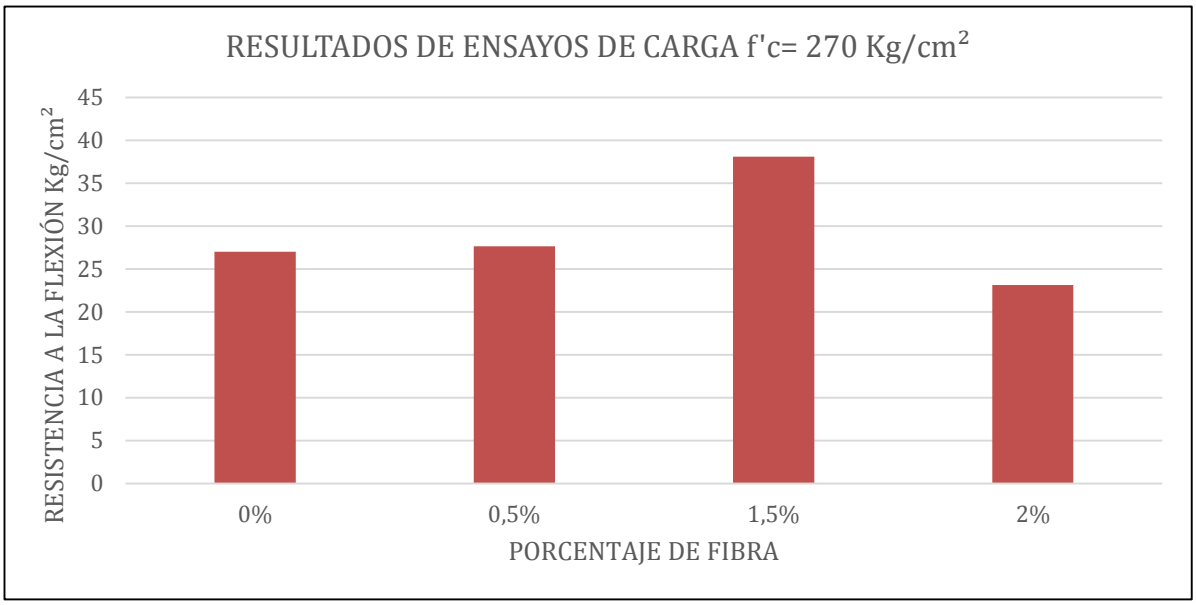

Figura 36, Gráfica Resistencia a la flexión VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=270Kg/cm²

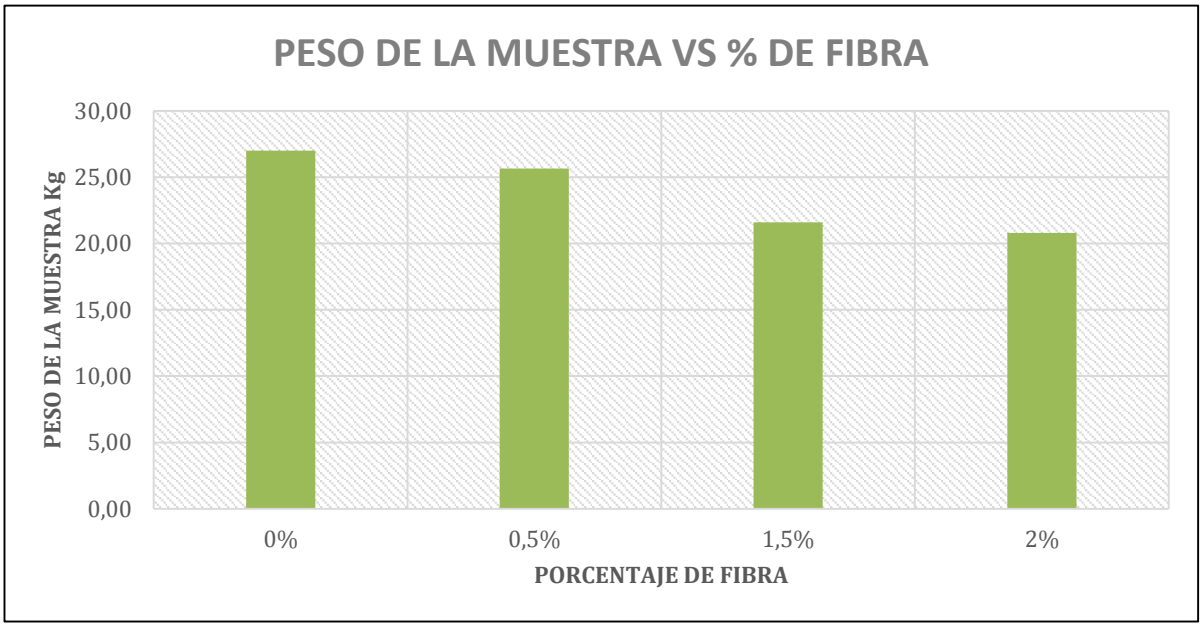

Figura 37, Gráfica Peso de muestras a flexión VS porcentaje de fibra, f'c=270Kg/ cm²

Vigueta N	F'c (Kg/cm²)	Porcentaje de Fibra	Peso de fibra (gr)	Días a la rotura	Longitud (m)	Altura (m)	Ancho (m)	Volumen (m³)	Masa (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)
1	350	0.5%	12.5	14	0.50	0.15	0.15	0.01125	25.28	2247.11	318	27.05
3		1.5%	37.5						21.05	1871.11	374	31.76
4		2%	62.5						20.67	1837.33	245	20.85
5		0.5%	12.5	28	0.50	0.15	0.15	0.01125	25.28	2247.11	454.96	38.64
7		1.5%	37.5						21.05	1871.11	534.25	45.37
8		2%	62.5						20.67	1837.33	350.68	29.78

Tabla 18, Resultados obtenidos a partir de viguetas, f'c=350 Kg/cm²

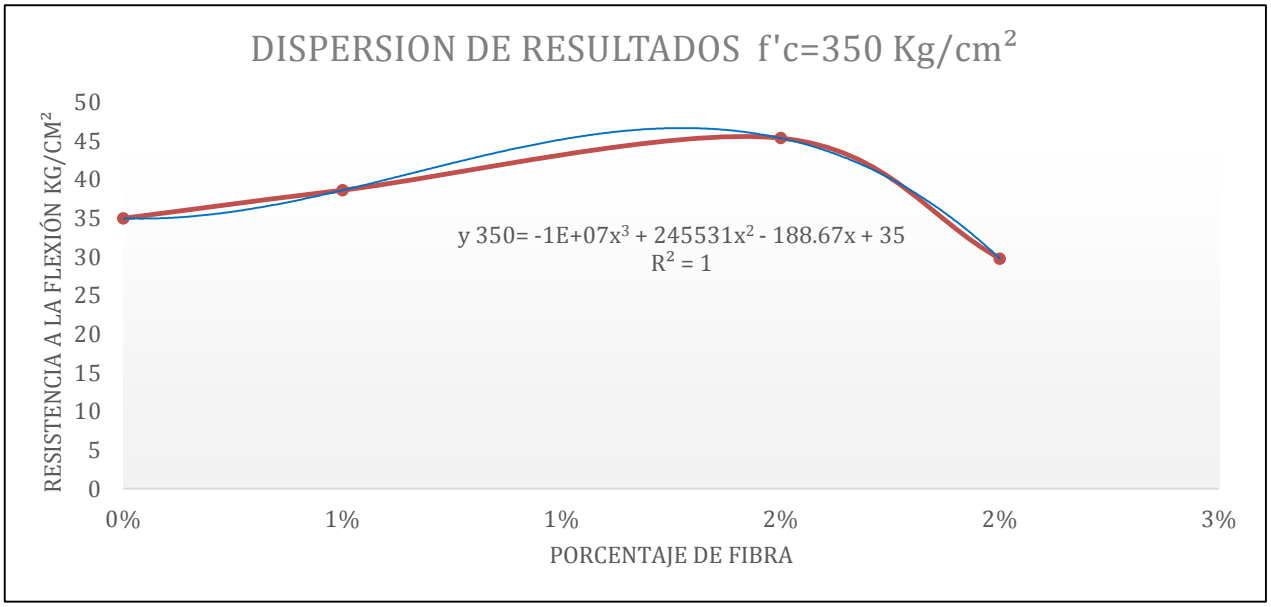

Figura 38, Modelo matemático de flexión, f'c= 350 Kg/cm²

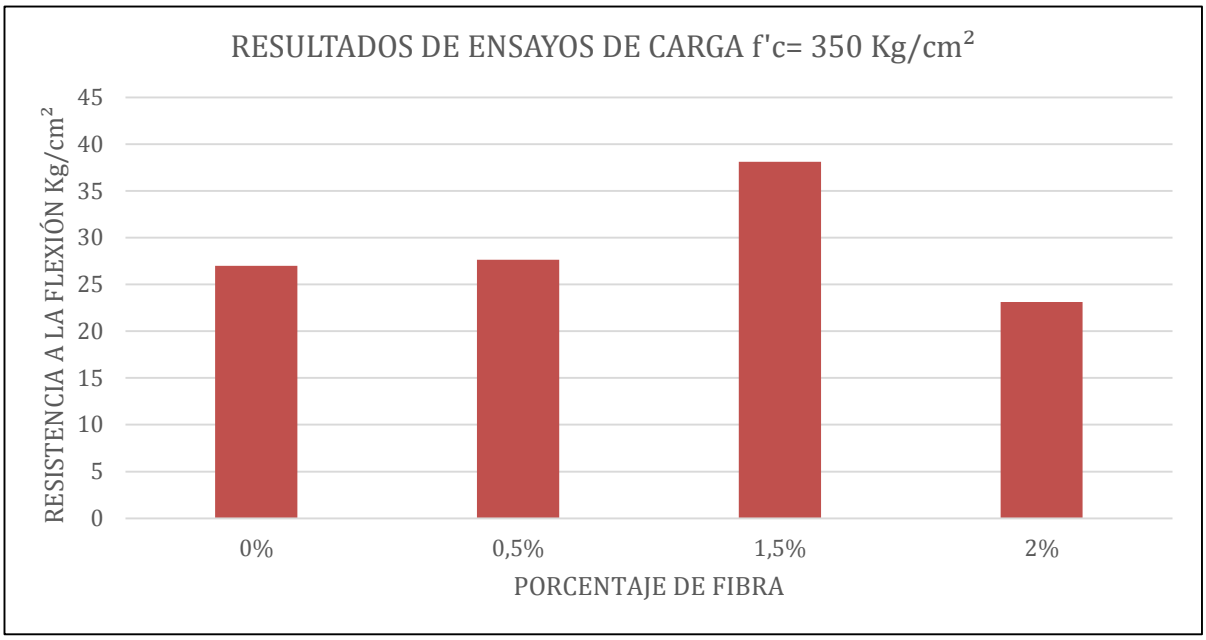

Figura 39, Gráfica Resistencia a la flexión VS porcentaje de fibra en la mezcla, f'c=350Kg/cm²

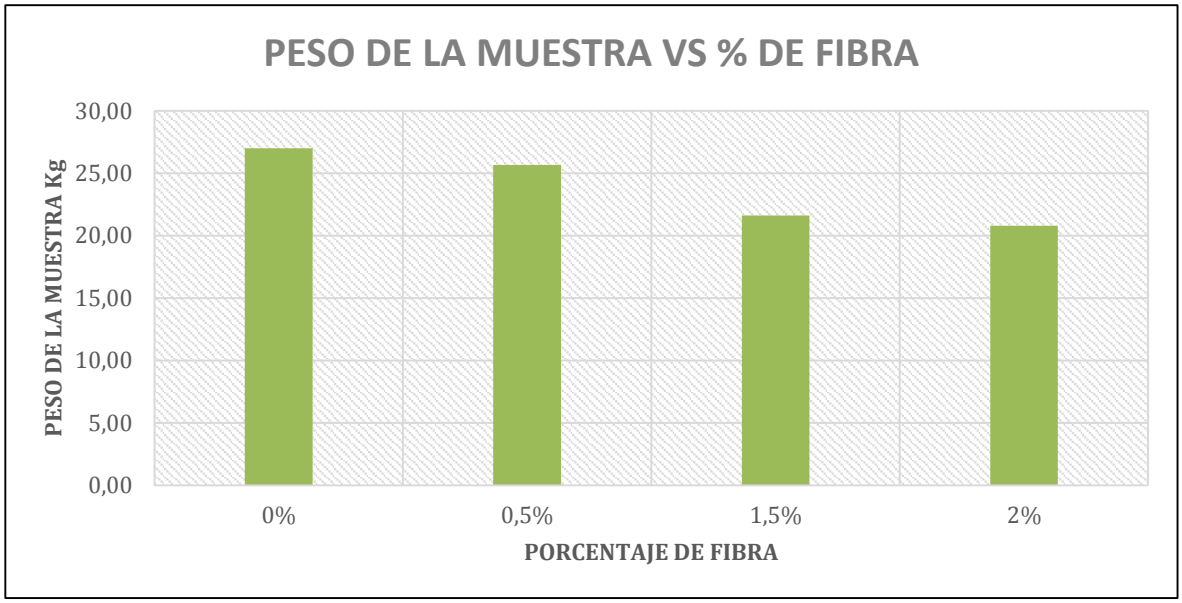

Figura 40, Gráfica Peso de muestras a flexión VS porcentaje de fibra, f'c=350Kg/ cm²

A continuación se presentan las relaciones entre la resistencia de flexión/compresión:

Resistencia a los 28 días

% Fibra	Resistencia a la compresión (Kg/cm²)	Resistencia a la flexión (Kg/cm²)	Relación flexión/compresión %
0%	190	19	10,00
0,5%	193.46	21,28	11,00
1,5%	196.6	23,59	12,00
2%	187,94	16,91	9,00
0%	210	21	10,00
0,5%	218,09	23,99	11,00
1,5%	248,15	29,78	12,00
2%	192,36	17,31	9,00
0%	270	27	10,00
0,5%	276,52	27,65	10,00
1,5%	293,16	38,11	13,00
2%	256,82	23,11	9,00
0%	350	35	10,00
0,5%	351,25	38,64	11,00
1,5%	362,97	45,37	12,50
2%	338,43	29,78	8,80

Tabla 19, Relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a flexión del hormigón.

A continuación se presentan las relaciones entre los pesos de las muestras sin la adición de la fibra y las muestras a distintos porcentajes de adición de fibra.

% Fibra	Resistencia a la compresión (Kg/cm²)	Peso de cilindros (Kg)	Diferencia de pesos (Kg)	Relación de pesos con adición de fibra (%)
0%	190	12.72	0.00	--
0,5%		12.47	0.25	1.97
1,5%		10.18	2.54	19.97
2%		9.92	2.80	22.01
0%	210	12.73	0.00	--
0,5%		12.16	0.57	4.48
1,5%		9.88	2.85	22.39
2%		9.03	3.70	29.07
0%	270	12.74	0	--
0,5%		12.38	0.36	2.83
1,5%		10.57	2.17	17.03
2%		9.66	3.08	24.18
0%	350	12.71	0.00	--
0,5%		12.28	0.43	3.38
1,5%		9.65	3.06	24.08
2%		8.82	3.89	30.61

Tabla 20, Relación de pesos entre muestras a compresión simple

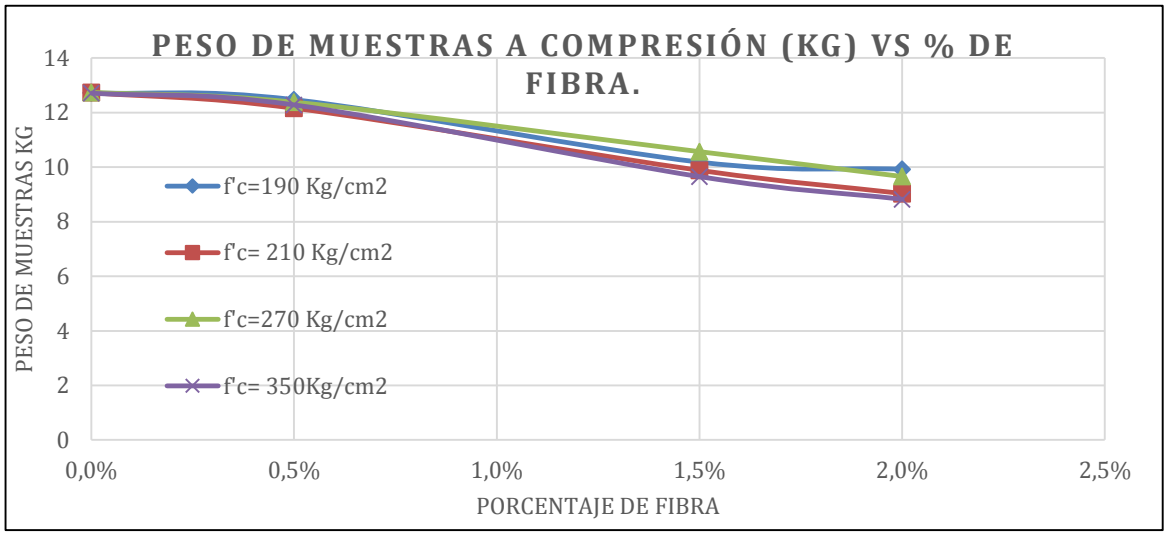

Figura 41, Gráfica de relación de pesos entre muestras a compresión simple

% Fibra	Resistencia a la flexión (Kg/cm²)	Peso de viguetas (Kg)	Diferencia de pesos (Kg)	Relación de pesos con adición de fibra (%)
0%	190	26.98	0.00	--
0,5%		25.65	1.33	4.93
1,5%		21.6	5.38	19.94
2%		20.79	6.19	22.94
0%	210	27.02	0.00	--
0,5%		25.38	1.64	6.07
1,5%		21.42	5.60	20.73
2%		20.73	6.29	23.28
0%	270	27.01	0.00	--
0,5%		25.16	1.85	6.85
1,5%		20.98	6.03	22.33
2%		20.31	6.70	24.81
0%	350	26.95	0.00	--
0,5%		25.18	1.77	6.57
1,5%		21.05	5.90	21.89
2%		20.67	6.31	23.30

Tabla 21, Relación de pesos entre muestras a flexión

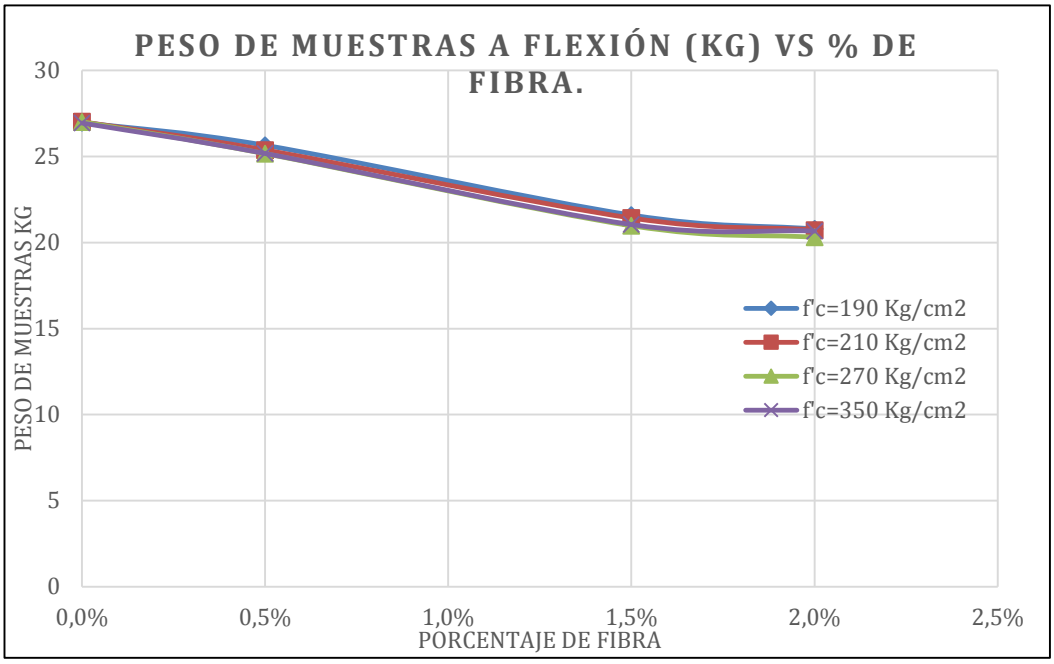

Figura 42, Gráfica de relación de pesos entre muestras a flexión

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones

Mediante los resultados obtenidos en los análisis realizados por medio de los datos obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

1. La adición de la fibra de coco a la mezcla permite una disminución del peso de los elementos de hormigón armado, la disminución se da alrededor de un 21% en promedio al 1.5% de fibra en el volumen de hormigón, lo que equivale a construcciones más ligeras.
2. Las resistencias se ven modificadas por la adición de la fibra de coco a la mezcla de hormigón, de tal forma que se puede observar un incremento en la resistencia a compresión óptima al 1.5% de fibra en el volumen de la mezcla, pasado ese porcentaje las resistencias comienzan a decaer y se evidencia al tener una resistencia reducida al 2% de fibra en la mezcla con relación a la muestra referencial.
3. La resistencia a flexión se ve incrementada de tal manera que se obtiene un valor óptimo al 1.5% de adición de fibra en la mezcla, el aumento de la resistencia a la flexión es de 12%, es decir los elementos hechos con este hormigón tendrán un mejor comportamiento sismo resistente.
4. De acuerdo a los costos involucrados en la obtención de la fibra de coco, se estima una reducción del costo en la construcción de elementos estructurales, ya que la adición de fibra a los elementos permite un aumento en la resistencia a compresión y flexión al 1.5% de fibra en el volumen de

la mezcla, y adicionalmente permite también crear estructuras más ligeras en un 21% aproximadamente tal como se evidencia en los resultados de los ensayos de las muestras.

5. Gracias a que se tienen elementos más ligeros (21% menos peso al 1.5% de adición de fibra) se estima una reducción en el dimensionamiento de la estructura de cimentación gracias a que la descarga se reduce, dicha reducción en las dimensiones se podría traducir de igual manera en una reducción en los costos de construcción.

5.2. Recomendaciones.

Mediante los resultados obtenidos y el planteamiento de las conclusiones se recomienda lo siguiente:

1. Continuar con el estudio de la adición de fibras orgánicas como la fibra de coco al hormigón, ya que los ensayos ejecutados tanto de compresión como de flexión a las muestras, presentan resultados interesantes desde el punto de vista en que se puede mejorar el comportamiento resistente de los elementos escogiendo un porcentaje de fibra óptimo para la mezcla, que según los ensayos ejecutados demuestra previamente que se encuentran alrededor del 1.5% de adición de fibra.
2. Evaluar mediante un ensayo a escala real la resistencia al corte con una muestra apropiada hecha con fibra de coco.
3. Mediante una construcción a escala real se recomienda evaluar de igual manera la reducción total del peso de los elementos y de qué manera se

traduce en un ahorro en la estructura de cimentación tanto de tiempo como de costos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

04, A. C. (2012). *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Gruesos.*

ACI 318-02. (2002). *Building code requirements for structural concrete.* Farmington Hills, Mich. : American Concrete Institute.

ASTM C1231/C1231M - 00e1. (s.f.). *Historical Standard: Práctica Normativa para El Uso de Capas No Adheridas en la Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido.*

ASTM C128 - 04a. (2012). *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Finos.*

ASTM C143/C143M - 10. (2011). *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico.*

ASTM C143/C143M - 10. (2012). *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico.*

ASTM C1688 / C1688M - 14a. (2013). *Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Hormigón en Estado Fresco* .

ASTM C33. (2013). *Especificación Normalizada para Agregados para Concreto* (Vol. 04.02).

ASTM C39/C39M - 12. (2012). *Historical Standard: Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.*

ASTM C617/C617M - 98. (2003). *Historical Standard: Práctica Normativa para El Cabeceo de Especímenes Cilíndricos de Concreto.*

ASTM C78/C78M - 02. (2010). *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro).*

ASTM C94/C94M - 09. (2014). *Historical Standard: Especificación Normalizada para Concreto Premezclado.*

C1116M, A. C. (2015). *Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete.*

Contreras, W. (26 de Julio de 2007). *www.scielo.cl*. Recuperado el 28 de Marzo de 2016, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2007000300008

Gadget, T. G. (s.f.). *Cueva del Civil*. Obtenido de http://www.cuevadelcivil.com/2011/04/modulo-de-finura-mf.html

Goldenhorn, S. (1951). *Calculista de Estructuras de Hormigon Armado, Hierro y Madera.* H.F Martinez de Murguia.

Holcim Web Page. (s.f.). *Holcim*. Obtenido de http://www.holcim.com.ec/productos-y-servicios/portafolio-holcim/cementoholcim.html

Jiménez, P. (1991). *Hormigón armado.* Barcelona.

Osorio, J. D. (s.f.). *CONCRETO - 360 GRADOS -BLOG EN CONCRETO 2016*. Obtenido de http://blog.360gradosenconcreto.com/importancia-del-agua-en-el-concreto/

Romo Proaño, M. (s.f.). *Temas de Hormigón Armado.* Valle de los Chillos: Escuela Politécnica del Ejército.

Tecnologimartin. (22 de Septiembre de 2015). *Plantilla Awesome Inc*. Obtenido de http://tecnologimartin-2015.blogspot.com/2015/09/semana-vi-agregados.html

Terreros, C. (2006). *Materiales de construcción.* Guayaquil: Guayaquil : ESPOL: Centro de Difusión y Publicaciones.

Terreros, C. (2011). *Diseno de hormigon armado.* Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Fac. Ciencias Matemáticas y Físicas.

Terreros, C. (s.f.). *Tecnología del Hormigón.* Guayaquil: ESPOL.